

BERNMOBIL

Städtische Verkehrsbetriebe Bern
Eigerplatz 3, Postfach, 3000 Bern 14
Tel. 031 321 88 88
www.bernmobil.ch



Bern, 30.03.2021

Unternehmensentwicklung

Bernhard Riegel, +41 31 321 84 99, bernhard.riegel@bernmobil.ch

SFF BERNMOBIL - Zwischenbericht Februar 2021

Pilotprojekt selbstfahrendes Fahrzeug im ÖV bei BERNMOBIL

Bern, 30.03.2021

Inhalt

1. Einleitung.....	5
2. Projektkontext.....	6
2.1. Unternehmerische und politische Ausgangslage	6
2.2. Projektvorstellung.....	6
2.3. Projektorganisation	7
2.4. Projektzeitplan.....	8
2.5. Finanzierung	8
2.6. Rechtliche Grundlagen Pilotbetrieb	8
2.7. Projektziele der Partner für die Stufe 2	9
2.8. Kenntnisstand Stufe 1 und zusätzlicher Erkenntnisgewinn Stufe 2	10
3. Merkmale des Pilotbetriebs.....	14
3.1. Geografische Lage der Standorte des Pilotbetriebs in Bern	14
3.2. Pilotstrecke	14
3.3. Fahrzeuge.....	16
3.4. Angebot.....	21
3.5. Betriebsorganisation – Anpassungen	22
4. Projekterfahrung bis Inbetriebnahme der neuen Fahrzeuge	23
4.1. Fahrzeugbeschaffung	23
4.2. Erkenntnisse zu Sensorset und Software der neuen Fahrzeuge	24
4.3. Erkenntnisse zur Ausstattung der neuen Fahrzeuge	25
4.4. Fahrzeugzulassung und -abnahme.....	26
4.5. Schritte bis zur Betriebsaufnahme.....	27
4.6. Streckenprogrammierung durch EasyMile.....	29
4.7. Betriebsaufnahme.....	29
5. Betriebserfahrungen SFF – Monate 13 - 18	31
5.1. Betriebsdaten Juli 2020 bis Dezember 2020	31
5.2. Besondere Ereignisse Juli 2020 bis Dezember 2020	32
5.3. Streckenzustand und Wetter	33
5.4. Streckenprogrammierung	34
5.5. Akzeptanz bei den Fahrgästen	35
5.6. Test- und Diagnosefahrten auf dem Depotareal	35
5.7. EasyMile Helpdesk und Kommunikation	36
5.8. Fahrzeugtechnik (LowLevel - ohne Sensoren und Selbstfahr-Software)	36
5.9. Sensoren und Selbstfahr-Software auf dem Fahrzeug	37
5.10. Backend-System Software	39
6. Erkenntnisse aus Betrieb SFF – Monate 13 - 18.....	40
6.1. Erkenntnisse zu den spezifischen Zielen des Pilotversuchs.....	40
6.2. Erkenntnisse zum Vergleich der beiden Fahrzeug-Generationen	41
6.3. Von roten Toastern und anderen offengebliebenen Fragen	42
7. Anpassungen Betrieb SFF nach 18 Monaten / Ausblick auf 2021	45

7.1.	Angebot – Umstellung auf OnDemand-Betrieb	45
7.2.	Update EZ10 Gen3 auf Gen3b	45
8.	Quellen	46
9.	Anhang 1: EasyMile Begriffe	47
10.	Anhang 2: Tabellenfahrplan Stufe 2	48
11.	Anhang 3: Zwischenstand Fahrgastbefragung	49
12.	Anhang 4: Unterlagen zu Händen ASTRA	56

Verwendete Abkürzungen und Bezeichnungen

AÖV	Amt für öffentlichen Verkehr, Kanton Bern
ASTRA	Bundesamt für Strassen
AVOC	Autonomous Vehicle Operation Centre, Software-Lösung der Firma AMoTech
BAKOM	Bundesamt für Kommunikation
BAV	Bundesamt für Verkehr
BeHiG	Behindertengleichstellungsgesetz
ewb	Energie Wasser Bern
DFI	Digitale Fahrgastinformation
GNSS	Global Navigation Satellite System (inkl. GPS, GLONASS, ...)
LSA	Lichtsignalanlage
MRS	Sick MRS1000 Lidar
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PBG	Personenbeförderungsgesetz
SFF	Selbstfahrendes Fahrzeug
SVA	Strassenverkehrs- und Schifffahrtsamt Kanton Bern
TVS	Direktion für Tiefbau, Verkehr und Stadtgrün der Stadt Bern
UVEK	Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VIN	Vehicle Identification Number
VLP16/32	Velodyne VLP16/VLP32 3D Lidar

1. Einleitung

Die Projektpartner BERNMOBIL, Stadt Bern, Migros Aare, SBB und ewb haben im Dezember 2019 den laufenden Pilotversuch „selbstfahrendes Fahrzeug im ÖV“ (kurz **Projekt SFF**) in Bern um ein zweites Betriebsjahr verlängert. Im Rahmen dieses Projekts betreibt BERNMOBIL auf Basis der nötigen Ausnahmegewilligungen seit Juli 2019 selbstfahrende Fahrzeuge (kurz **SFF**) vom Typ Easy-Mile EZ10 als BERNMOBIL Linie 23 auf einer Pilotstrecke zwischen Marzilibahn und Bärenpark in Bern.

Dieser Bericht dokumentiert die Erkenntnisse aus den 6 Betriebsmonaten Juli bis Dezember 2020.

2. Projektkontext

2.1. Unternehmerische und politische Ausgangslage

Aufgrund einer 2017 durchgeführten Marktanalyse seitens der Unternehmensentwicklung von BERNMOBIL wurde erkannt, dass die Automatisierungstechnologie die Betriebsprozesse des ÖV stark verändern würde mit potenziell erheblichen Auswirkungen auf das Unternehmen. Jedoch fehlten konkrete Erfahrungen, um den Reifegrad der Technologie und Zeithorizont möglicher Veränderungen einschätzen zu können. Dies führte zur Idee eines Pilotversuchs.

Weiterhin hat die Stadt Bern die Durchführung eines Pilotversuchs mit selbstfahrenden Fahrzeugen in ihren Legislaturrichtlinien 2017-2020 festgelegt.

Auf diesen Grundlagen haben BERNMOBIL und die Stadt Bern das Projekt SFF initiiert und zusammen mit den Projektpartnern ewb und Migros Aare die Finanzierung für die Umsetzung des Projekts und die ersten 12 Monate Pilotbetrieb aufgelegt.

Die Umsetzung erfolgt auf Basis des Entscheids des BERNMOBIL Verwaltungsrats vom 18. Dez. 2017. Das erste Betriebsjahr wurde im Juni 2020 abgeschlossen und im vorhergehenden Zwischenbericht dokumentiert.

Im Dezember 2019 haben die bisherigen Projektpartner die SBB als weitere Projektpartnerin gewinnen können sowie die Finanzierung und Durchführung der sogenannten "Stufe 2" mit weiteren 12 Monaten Pilotbetrieb und erweitertem Projektumfang beschlossen. Diese Stufe 2 umfasst die Genehmigungs- und Beschaffungsphase bis Juni 2020, den verlängerten Pilotbetrieb von Juli 2020 bis Juni 2021 sowie die Projektabschlussarbeiten. Die Genehmigungs- und Beschaffungsphase sowie die ersten 6 Monate Betrieb dieser Stufe 2 sind Gegenstand dieses Zwischenberichts.

Anmerkung zur Corona-Situation zum Berichtszeitpunkt:

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Zwischenberichts Anfang 2021 bestimmt die Corona-Pandemie nun seit fast einem Jahr grosse Teile des öffentlichen Lebens und führt auch zu neuen Prioritäten in der Agenda der ÖV-Unternehmungen. Diese Pandemie und ihre Auswirkungen waren jedoch zum Zeitpunkt der Beschlüsse und der zugehörigen Verträge zur Umsetzung dieser Stufe 2 des Projekts SFF im Herbst 2019 noch nicht absehbar. Der überwiegende Teil der Ausgaben wurde deutlich vor der Pandemie vertraglich vereinbart. Daher halten es die Projektpartner für sinnvoll, den Pilotbetrieb wie vorgesehen zu Ende zu führen, um möglichst viele Erkenntnisse aus dieser Investition zu gewinnen.

2.2. Projektvorstellung

Das Projekt SFF Stufe 1 umfasste folgende Elemente:

- die Beschaffung und Zulassung eines selbstfahrenden Fahrzeugs
- die Bewilligungen für die Nutzung der Pilotstrecke
- die Einreichung des Ausnahmegesuchs bei den Bundesämtern BAV, ASTRA sowie BAKOM
- die organisatorische Vorbereitung seitens BERNMOBIL für den Pilotbetrieb des selbstfahrenden Fahrzeugs
- den Betrieb des selbstfahrenden Fahrzeugs im Rahmen eines publizierten Fahrplans während 12 Monaten
- die Auswertung des Pilotbetriebs

Das Projekt SFF Stufe 2 umfasst folgende Elemente:

- Beschaffung zweier neuer selbstfahrenden Fahrzeuge auf Basis von Optionen im bestehenden Vertrag
- Zulassung der neuen Fahrzeuge
- Erweiterung der Pilotstrecke Richtung Süden (für das Angebot ab 2021)
- Erweiterung der Bewilligungen
- 6 Monate Betrieb zweier Fahrzeuge nach Fahrplan
- 6 Monate Betrieb zweier Fahrzeuge auf Bestellung (OnDemand) ab 2021

2.3. Projektorganisation

Nachfolgende Darstellung zeigt das Projektumfeld, Stand Januar 2021, mit den Projektpartnern, dem von BERNMOBIL moderierten Begleitgremium und dem Team Kommunikation, in dem Vertreter aller Projektpartner eingebunden sind. Für die Stufe 2, deren Ausarbeitung im Januar 2020 begann, ist neu auch die SBB als Projektpartnerin vertreten. Lieferantenverträge bestehen wie bisher mit EasyMile und Amotech sowie weiteren Firmen.

Hervorzuheben ist das Begleitgremium, über das die Stakeholder des Projekts vom Start weg eingebunden wurden. Sowohl die Quartierorganisationen entlang der Pilotstrecke wie auch politische Vertretungen von Kanton und Gemeinden und Vertretungen anderer Transportunternehmungen wurden regelmässig über die Projektarbeiten informiert und konnten ihre Anliegen einbringen.

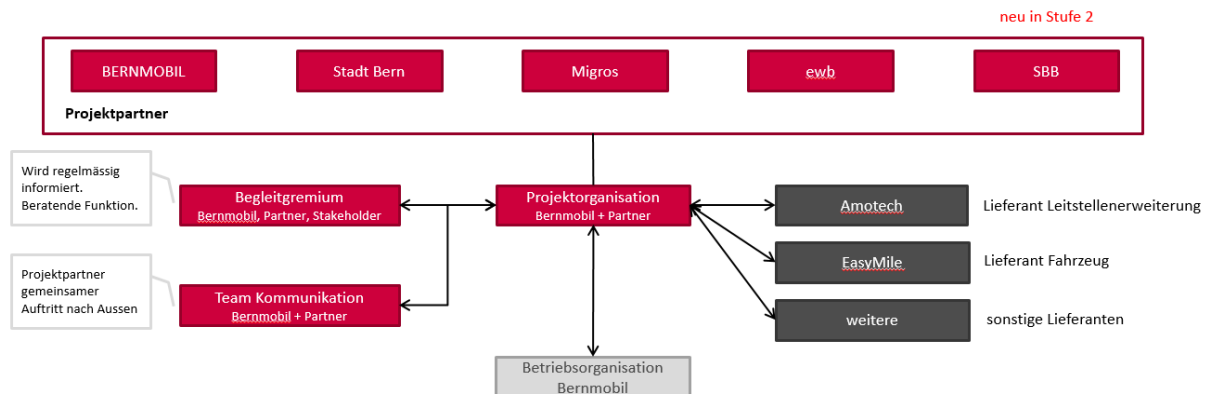


Abbildung 1: Projektumfeld SFF BERNMOBIL, Stand Januar 2020

Die Projektorganisation Stand Januar 2021 ist nachfolgend dargestellt. Die Projektpartner sind sowohl im Lenkungsausschuss des Projekts sowie in unterschiedlichem Umfang in den Teilprojekten vertreten.

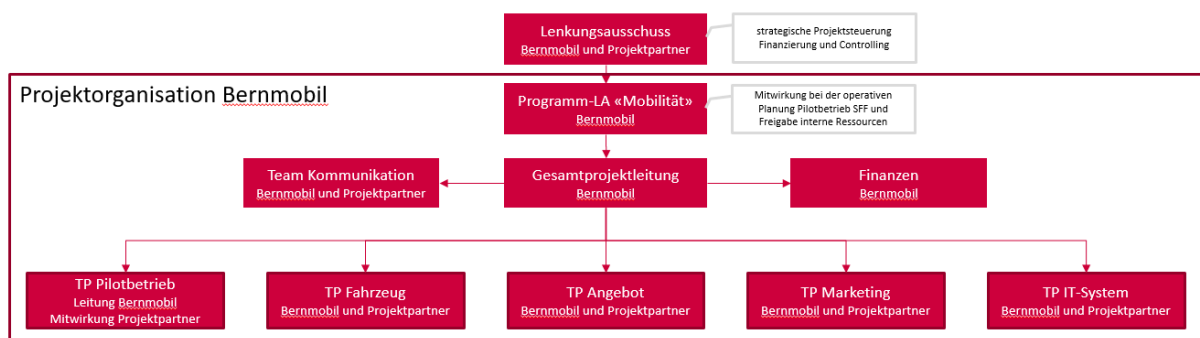


Abbildung 2: Projektorganisation SFF BERNMOBIL, Stand Januar 2021

2.4. Projektzeitplan

Nachfolgende Abbildung zeigt den Projektzeitplan des Gesamtprojekts, Stand Januar 2021.

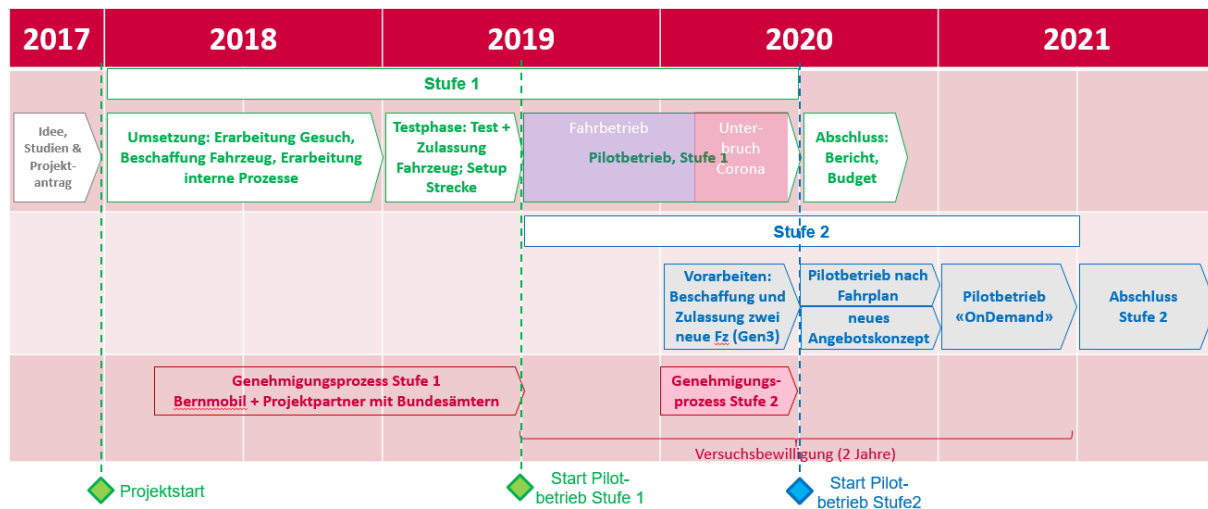


Abbildung 3: Zeitplan Gesamtprojekt, Stand Januar 2021

Im Berichtszeitraum Juli 2020 bis Dezember 2020 konnten nur wenige Wochen bzw. Tage planmässig gefahren werden. Dies vor allem aufgrund längerer Ausfälle der beiden Fahrzeuge. Dieser Zwischenbericht dokumentiert die wenigen Betriebstage im August und September 2020 und fokussiert auf die Herausforderungen mit den eingesetzten Fahrzeugen und den Erkenntnissen.

2.5. Finanzierung

Die Finanzierung des Projekts erfolgt vollständig durch die Projektpartner, wobei der Anteil BERNMOBIL aus der Spezialfinanzierung der gewerblichen Leistungen stammt. Für dieses Projekt werden somit keine finanziellen Mittel aus Abgeltungen eingesetzt.

2.6. Rechtliche Grundlagen Pilotbetrieb

Die selbstfahrenden Kleinbusse des Typs EasyMile EZ10 erfüllen die aktuell gültigen Vorschriften für den Strassenverkehr wie auch jene für ÖV-Fahrzeuge naturgemäss nicht. Für den Pilotbetrieb wurde daher gemäss Merkblatt zur Durchführung von Pilotversuchen in der Schweiz (Version 1.0, aktuelle Version siehe [1]) eine Ausnahmegewilligung der Bundesämter ASTRA und BAV beantragt.

Diese wurde per Ausnahmeverfügung durch das UVEK erstmalig am 19.06.2019 erteilt mit einer Gültigkeit bis 30.06.2021. Diese enthält die Einzelzulassung des Fahrzeugs EZ10 Gen2 für den ausschliesslichen Einsatz auf der bewilligten Pilotstrecke (Abbildung 4).

Die Einzelzulassung erfolgte aufgrund der am 17.04.2019 gemeinsam durch ASTRA, BAV und dem SVA Bern durchgeführten Fahrzeugprüfung. Voraussetzung für die Prüfung waren weiterhin:

- Eine Funkversuchskonzession des BAKOM für das Fahrzeug
- Eine Betriebserlaubnis des AÖV Kanton Bern und des BAV (siehe Kap. 3.3.3)
- Eine Bewilligung der Strecke durch das ASTRA basierend auf der Zustimmung
 - der Strasseneigentümer
 - der Kantonspolizei Bern
 - der zuständigen städtischen Stellen, darunter Berufsfeuerwehr Bern und TVS

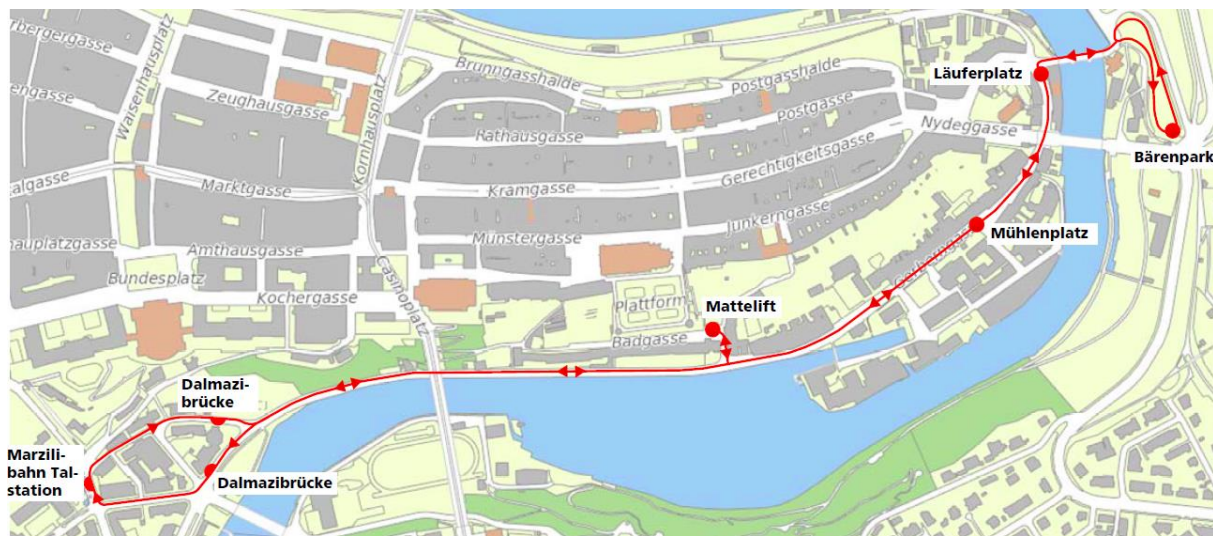


Abbildung 4: Pilotstrecke in Stufe 1 des Pilotbetriebs

Die bereits bewilligte Streckenführung wurde mit Verfügung per 18.11.2019 um eine rein betriebliche Route für die Evakuierung des Fahrzeugs aus dem Abstellort im Fall eines Hochwassers erweitert.

Für die Stufe 2 des Projekts wurden folgende Erweiterungen der Bewilligung bei den Bundesämtern ASTRA und BAV beantragt:

- Genehmigung des Betriebs für die neuen Fahrzeuge des Typs EasyMile EZ10 Gen3 (Fahrzeug 037 und 038)
- Erweiterung der Pilotstrecke in Richtung Süden bis zur Berner Fachhochschule, Standort Brückenstrasse
- Vorsorgliche Verlängerung der Bewilligung um 6 Monate, um bei Bedarf allfällige Pandemieunterbrüche kompensieren zu können.

Die Zulassung der neuen Fahrzeuge erfolgte aufgrund der am 10.07.2020 bestandenen Fahrzeugprüfung per 30.07.2020.

Diese Erweiterung wird in nachfolgenden Abschnitten vertieft beschrieben.

Die Erweiterung der Pilotstrecke sowie die Verlängerung der Versuchsdauer wurden per Verfügung am 16.12.2020 erteilt. Diese Erweiterung betrifft die letzte Betriebsphase ab Januar 2021 und wird Gegenstand des Schlussberichts sein.

2.7. Projektziele der Partner für die Stufe 2

Die Projektziele für das Gesamtprojekt und speziell die Stufe 1 (Betrieb mit einem Fahrzeug bis Juni 2020) wurden in den vorherigen Zwischenberichten erläutert.

Für die Stufe 2 wurden die folgenden neuen Projektziele definiert:

- Erzielen von Erkenntnissen aus dem Einsatz der neueren Fahrzeuggeneration EZ10 Gen3 mit verbesserter Technologie – Vergleich mit der vorherigen Fahrzeuggeneration EZ10 Gen2.
- Neue Erkenntnisse durch den Einsatz von zwei automatisierten Fahrzeugen auf der gleichen Strecke.
- Entwicklung eines OnDemand-Angebots mit den automatisierten Fahrzeugen
- Anbindung des selbstfahrenden Fahrzeugs und des zugehörigen Software-Systems an die OnDemand-Software
- Möglichst weitgehende Integration des Pilotbetriebs in die Betriebsprozesse

2.8. Kenntnisstand Stufe 1 und zusätzlicher Erkenntnisgewinn Stufe 2

Erkenntnisgewinn im ersten Betriebsjahr (Projekt Stufe 1)

Zusammenfassend konnten in der Stufe 1 folgende Erkenntnisse erzielt werden.

Zu den 4 Schwerpunktthemen aus dem ASTRA-Gesuch:

Leitstellenintegration

Der Fahrplanbetrieb der Linie 23 wurde analog zu den anderen BERNMOBIL Linie von der zentralen Leitstelle aus überwacht. Verspätungen des selbstfahrenden Fahrzeugs wurden aufgrund seiner Positionsdaten automatisch im Leitsystem Trapeze LIO dargestellt. Auch organisatorisch war die Linie 23 in die Prozesse der Leitstelle eingebunden. D.h. Störungsmeldungen, Anmeldungen von Fahrpersonal etc. wurden über die Standardprozesse abgewickelt. Dazu wurde im Easy-Mile Fahrzeug die Software AVOC der Firma AMoTech installiert, die diese Integration IT-seitig ermöglicht hat.

Es konnten jedoch nicht alle geplanten Integrationspakete für die technische Anbindung an das Leitstellensystem realisiert werden. Eine ausführliche Dokumentation findet sich in den beiden vorhergehenden Zwischenberichten.

Fahrzeug-Verhalten auf Kopfsteinpflaster

Wie im ersten Zwischenbericht gezeigt, konnte ein signifikanter Einfluss des Kopfsteinpflasters auf die Zahl der Störungen festgestellt werden.

Engstellen mit Gegenverkehr

Das automatische Verhalten des EZ10 Gen2 in Engstellen mit Gegenverkehr ist zu wenig vorausschauend, so dass die Begleitpersonen an diesen Stellen jeweils eingreifen müssen.

Fahrzeug-Verhalten in kurzer Steigung mit Haltestelle

Leider musste festgestellt werden, dass sich das Fahrzeug EZ10 Gen2 für Steigungen nicht eignet. Dabei ist insbesondere das Anfahren ein Problem, das die Fahrzeugsteuerung im fahrplanmässigen Dauerbetrieb nicht beherrscht. Die auf der Pilotstrecke am Parkplatz Klösterlistutz vorhandene ca. 100 m lange Steigung von bis zu 14%, in der eine Haltestelle (12% Steigung) liegt, konnte daher nicht dauerhaft befahren werden. Das Fahrzeug war eigentlich speziell für diese Steigung mit 2 Fahrmotoren (je einer pro Achse) ausgerüstet worden.

Eine ausführliche Dokumentation findet sich auch dazu in den vorhergehenden Zwischenberichten.

Die Gefällstrecke von 15% am Parkplatz Klösterlistutz wurde von den Fahrzeugen dagegen gut bewältigt. Befahren wurde sie im Schrittempo und es war jederzeit ein sicheres Anhalten möglich.

Weitere Erkenntnisse gemäss den bisherigen Zwischenberichten:

Betrieb des selbstfahrenden Fahrzeugs EZ10 Gen2 – Fazit erster Zwischenbericht

Anhand des Pilotbetriebs SFF mit dem EasyMile EZ10 Gen2 Fahrzeug können folgende Erkenntnisse hinsichtlich der Relevanz der Automatisierungstechnik Level 4 und 5 für den regulären ÖV-Betrieb abgeleitet werden:

- Ortung und Navigation des Fahrzeugs funktionieren tadellos, auch bei schlechtem GPS-Empfang und im Gebäude
- Hinderniserkennung funktioniert auch sicher (im Sinn, dass kein Hindernis übersehen wird – dies gilt derzeit allerdings nur für Hindernisse ab 30 cm Höhe und nicht für Löcher in der Strasse)
- Mit der Hindernisumfahrung "Obstacle Circumvention", die nur für kleine Hindernisse unter Idealbedingungen funktioniert, ist ein erster Ansatz zu einer flexibleren Fahrspur erkennbar
- Ein funktionsfähiges Komplettsystem für einen "automatisierten ÖV" ist bei EasyMile erkennbar, das Zusammenspiel der Komponenten ist sinnvoll konzipiert.

Dennoch bestehen noch folgende Lücken zur Anwendungsreife (entsprechende Feedbacks hat BERNMOBIL bereits an EasyMile zurückgemeldet):

- Die Sensoren melden zu viele "false positives" bei der Hinderniserkennung (Laub, Schnee, Kleintiere)

- Die Sensoren müssen mit erwarteten Situationen wie Schnee, Regen, Nebel umgehen können und über einen Reinigungsmechanismus sowie einen Selbsttest verfügen
- Die Strategie "Hindernis erkennen und anhalten" ist nicht immer sinnvoll – z.B. bei überholenden und knapp einscherenden Fahrzeugen. D.h. die Vorhersage der Objektbewegungen (Trajectory Prediction) ist dringend erforderlich. Diese ist für kommende Software-Releases seitens EasyMile angekündigt.
- Die fixe Fahrspur ist im Praxiseinsatz im Stadtverkehr hinderlich, das Fahrzeug müsste sich frei in einem vorgegebenen "Fahrband" bewegen können. Erste Ansätze sind bei der Funktion "obstacle detection" und auf der Entwicklungs-Roadmap von EasyMile erkennbar ("navigable area").
- Die Stabilität von Fahrzeugtechnik und Software ist noch unzureichend – die Notstopps aufgrund von Software-Fehlern und Fahrzeugproblemen müssen weiter signifikant reduziert werden. Die Verbesserungen nach dem Update im Dezember 2019 zeigen in die richtige Richtung.
- Es gibt noch keine Objektklassifizierung – das Fahrzeug kann nicht zwischen Mast und Mensch unterscheiden und fährt an beiden gleich langsam vorbei. Die Funktionalität "Sensorfusion mit Einsatz Kamera" zur Objekterkennung ist dringend nötig. Die nachfolgende Fahrzeuggeneration EZ10 Gen3 ist mit den entsprechenden Sensoren ausgerüstet.
- Das Fahrzeug muss Hindernisfreiheit auf der vorgesehenen Fahrbahn weiter vorausschauend beurteilen können, auch seitlich (bei Einmündungen). Auch hier sind Verbesserungen für das EZ10 Gen3 seitens EasyMile angekündigt.
- Das Fahrzeug muss Verkehrsregeln lernen können (Fussgängerstreifen, Rechtsvortritt, Signalisation, Verhalten bei Blaulichtfahrzeugen).
- Das Fahrzeug muss für den Einsatz im Schweizer ÖV BeHiG konform gestaltet sein, d.h. u.a. über genügend Platz für den Rollstuhlplatz sowie eine Befestigungsmöglichkeit für diesen aufweisen. Die automatische Rollstuhlrampe des EZ10 ist eine sinnvolle Einrichtung, muss aber hinsichtlich Zuverlässigkeit und Bedienung noch deutlich verbessert werden. Der Innenbildschirm muss eine kontrastreichere Darstellung aufweisen.
- Für das Einspielen von Software-Updates ist ein klar definierter Release-Prozess erforderlich (ausführliche Release-Information, Prozedere für Einspielen, Abnahme, Test und Schulung der Begleitperson bzw. Leitstellenmitarbeitende).
- Die Backend-Systeme sind redundant auszulegen (Failsafe-Cluster), damit ein Ausfall nicht zum Betriebsausfall aller Fahrzeuge führt.
- Das Fahrzeug muss bei Verlust der Datenverbindung oder Orientierung aufgrund der Sensordaten ein sinnvolles Fahrmanöver ausführen. Ein Notstopp muss auf klar definierte Ausnahmefälle beschränkt bleiben, da er mit der Gefahr einer Auffahrkollision und damit Gefährdung der Insassen verbunden ist.
- Es besteht ein grundsätzlicher Zielkonflikt zwischen der Sicherheit der Insassen (inklusive der Begleitperson) und der angestrebten höheren Geschwindigkeit für den Alltagseinsatz, solange das Fahrzeug bei jeder Unsicherheit mit einem Notstopp reagiert.

Fazit: Der Betrieb ist derzeit nur mit hohem technischem, personellem und finanziellem Aufwand möglich. Das Fahrzeug muss quasi permanent überwacht werden.

Im regulären ÖV Betrieb auf der Strasse im Stadtverkehr ist ein Einsatz eines solchen Systems aus heutiger Sicht nicht denkbar. Allenfalls ist ein Einsatz auf eigenen, reservierten Fahrspuren unter permanenter Überwachung oder in geschlossenen Arealen denkbar.

Betrieb des selbstfahrenden Fahrzeugs EZ10 Gen2 – Fazit zweiter Zwischenbericht

Es zeigte sich, dass die neue Funktion Hindernisumfahrung ("obstacle Circumvention") nur sehr selten eine Umgehungsroute vorschlägt, meist endet die Berechnung mit dem Hinweis, dass der Operator manuell fahren muss. Dabei blieben die genauen Umstände, wann es funktioniert und wann nicht, unklar.

Mit dem zwischenzeitlichen Software-Update "Voyager 7" konnte das Fahrzeug EZ10 Gen2 schneller anfahren. Das schnellere Anfahren erleichtert für die anderen Verkehrsteilnehmenden die Einschätzung, wie sich das Fahrzeug verhält. Es erleichtert insbesondere die Abbiegevorgänge, z.B. am Läuferplatz, gegenüber dem vorherigen Zustand, wo während des langsamen Anfahrens bereits wieder neue Fahrzeuge in den Kreuzungsbereich eingefahren sind.

Nach dem Software Update wurde wiederum die Steigungsstrecke am Parkplatz Klösterlistutz bis zur Haltestelle Bärenpark befahren, und zwar vom 14.01.2020 bis 08.02.2020, am 08.02.2020 trat wiederum ein Getriebeschaden auf. Während des Betriebszeitraums zeigte sich, dass das Fahrzeug weiterhin in der Steigung beim Anfahren aus dem Stand jeweils ein kurzes Stück (wenige cm) zurückrollte, bis das System einen "incoherent way of motion" detektierte und den Notstopp auslöste. Nachdem Lösen des Notstopps passierte unter Umständen nochmal das gleiche.

Dieses leichte, aber in manchen Situationen wiederholte Zurückrollen um wenige cm ist insofern kritisch, weil das Fahrzeug in dieser Situation eigentlich vorwärtsfahren will und somit die hinteren Safety-Lidarsensoren inaktiv sind. Die Begleitperson musste jeweils mit dem Notstopp-Knopf eingreifen. Nach dem neuerlichen Schaden wurde das Fahrzeug EZ10 Gen2 nicht mehr auf der Steigungsstrecke eingesetzt

Fazit: die Ansteuerung der Fahrzeugkomponenten des EZ10 in der Steigung entspricht weiterhin nicht den Erwartungen an einen zuverlässigen Betrieb.

Es bestätigte sich auch im weiteren Projektverlauf, dass das EasyMile System eine vielversprechende Sensortechnik und Software sowie ein durchdachtes Backend-System mitbringt. Leider können diese Systeme nicht im gewünschten Umfang getestet werden, weil das von Ligier produzierte Basis-Fahrzeug sehr häufig technische Störungen im konventionellen Antriebsbereich zeigt, was erhebliche Projektressourcen bindet. Die aus den technischen Störungen resultierenden Software Fehlermeldungen sind für den Betreiber (BERNMOBIL) nicht zu durchschauen und bedürfen einer jeweils zeitaufwändigen Ferndiagnose durch EasyMile sowie wiederkehrenden Testfahrten durch das Projektteam. Dadurch werden einerseits enorme Aufwände erzeugt (Um-disponierung Fahrpersonal, Fahrgastinformationen aufschalten, Service-Team aktivieren, usw), andererseits viel Vertrauen der Fahrgäste verspielt, die sich auf das Angebot der Linie 23 nicht verlassen können. Letzteres war sicher ein wichtiger Faktor, warum wir nach anfänglich gutem Start so geringe Fahrgastzahlen hatten.

Zusätzlicher Erkenntnisgewinn durch Stufe 2

Für die zweite Stufe des Projekts sollten ergänzend zu den bisherigen Resultaten zu folgenden Punkten neue Erkenntnisse gewonnen werden:

Leitstellenintegration

Die noch nicht realisierten Pakete der Leitstellen-Integration sollten umgesetzt werden.

Einsatz einer neuen Fahrzeuggeneration

Mit dem Einsatz der Nachfolgeneration EZ10 Gen3 sollten aufgrund Zusagen des Herstellers mehrere Punkte adressiert werden:

- Beobachtete Verbesserungen bzw. Veränderungen im Fahrzeugverhalten durch die neue Sensortechnologie, im Vergleich zur abgelösten Fahrzeuggeneration Gen2 [Verfügung 30.7.2020, Ziffer 7]
- Generelle Erkenntnisse aufgrund der verbesserten Technologie, im Vergleich zur abgelösten Fahrzeuggeneration Gen2 [Verfügung 30.7.2020, Ziffer 7]
- Besseres Fahrzeug-Verhalten in kurzer Steigung aufgrund softwareseitiger Verbesserungen in der Ansteuerung sowie in der Überwachung der Antriebskomponenten
- Intelligenter Hinderniserkennung durch neue Sensorkonfiguration mit Kamera und Software-Filtertechniken
- Erste Schritte zur Sensorfusion der Lidar und Kamera und mit späterem Software-Update auch Radar-Daten
- Bessere Lokalisierung durch besserem GNSS Setup und bessere Lidar-Sensoren
- Insgesamt weniger unnötige Notstopps

Betrieb mit zwei Fahrzeugen

Der Betrieb zweier automatisierter Fahrzeuge ermöglicht, die Besonderheiten im Begegnungsfall zu untersuchen. In Bereichen mit zu geringem Abstand definiert EasyMile Zonen, die nur von einem Fahrzeug gleichzeitig befahren werden können. Die betriebliche Auswirkung dieser Zonen soll untersucht werden.

Betrieb automatisierter Fahrzeuge im OnDemand-Betrieb

Ab 2021 soll anstelle des Fahrplanbetriebs ein neues Angebotskonzept mit einem OnDemand-Betrieb realisiert werden. D.h. die automatisierten Fahrzeuge können via App bedarfsgerecht bestellt werden. Dabei sollen die automatisierten Fahrzeuge über die EasyMile Schnittstelle direkt ihre Fahraufträge direkt von der OnDemand-Software erhalten.

Erweiterung der Pilotstrecke

Für den OnDemand-Betrieb wird eine Erweiterung der Pilotstrecke angestrebt. Dies, um einerseits mehr Fahrgäste erreichen zu können und um andererseits das linienförmige Bediengebiet entlang der Aare zumindest teilweise zu einem flächigen Bediengebiet mit verschiedenen Routen erweitern zu können.

3. Merkmale des Pilotbetriebs

3.1. Geografische Lage der Standorte des Pilotbetriebs in Bern

Die **Pilotstrecke** verläuft zwischen Marzilibahn und Bärengraben südlich der Altstadt entlang der Aare.

Die Teststrecke wurde auf dem Gelände des **Depots Bolligenstrasse** eingerichtet. Allfällige Reparaturen werden im BERNMOBIL **Depot Eigerplatz** durchgeführt.

Folgende Übersicht (Abbildung 5) zeigt die geografische Anordnung der Standorte.



Abbildung 5: Geografische Lage von Pilotstrecke und Depotstandorte in Bern

3.2. Pilotstrecke

Pilotstrecke im Zustand Anfang 2020

Eine ausführliche Beschreibung der Pilotstrecke findet sich im Zwischenbericht vom Januar 2020.

Die Pilotstrecke im Zustand Anfang 2020 ist in Abbildung 6 dargestellt.

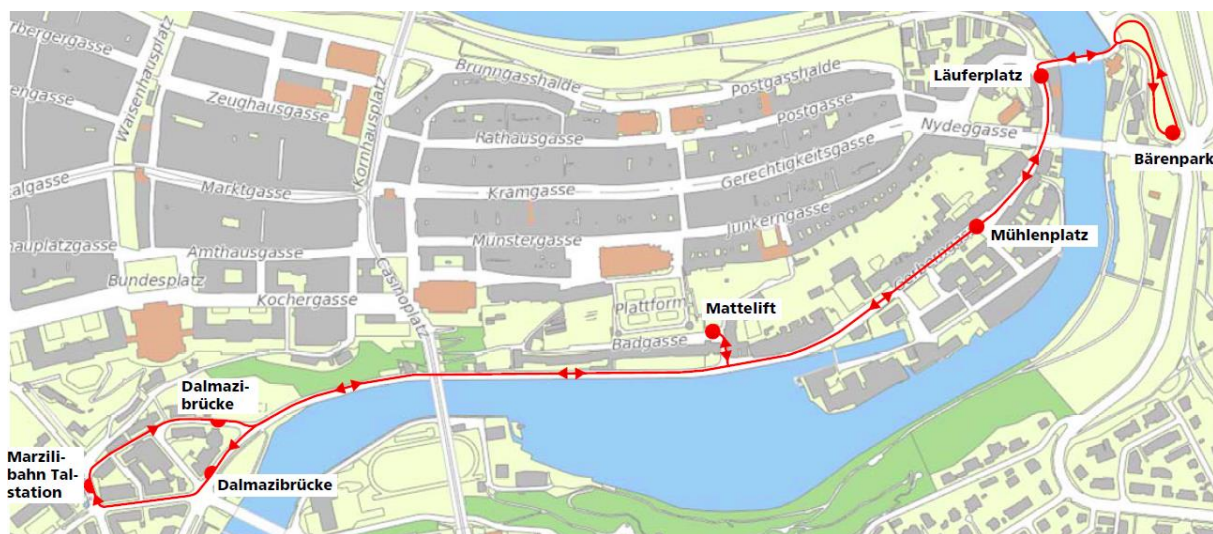


Abbildung 6: Pilotstrecke SFF ab 9. März 2020

Bauliche Veränderungen an der Pilotstrecke bis zur Wiederaufnahme des Betriebs

Während der Corona-bedingten Betriebspause wurde im Juni 2020 seitens des Tiefbauamts der Stadt Bern auf der Aarstrasse zwischen Poller und Badgasse eine Sofortmassnahme zur Sicherung der Stützmauer durchgeführt, die von der Aare stellenweise unterspült worden ist.

Diese Umbaumassnahme besteht in einem breiten Velostreifen auf der Flussseite und einer entsprechenden Verengung der Fahrbahn, sowie eine Umgestaltung des Strassenraums, siehe Abbildung 7. Weiterhin besteht neu eine Gewichtsbeschränkung auf 28t, die aber die selbstfahrenden Fahrzeuge nicht tangiert.



Abbildung 7: Neue Gestaltung Aarstrasse ab März 2020

Aufgrund dieser Anpassung war ein Update der Streckenprogrammierung vor Betriebsaufnahme erforderlich.

Anpassungen der Pilotstrecke im Berichtszeitraum

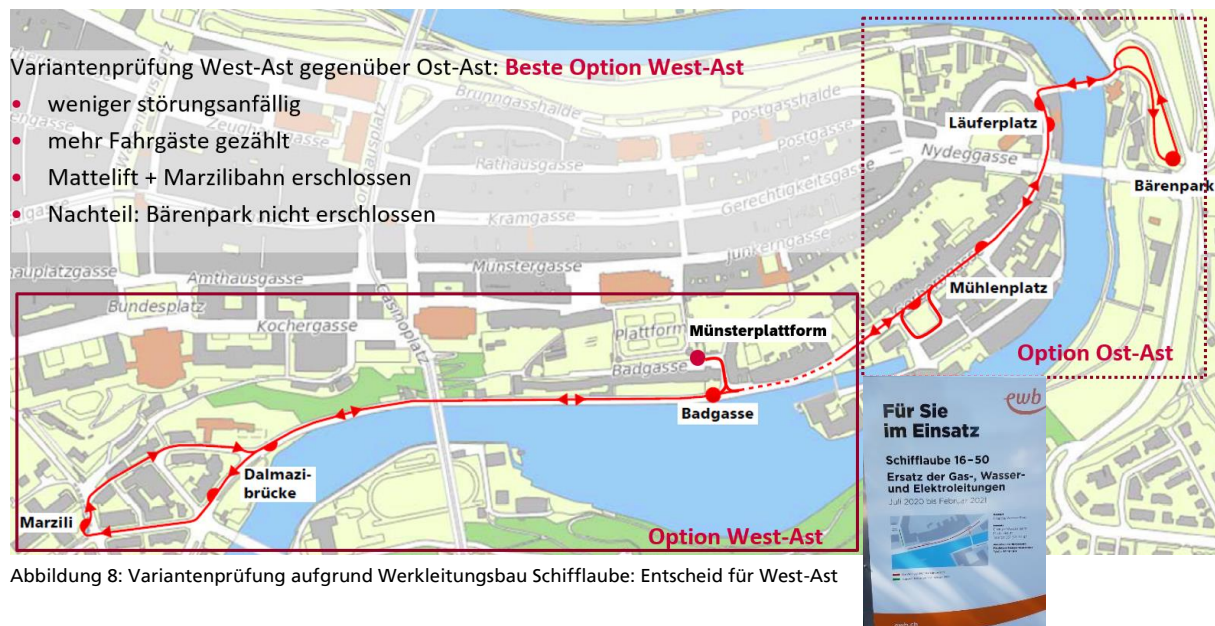
Wegen der Werkleitungssanierung an der Schifflaube war keine durchgängige fahrplanmässige Befahrung der ganzen Strecke möglich. Dies betrifft den Zeitraum Juli 2020 bis Februar 2021. Der Abschnitt zwischen Badgasse und Mühlenplatz war in dieser Zeit nur für Ein/Ausfahrten vom/zum Garagenstandort im manuellen Betrieb möglich.

Für den Pilotbetrieb im automatischen Modus mit zwei Fahrzeugen wurden die folgenden beiden Optionen geprüft:

- Nur Betrieb des Ost-Astes Mühlenplatz – Bärenpark

- Nur Betrieb des West-Astes Mattelift - Marzilibahn

Die Variantenprüfung zeigte, dass der West-Ast mehrere Vorteile hatte. Sowohl der Mattelift wie auch die Marzilibahn können weiterhin erschlossen werden. Zudem zeigte sich dieser Abschnitt in der Analyse des ersten Betriebsjahres weniger störanfällig und mit leicht höherer Fahrgastzahlen. Weiterhin konnte auf diesem Abschnitt die Begegnung von zwei Fahrzeugen besser realisiert werden. Nachteil dieser Option ist die fehlende Anbindung des Bärenparks (Abbildung 8). Gemäss Beschluss des Lenkungsausschusses wurde der West-Ast für den Betrieb gewählt.



3.3. Fahrzeuge

Beschaffung neuer Fahrzeuge

Der bei der Beschaffung des ersten EasyMile Fahrzeugs (EZ10 Gen2) vereinbarte Werkliefervertrag enthält als Optionen sowohl die Beschaffung zweier weiterer Fahrzeuge wie auch eine Verlängerung der Wartungs- und Lizenzvereinbarungen um 12 Monate. Da das Fahrzeug vom Typ Gen2 nicht mehr hergestellt wurde, hat EasyMile dem Projekt Ende 2019 angeboten, zu den gleichen Konditionen zwei Fahrzeuge des neueren Typs Gen3 zu liefern, und das bisherige Fahrzeug zurückzukaufen.

Der Entscheid der Projektpartner, für die Stufe 2 zwei neue Fahrzeuge Gen3 einzusetzen, wurde auf folgender Basis gefällt:

- Zusage EasyMile, dass die neuen Fahrzeuge neben einem verbesserten LIDAR-Setup auch mit einer Stereo-Kamera und Radar-Sensoren ausgestattet sind und somit im Pilotversuch ein Schritt in Richtung Sensorfusion möglich ist. Also die Kombination der verschiedenen Sensortypen bei der Objekterkennung.
- Durch den Einsatz von zwei Fahrzeugen sollten einerseits eine bessere Betriebsstabilität erzielt werden, andererseits auch Effekte bei Begegnungen untersucht werden.
- Die weiterentwickelten Fahrzeuge sollten zudem für alle Software-seitigen Neuerungen der EasyMile-Roadmap ausgerüstet sein. Insbesondere sollten sie folgende Verbesserungen bringen:
 - Besseres Verhalten bei schwierigen Wetterverhältnissen
 - Ausgereiftere Hindernisumfahrung
 - Ausgereiftere Vorhersage der Fahrwege
 - Bessere Rechnerkapazität
 - V2X Kommunikation
- Darüber hinaus sollten sie einige Verbesserungen der Basistechnologie bringen, angefangen von der Ansteuerung von Antrieb und Bremsen in der Steigung bis hin zum verbesserten Heizungssystem und einem Fahrgastzählssystem sowie Stoffsitze mit Gurten.

Folgende Tabelle zeigt die zum Zeitpunkt der Vertragsabschlüsse (Ende 2019/Anfang 2020) für die Stufe 2 von EasyMile kommunizierten Vorteile der neuen Fahrzeuggeneration im Vergleich zur Vorversion:

Gen2	Gen3	Verbesserung
VLP16 Lidar (80cm über Boden)	VLP32 Lidar (auf dem Dach)	Höhere Dichte für Erkennung und Tracking, auch auf grosse Entfernung. Bessere Positionierung
2 LDMRS (Lidar)	-	Lokalisierung beim Gen3 wird durch VLP32 übernommen.
LMS (Lidar)	MRS (Lidar)	4 Layer statt 1, bessere Filterung von Staub, zusammen mit SCALA Input für Kollisionsvermeidung
	4 SCALA (Lidar)	Automatische Grundfilterung; Möglichkeit, weit vorausszusehen für Vorhersage der Fahrwege
	4 ARS (Radar) (*)	Unterstützung für Objekt-Identifikation und -tracking; Schlechtwetterbetrieb
Mono B/W Camera	Stereo Color Camera	Hochauflösende, bessere Wahrnehmung von unkonventionellen Fahrzeugen

Abbildung 9: Sensortechnik der beiden Fahrzeug-Typen im Vergleich

(*) Radar wird erst in einem späteren Software-Release aktiviert.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen Gen3 und Gen2 ist auch, dass die Gen3 als Einrichtungsfahrzeuge konzipiert sind. Es gibt eine definierte Vorderseite mit der entsprechenden Beleuchtung, aber auch dem vollausgestatteten Sensorset. Und eine Rückseite mit weniger Sensoren. Das Gen2 war demgegenüber symmetrisch aufgebaut (ausgenommen die Türe), die Beleuchtung musste zwar für die Strassenzulassung in der Schweiz umgebaut werden, so dass nur vorne Scheinwerfer waren. Aber das Sensorset war vorne und hinten identisch. Somit konnte das Gen2 im automatischen Betrieb vorwärts und rückwärts gleich schnell fahren. Beim Gen3 ist die Rückwärtsfahrt nur mit Schritttempo möglich.

Ausstattung der neuen Fahrzeuge

Die neuen Fahrzeuge weisen folgende Ausstattungsmerkmale auf.

Basisdaten:

- Gewicht leer: 2150 kg; Zul. Ges.Gewicht: 3050 kg
- L: 4050 mm; B: 1892 mm; H: 2871 mm

Antrieb:

- elektrisch: 2 Motoren à 8 kW
- Batterie: 38.4 kWh 48V (LiFePo4)
- Bremssystem: gemäss der zur Fahrzeugprüfung vorgelegten Dokumentation

Innenraumausstattung:

- 6 stoffbezogene Schalensitze mit Beckengurt (siehe Abbildung 10)
- 2 hölzerne Stehsitze zum Anlehnen gegenüber der Türe
- Fussbodenheizung zusätzlich zum Decken-Heizungssystem
- Klimaanlage
- Rollstuhlbefestigungsösen am Boden
- Türe mit zwei Flügeln auf der rechten Fahrzeugseite mit Drucktastern aussen und innen
- OperatorPanel und Bedienelemente neben der Tür (wie bisher)
- RCU (Fernbedienung, wie bisher)
- Passengerdisplay
- 3 Notstopp-Taster
- Passagierzählsystem
- Intercomm-System (Kamera, Mikrofon, Lautsprecher) für Kontakt mit der überwachenden Stelle



Abbildung 10: Innenraum des EZ10 Gen3

Weitere Hardware am Fahrzeug:

- Stereo Kamera vorne (neu als Stereo-Color-Kamera)
- Mono Kamera hinten
- Abschliessbares Bedienpanel aussen (wie bisher)
- Elektrische Rollstuhlrampe (neues Modell)
- Vehicle2Infrastructure Communication: V2X OnboardUnit der Firma Naevia
- Vorgesehen für Installation einer Aussenanzeige
- GSM/EDGE/UMTS/LTE+WiFi Modem
- Multi-constellation GNSS Modem

Sensorik:

- Siehe Abbildung 9

Software (zum Auslieferungszeitpunkt):

- Voyager 7

Zulassung der neuen Fahrzeuge

Das Vorgehen zur Zulassung der neuen Fahrzeuge wurde in mehreren Koordinationssitzungen mit den Vertreterinnen der Bundesämter sowie des Lieferanten EasyMile im Februar und März 2020 abgestimmt. Basierend darauf wurden die Termine für die Fahrzeugprüfung am DTC (<https://www.dtc-ag.ch/>), die Elektrokonformitätsprüfung, den Einbau des Unfalldatenschreibers und die finale Abnahmeprüfung frühzeitig koordiniert und fixiert. Der zugehörige Änderungsantrag wurde am 5.6.2020 dem ASTRA eingereicht.

Die Fahrzeuge G3 037 und G3 038 wurden pünktlich am 18.6.2020 in Bern angeliefert. Am 22.6. wurde die Elektrokonformitätsprüfung vorgenommen, am 24.6. der "UDS AT" Unfalldatenschreiber eingebaut und am 6./7.7. wurden die Brems- und Anfahrtests an beiden Fahrzeugen in Vauffelin beim DTC durchgeführt. Bei diesen Tests war auch der Cheftwickler seitens EasyMile anwesend (Abbildung 12, Abbildung 11). Die Fahrzeugprüfung durch die Experten des ASTRA, des BAV sowie des SVSA Bern erfolgte schliesslich am 10.7. im BERNMOBIL Tramdepot Bolligenstrasse. Für die Inspektion konnte die Tramgrube verwendet werden.



Abbildung 11: Anfahr- und Bremstest in der Steigung beim DTC in Vauffelin



Abbildung 12: Nach den Bremstests beim DTC in Vauffelin

Parallel hatte BERNMOBIL einen Prototyp eines besseren Operator-Arbeitsplatzes erstellt und vorübergehend in das alte Gen2 Fahrzeug eingebaut. Dieser konnte somit am 10.7. ebenfalls inspiziert werden. Details dazu im nachfolgenden Abschnitt.

Mit der schriftlichen Zustimmung von ASTRA und BAV konnte BERNMOBIL am 23.7. Fahrzeugausweise und Kontrollschilder beim SVSA Bern entgegennehmen für die bis auf weiteres nur auf dem privaten Depotgelände verkehrenden Fahrzeuge. Schliesslich wurde uns bereits am 30.7.2020 vom ASTRA die neue Verfügung zugestellt.

Die beiden EasyMile Fahrzeuge sind für den Betrieb auf der Pilotstrecke zugelassen. Dies für maximal 20 km/h und 8 Plätze (davon 6 Sitzplätze). Bei Rollstuhlmitnahme reduziert sich die Platzzahl gemäss den in Abbildung 13 gezeigtem Aufkleber. Die Anfahr-/Bremstests wurden mit bis zu 30 km/h durchgeführt und die Verfügung enthält die besondere Bestimmung, dass die Fahrzeuge durch einen einfachen Eintrag im Fahrzeugausweis auch für 30 km/h zugelassen werden können, wenn gleichzeitig die Platzzahl auf die 6 Sitzplätze beschränkt wird.

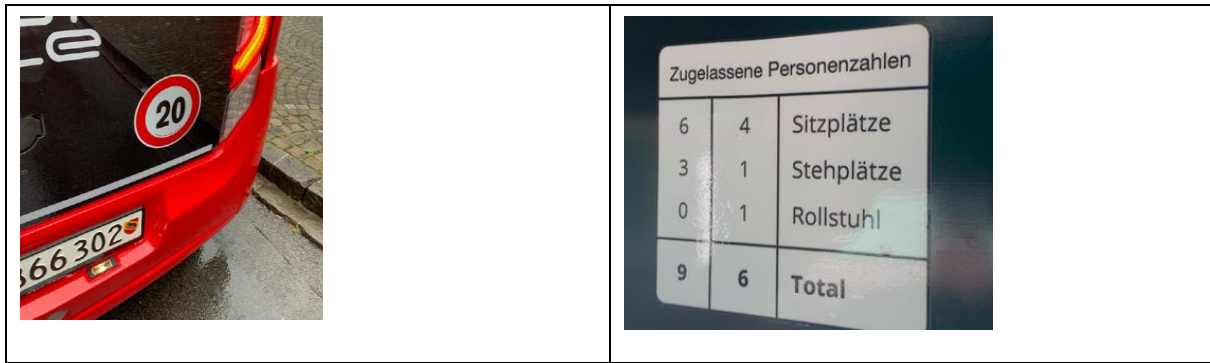


Abbildung 13: Limitierung Höchstgeschwindigkeit und Personenzahlen

Bezüglich der Beleuchtung mussten folgende Modifikationen umgesetzt werden (Abbildung 14):

- das blaue Leuchtband zwischen den Blinkern darf nicht leuchten
- das beleuchtete EasyMile-Logo muss ebenfalls deaktiviert werden
- die Warnblinkanlage darf nur in den vorgeschriebenen Situationen aktiv sein



Abbildung 14: Beleuchtungselemente vorne

Operator-Arbeitsplatz

EasyMile hat in den EZ10 Fahrzeugen keinen Arbeitsplatz für die Begleitperson vorgesehen. Die Begleitperson, in der EasyMile-Begriffswelt der "Operator", muss im Fahrzeug stehen. Diese Designentscheidung ist wohl im Hinblick auf einen späteren Betrieb ohne "Operator" zu verstehen, in der Praxis des Pilotversuchs muss aber sowohl aus juristischen wie auch aus technischen Gründen ein Operator an Bord sein. Dieser steht im Fahrzeug und kann sich im automatischen Betrieb an einer Haltestange festhalten. Im relativ häufig nötigen manuellen Betrieb benötigt er jedoch beide Hände für die Fernbedienung. In dieser Betriebsart ist zwar die Höchstgeschwindigkeit auf 5 km/h limitiert, aber ein Notstopp führt bei der hohen Verzögerung (bis zu 4.8 m/s^2) dennoch zu einem erheblichen Sturzrisiko.

Daher hat das BERNMOBIL Projektteam unter Federführung von Martin Weissen und Einbezug der Buswerkstatt einen Operator-Arbeitsplatz entworfen, der an der der Tür gegenüberliegenden Seite montiert wurde. Der hintere der beiden hölzernen "Stehsitzplätze" wurde leicht in Fahrtrichtung geschwenkt, der vordere komplett durch ein Bedienpult ersetzt, s. Abbildung 15.

Dabei wurden die Masse mit dem BAV und dem ASTRA abgestimmt, so dass sowohl die ÖV-Anforderungen (Beinfreiheit für die Fahrgäste sowie ausreichend Platz für einen Rollstuhl) wie auch die Sicherheitsanforderungen (Fensterfläche für Notausstieg) berücksichtigt sind.

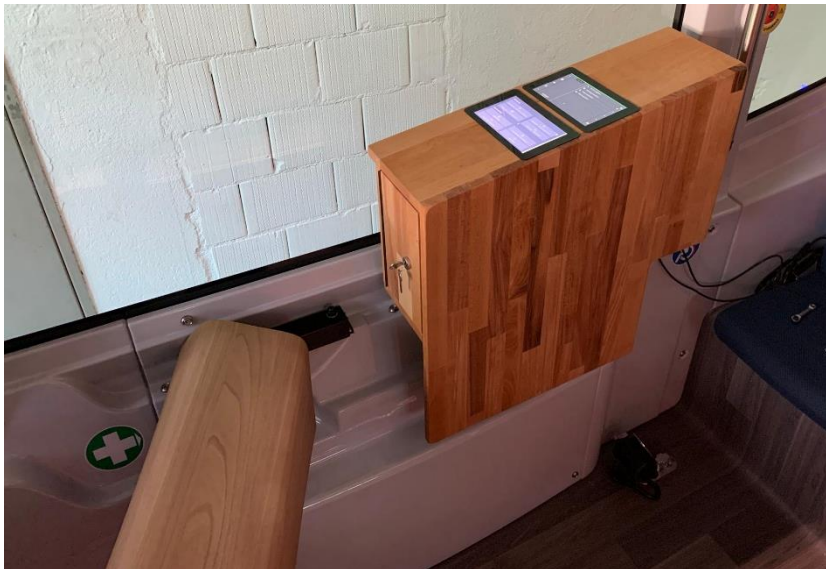


Abbildung 15: Operator-Arbeitsplatz im Zustand August 2020.

Die Begleitperson kann sich so an den "Stehsitzplatz" anlehnen und auch im manuellen Betrieb am Bedienpult gegen Stürze abstützen.

Auf einen Sicherheitsgurt wurde verzichtet, weil die Prüfaufwände für eine sichere Installation unverhältnismässig hoch gewesen wären und die neue Lösung auch so eine höhere Sicherheit bietet als im Originalfahrzeug.

Als Nebeneffekt konnte ein kleiner Schrank realisiert werden, so dass die mitzuführenden Dokumente, Reinigungstücher für die Sensoren etc. sicher verstaut werden können.

Ausserbetriebsetzung des bisherigen Fahrzeugs

Das während der ersten 12 Monate eingesetzte Fahrzeug EasyMile EZ10 Gen2 wurde mit Zulassung der neuen Fahrzeuge ausser Betrieb gesetzt und anschliessend an EasyMile zurückverkauft.

3.4. Angebot

Angebotskonzept Linie 23 - Ergänzung ab August.2020

Das Angebot mit **zwei** selbstfahrenden Fahrzeugen auf der Pilotstrecke wurde weiterhin als BERNMOBIL Linie 23 mit festem Fahrplan betrieben.

Für den West-Ast der Pilotstrecke wurde dafür folgender Fahrplan erstellt:

- Betrieb Fahrzeug 1 von 11:00 bis 19:00 mit halbstündlichen Abfahrten an Marzilibahn und Münsterplattform (Mattelift).
- Betrieb Fahrzeug 2 von 13.45 bis 16.45 mit um 15 min versetzten, halbstündlichen Abfahrten, so dass sich in der Zeit zwischen 13.30 und 17.00 ein 15 min Takt ergibt.

Der Tabellenfahrplan findet sich im Anhang 2.

EasyMile definiert Bereiche, in die jeweils nur ein Fahrzeug einfahren darf, als sogenannte "Areas". Solange sich eines der Fahrzeuge in einer Area befindet, ist die Einfahrt eines zweiten Fahrzeugs software-seitig blockiert. Das zweite wartet, bis die Area wieder frei ist. Aufgrund der geringeren Fahrbahnbreite in der Aarstrasse war zwischen Badgasse und der Polieranlage keine Begegnung der Fahrzeuge möglich. Daher musste der ganze Bereich als eine Area definiert werden (Abbildung 16).

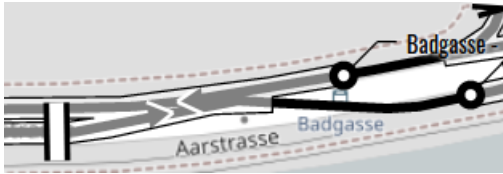


Abbildung 16: EasyMile "Area" in der Aarstrasse

Das oben genannte Angebot war für den Zeitraum August bis Dezember 2020 gültig.

Für die nachfolgende Projektphase Januar bis Juni 2021 ist ein OnDemand-Angebot ohne festen Fahrplan vorgesehen, dies wird im Schlussbericht ausführlich dargestellt.

3.5. Betriebsorganisation – Anpassungen

Die Organisation des Pilotbetriebs blieb weitgehend unverändert (s. Zwischenbericht Feb 2020). Es wurden jedoch in einer internen Ausschreibung weitere Personen für die Zusatzfunktion "Operator SFF" gesucht und anschliessend ausgebildet.

4. Projekterfahrung bis Inbetriebnahme der neuen Fahrzeuge

4.1. Fahrzeugbeschaffung

Die Beschaffung der neuen Fahrzeuge konnte relativ schlank und effizient abgewickelt werden und zudem eng mit den Zulassungsschritten verzahnt werden. Folgende Gründe haben dies erleichtert:

- Der Werkliefervertrag als gute vertragliche Grundlage für die Beschaffung
- Deutliche Verbesserungen auf Seiten des Herstellers EasyMile bezüglich der Umsetzung von Anforderungen der Zulassungsstellen
- Sehr konstruktive und lösungsorientierte Zusammenarbeit seitens ASTRA und BAV und aller weiteren in die Zulassung involvierten Stellen
- Erfahrung des Projektteams sowie der mitwirkenden Firmen aus der vorhergehenden Fahrzeugzulassung des EZ10 Gen2

Die gelieferten Gen3 Fahrzeuge waren nicht in allen Punkten so ausgestattet wie es im Dezember 2019 angekündigt wurde (Abbildung 17). Grösste Änderung war das Fehlen der Radar-Sensoren, welches EasyMile im Lauf des Lieferprozesses ankündigte. Diese hätten in den internen Tests nicht die gewünschten Ergebnisse geliefert, insbesondere im Nahbereich. Problematisch war das Fehlen insofern, als dadurch ein kleiner Bereich neben den Vorderrädern ohne ausreichende Sensorabdeckung war. Diese sogenannten Blindspots stellen im Betrieb ein fast vernachlässigbares Risiko dar, da das Fahrzeug durch die Bewegung die Hindernisse innert kürzester Zeit dann erfasst. Da die Begleitperson im Fahrzeug aber die Verantwortung für einen sicheren Betrieb tragen muss, bestand BERNMOBIL darauf, dass diese Blindspots durch Überwachungskameras zu kompensieren sind, welche EasyMile vor der Zulassung montiert hat (Abbildung 18).

Gen3 angekündigt	Verbesserung gegenüber Gen2	Lieferzustand Juli 2020
VLP32 Lidar (auf dem Dach) -	Höhere Dichte für Erkennung und Tracking, auch auf grosse Entfernung. Bessere Positionierung Lokalisierung beim Gen3 wird durch VLP32 übernommen.	VLP32 in Betrieb, bauartbedingt nur vorwärts
MRS (Lidar)	4 Layer statt 1, bessere Filterung von Staub, zusammen mit SCALA Input für Kollisionsvermeidung	MRS in Betrieb – Kollisionsvermeidung vor/rückwärts
4 SCALA (Lidar)	Automatische Grundfilterung; Möglichkeit, weit vorausszusehen für Vorhersage der Fahrwege	SCALA in Betrieb
4 ARS (Radar) (*)	Unterstützung für Objekt-Identifikation und -tracking; Schlechtwetterbetrieb	Radar nicht installiert (*)
Stereo Color Kamera	Hochauflösende, bessere Wahrnehmung von unkonventionellen Fahrzeugen	Stereo Kamera installiert, softwareseitig aber noch nicht für Objekterkennung genutzt

Abbildung 17: Lieferzustand Sensortechnik Gen3



Abbildung 18: Aussenkameras zur Kompensation der Blindspots der Sensoren

4.2. Erkenntnisse zu Sensorset und Software der neuen Fahrzeuge

Aus den Abweichungen des Lieferzustands der Fahrzeuge von den Ankündigungen wurden folgende Schlüsse gezogen:

- Grundsätzlich bewährt hat sich das Beschaffungsverfahren mit dem Werkliefervertrag und der darin enthaltenen Anforderungsliste. Dies ergab auch im Fall von den ausgelösten Optionen eine klare Verhandlungsgrundlage.
- Für grundsätzlich gut befunden wurde, dass EasyMile eine klare Test- und Zulassungsstrategie für die neuen Technologien hat und nur Systeme zum Kunden ausliefert, die alle für nötig erachteten Eigenschaften erfüllen. EasyMile schreibt bezüglich des Verzichts auf Radar: "Wir haben eine klar strukturierte Teamaufteilung mit definierten Aufgabebereichen. So ist unser Forschungs- und Entwicklungsteam zusammen mit dem Team zu Test und Validierung hinsichtlich der Fragestellung des Verzichts der Radarsensoren zum Schluss gekommen, dass diese zu viele "False positives" generiert haben und ein sicherer Einsatz im EZ10 nicht garantiert werden konnte. Der Nahbereich war hier besonders kritisch. Wir haben das Thema Radar soweit aufgeschoben, bis neue Generationen der Radarsensoren auf dem Markt erscheinen, die brauchbarer für unseren Einsatz sind."
- EasyMile unterscheidet sich in Punkto Ankündigungskommunikation bezüglich neuer Funktionen leider nicht von anderen Herstellern.
- Die Release-Zyklen für die Fahrzeugentwicklung seitens EasyMile sind grundsätzlich sinnvoll strukturiert. Eine transparentere Kommunikation der Entwicklungs-Roadmap wäre für die zeitlich begrenzten Pilotprojekte jedoch sehr hilfreich.
- Die Entwicklung eines komplexen Produkts wie einem selbstfahrenden Shuttle benötigt entsprechende Entwicklungskapazitäten und entsprechend Zeit

Die im Lieferzustand der Fahrzeuge installierte EasyMile Software Version Voyager 7 weist unter anderem folgende neue Funktionen auf:

- Bus-Modus: in dieser Betriebsart werden Haltestellen nur angefahren, wenn der Operator einen Haltewunsch via Operator-Panel meldet. Die Trajektorie des Fahrzeugs kann dabei auch in zwei Pfade aufgesplittet werden, einen Pfad mit Haltestelle und einen zum Umfahren.
- Areas: Bereiche, in die nur jeweils eines der im Einsatz befindlichen Fahrzeuge einfahren kann (ähnlich Blockabschnitt bei der Eisenbahn)
- Yields mit automatischer Areaüberwachung: es lassen sich Flächen definieren, die vom Fahrzeug auf Hindernisse überprüft werden. Unmittelbar vor der Fläche befindet sich ein

"Yield" (Stoppunkt), an dem das Fahrzeug anhält, ist kein Hindernis vorhanden, setzt das Fahrzeug die Fahrt fort.

Leider war die für die Gen2 bereits verfügbare Funktion "obstacle Circumvention" für die neuen Gen3 im Auslieferungszustand mit der Software Voyager 7 zunächst nicht aktiv. Auch hier zeigen sich die Entwicklungs- und Testaufwände.

4.3. Erkenntnisse zur Ausstattung der neuen Fahrzeuge

Mehrere Anforderungen von BERNMOBIL aus Stufe 1 (EZ10 Gen2) wurden von EasyMile in den neuen Fahrzeugen bzw. in den Software-Releases umgesetzt.

Verbesserte Heizung

Die Gen3 verfügen neu über eine Fussbodenheizung zusätzlich zum Gebläse unter dem Dach. Dadurch ergibt sich ein erheblicher Komfortgewinn. Leider noch nicht umgesetzt ist die Temperatursteuerung der Heizung (erst für Software-Release "Voyager 10" angekündigt).

Bedienelemente Operator

In den Gen3 wurden einige Verbesserungen bezüglich der Bedienung durch den Operator vorgenommen:

- Bessere Position des Notstopp-Knopfs beim Operator-Panel
- Halterung für die Fernsteuerung auf der vorderen Ablage – diese ist im Betrieb mit Fahrgästen aber nicht gut erreichbar (man müsste sich über die Fahrgäste beugen) und wurde daher von BERNMOBIL wieder entfernt.
- Operator-Panel: getrennte Buttons für "SoftStop" und "Go" im Fall eines Yield (Abbildung 19)
- Operator Panel: Anzeige der Entfernung zum nächsten Yield (ab Voyager 9)

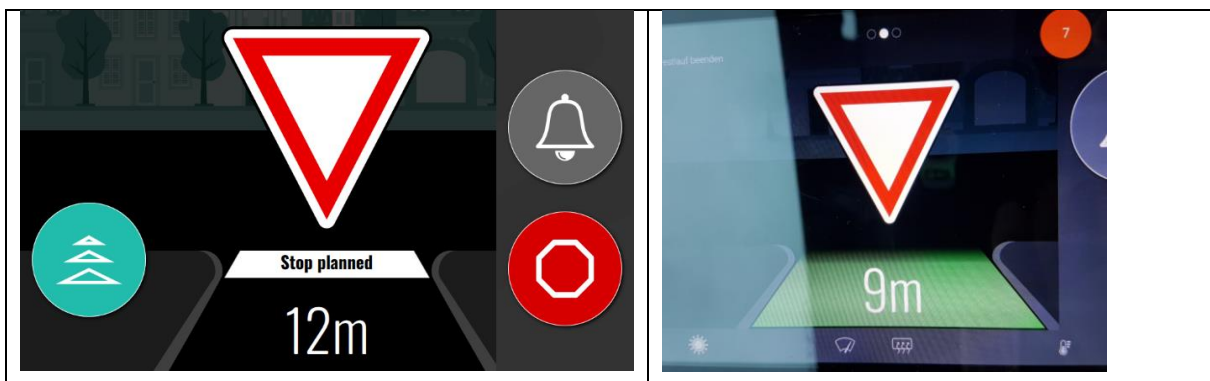


Abbildung 19: Verbesserungen Operatorpanel

- Fernbedienung: Möglichkeit, das Fahrzeug von der Fernbedienung aus betriebsbereit zu machen ("rearm")

Aussendisplay zur Fahrtzielanzeige

Das bereits 2018 in der Ausschreibung geforderte Aussendisplay ist nun als Option verfügbar. Das angebotene Modell im unteren Bereich des Fensters verdeckt jedoch ca. ¼ der Fensterfläche und war in den bisherigen Software-Releases nur mit fixen Texten bespielbar (Abbildung 20).

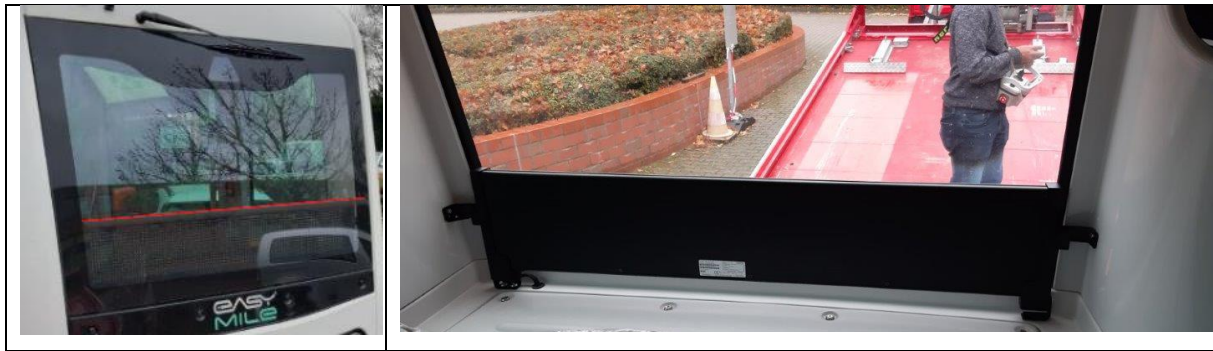


Abbildung 20: nicht realisierte Option Aussendisplay

Die angebotene Lösung wurde von BERNMOBIL aus den folgenden Gründen nicht bestellt:

Einerseits wird das Sichtfeld der Operatoren unnötig eingeengt, was als sicherheitskritisch angesehen wurde. Andererseits ist der Mehrwert für den Betrieb nicht gegeben, solange das Display nur mit fixen Texten bespielt werden kann (letzteres wird mit Update Voyager 10 verbessert).

Neues Modell der elektrischen Rampe

Das Gen3 hat ein neues Modell einer elektrischen Rollstuhlrampe eingebaut. Leider erwies sich auch das neue Modell bisher als sehr störungsanfällig.

Onboard-Unit V2X

Die Fahrzeuge verfügen über eine Onboard-Unit V2X der Firma Naevia. Ursprünglich war angedacht, diese mit der Polleranlage an der Aarstrasse zu koppeln. Es zeigte sich jedoch im Projektverlauf, dass die infrastrukturseitigen Kosten und Aufwände – vor allem im Bereich der Steuerung – den Nutzen weit übersteigen würden. Auch wurde der Mehrwert auf Seiten der Eigner der Infrastruktur nicht gesehen.

Passagierzählsystem

Das Passagierzählsystem über der Tür erfasst die im Fahrzeug anwesende Personenzahl. Der Einbau war mit Sonderaufwänden von Seiten des BERNMOBIL Werkstatt-Teams verbunden, da die Systeme im Auslieferungszustand leider noch nicht montiert waren. Die Zählraten werden im Backend-System "SiteCC" angezeigt (Abbildung 21) und machen die in Stufe 1 praktizierte manuelle Zählung überflüssig.



Abbildung 21: Passagierzahl im SiteCC

4.4. Fahrzeugzulassung und -abnahme

Erkenntnisse aus dem Zulassungsprozess:

Die Blindspots der Sensoren stellten bezüglich Zulassung kein Problem dar, da eine Begleitperson anwesend ist, die über die Kameras die fraglichen Bereiche einsehen kann und die jederzeit die Verantwortung hat. Darüber hinaus hat sich BERNMOBIL im Rahmen der Testfahrten überzeugt, dass die Blindspots im Betrieb unkritisch sind.

Die angeforderte Umprogrammierung der Warnblinkanlage wurde von EasyMile fristgerecht bis Ende September umgesetzt.

Die Zulassung der Fahrzeuge durch die prüfenden Bundesämter und das SVSA Bern war Kernelement der Fahrzeug-Abnahme seitens BERNMOBIL.

Die fehlenden Radar-Sensoren sowie die erst für 2021 angekündigte softwareseitige Einbindung der Kamera in die Objekterkennung führte jedoch dazu, dass die Fahrzeuge von BERNMOBIL im Lieferzustand nicht abgenommen wurden. Wesentliche Projektziele waren dadurch nicht mehr erreichbar, nämlich Erkenntnisse zum Betrieb von Fahrzeugen, die die Sensordaten von Lidar, Kamera und Radar kombinieren, im Vergleich zu rein Lidar-basierten Fahrzeugen.

Die Projektpartner einigten sich mit EasyMile auf eine Roadmap mit einer schrittweisen Nachrüstung der Fahrzeuge. Die Roadmap soll bis Juni 2021 zumindest ein verbessertes Lidar-Setup bringen (ohne Blindspots) sowie erste Schritte bezüglich der Kamera-Einbindung.

4.5. Schritte bis zur Betriebsaufnahme

Transporte

Die Transporte der neuen Fahrzeuge zwischen den bewilligten Standorten und den Orten für Tests und Reparaturen sollten wie im bisherigen Projekt von der Fa. H.P. Gerber AG vorgenommen werden.



Abbildung 22: Transport zwischen den Einsatzorten mit Fa. H.P. Gerber AG

Die Abschleppmöglichkeiten der neuen Fahrzeuge wurden am 6.7.2020 von der Firma Gerber und dem Projektteam ausführlich getestet, mit dem Ziel, die Fahrzeuge im Fall einer Panne rasch verladen zu können. Dabei ist die spezielle Konstruktion des EZ10 Gen3 zu beachten:

Lenkung:

es gibt kein Lenkrad. Die Lenkung der Achsen kann im manuellen Betrieb via Fernbedienung getrennt für Vorder- oder Hinterachse erfolgen, oder beide gemeinsam. Fällt die manuelle Steuerung jedoch aus, z.B. im Fall eines Problems mit der Stromversorgung, sind die Achsen nicht lenkbar. Hier müssen sogenannte Roadjacks zum Einsatz kommen.

Bremsen:

es gibt kein Bremspedal. Im manuellen Betrieb mit der Fernbedienung treten die Bremsen in Aktion, sobald der Vor-/Rückwärtshebel losgelassen wird. Im Fall eines Ausfalls der manuellen Steuerung können die Bremsen über spezielle Drehschalter aussen am Fahrzeug gelöst werden (s. Abbildung 23, links).

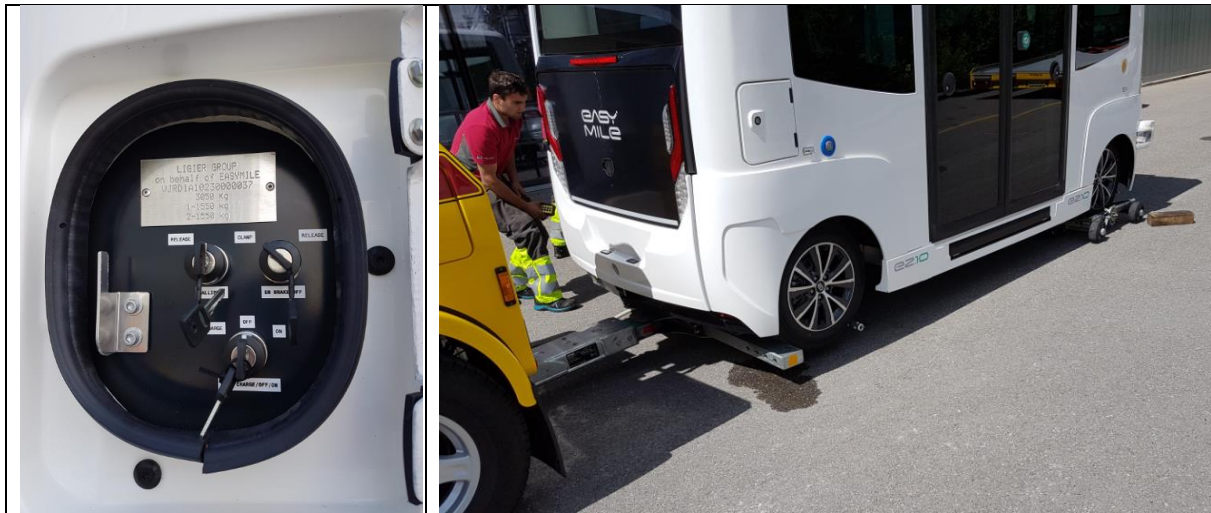


Abbildung 23: Test der Abschleppmöglichkeiten mit Roadjacks durch die Firma H.P. Gerber AG

Der Einsatz der Roadjacks war beim Gen2-Fahrzeug aufgrund der grossen Sensorabdeckungen an den Fahrzeugecken nicht möglich. Die Gen3 haben keine solchen Abdeckungen und eignen sich daher zum Einsatz der Roadjacks (s. Abbildung 23, rechts).

Werkstatt-Team

Die Ausbildung von Mitarbeitenden der BERNMOBIL Buswerkstatt bewährte sich insbesondere bei den Arbeiten zur Zulassung und Inbetriebnahme der neuen Fahrzeuge. Die beiden für die EasyMile-Fahrzeuge ausgebildeten Mitarbeiter führten wichtige Arbeiten rasch und unkompliziert durch (z.B. Montage der Unfalldatenschreiber). Auch bei vielen mechanisch bedingten Defekten konnten die speziell ausgebildeten Techniker der Werkstatt von BERNMOBIL Reparaturen viel zeitnaher durchführen als es durch EasyMile möglich gewesen wäre.

Design

Das Design wurde von den Kolleginnen und Kollegen aus dem Marketing zusammen mit den Projektpartnern entworfen, abgestimmt und beauftragt. Die beiden Projektpartner ewb und insbesondere Migros Aare mit ihrem Folierungs-Team ermöglichten die rasche und fachgerechte Folierung der beiden Fahrzeuge (Abbildung 24).



Abbildung 24: EZ10 Gen3 mit Folierung.

Tests und Setup Demo-Site

Durch seine Ausbildung zum "EasyMile Setup Designer Level 1" hatte Martin Weissen, Teilprojektleiter Pilotbetrieb, von EasyMile die Software-Werkzeuge für das Setup erhalten und konnte mit den Level 1 Berechtigungen die Tests erheblich effizienter durchführen sowie dem EasyMile Deployment Engineer beim Update der Demo-Site im Tramdepot besser unterstützen.

Für die Tests mit zwei Fahrzeugen wurde die Demo-Site entsprechend erweitert (Abbildung 25). Sie enthält neu mehrere Areas sowie Möglichkeiten, an Haltestellen vorbeizufahren (im neuen

"Bus"-Modus) und teilweise mehrere Möglichkeiten, ein Ziel zu erreichen sowie neue Wendemöglichkeiten. Zudem wurde zu Testzwecken auch ein Yield eingebaut, welches vom Fahrzeug selbstständig überwacht und validiert wird ohne, dass die Begleitperson eingreifen muss.

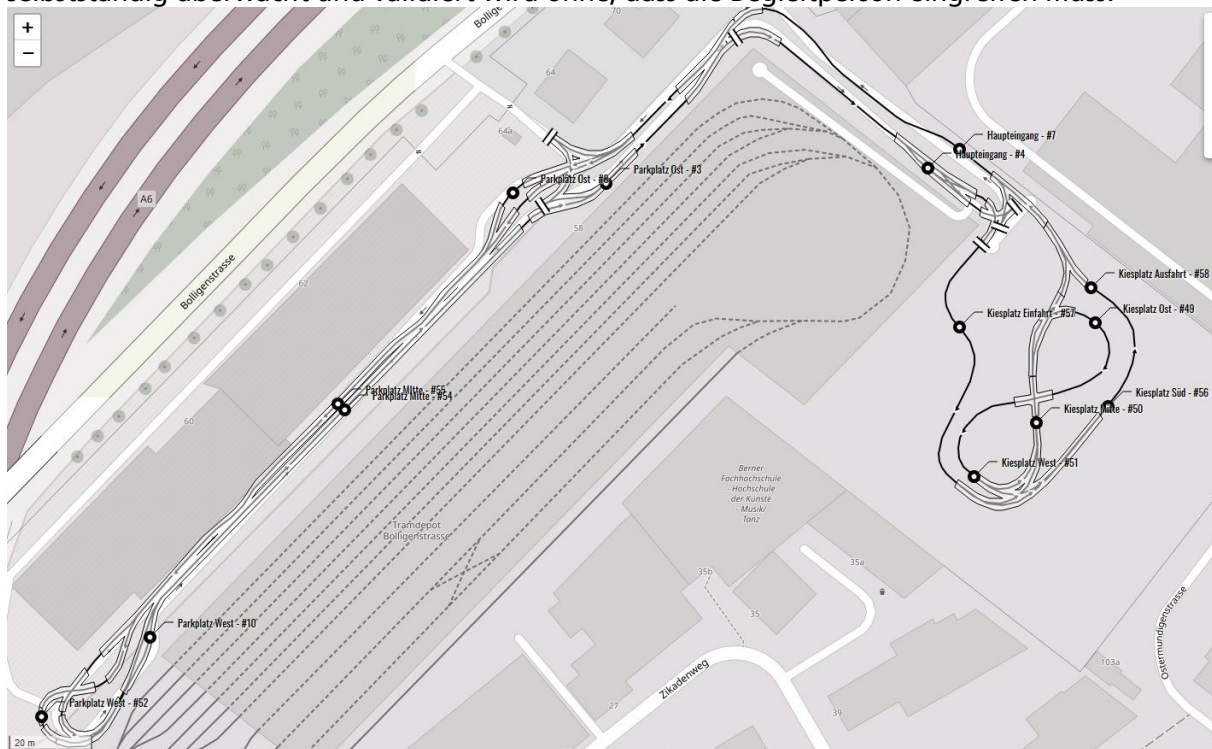


Abbildung 25: "Demo Site" im Tramdepot Bolligenstrasse

Ausbildung Begleitpersonen

Die Ausbildung der neuen Begleitpersonen wurde im Zeitraum Juli/August 2020 auf dem Depotgelände nach den Vorgaben von EasyMile durchgeführt und dann mit entsprechenden Instruktionsfahrten auf der Pilotstrecke abgeschlossen. Die Begleitpersonen haben nach der Ausbildung von EasyMile ein entsprechendes Zertifikat (Safety Operator EZ10 Gen3) erhalten.

4.6. Streckenprogrammierung durch EasyMile

Die Programmierung der in Abschnitt 3.2 dargestellten Strecke durch EasyMile erfolgte von 4. bis 7. August 2020.

4.7. Betriebsaufnahme

Betriebsaufnahme des neuen Angebots erfolgte am 24.8.2020.



Abbildung 26: Eröffnung des neuen Angebots



Abbildung 27: beide Fahrzeuge an der Haltestelle Badgasse

5. Betriebserfahrungen SFF – Monate 13 - 18

5.1. Betriebsdaten Juli 2020 bis Dezember 2020

Betriebstage

Die Betriebsaufnahme mit den neuen Fahrzeugen erfolgte nach Zulassung und Schulung der Begleitpersonen am 24.08.2020.

Aufgrund kurzfristig nicht lösbarer technischer Probleme an beiden Fahrzeugen wurde am 10.09.2020 entschieden, den Fahrgastbetrieb einzustellen. Die akuten Ausfälle konnten rasch behoben werden. Die zugrundeliegenden Probleme konnten jedoch erst im November 2020 definitiv gelöst werden. Nach den Reparaturarbeiten durch EasyMile und der Werkstatt von BERNMOBIL wurden unter anderem aus sicherheitsrelevanten Gründen intensive Testfahrten während mehreren Wochen auf der Teststrecke durchgeführt um die langfristige Zuverlässigkeit zu überprüfen. Während des Dezembers wurde dann der Fahrgastbetrieb nicht wieder aufgenommen, sondern die Fahrzeuge wurden zum Test des OnDemand-Systems im Depotgelände von BERNMOBIL eingesetzt. Daher waren die Fahrzeuge im Berichtszeitraum nur während knapp 3 Wochen auf der Pilotstrecke unterwegs, danach nur noch zu Testzwecken auf dem Depotgelände.

Datum		Wetter	Anmerkung Tagesbetrieb
24.08.2020	Mo	24°C, leicht bewölkt	Eröffnung Betrieb; am Nachmittag Fzg 038 unzuverlässig wegen "Prediction Timeout error" (seit 17.08.2020)
25.08.2020	Di	26°C, leicht bewölkt	
26.08.2020	Mi	27°C, leicht bewölkt	
27.08.2020	Do	26°C, heiter	TractionController Errors Fzg 037
28.08.2020	Fr	23°C; Schauer	
29.08.2020	Sa		
30.08.2020	So		
31.08.2020	Mo	20°C, bewölkt	
01.09.2020	Di	19°C, leicht bewölkt	
02.09.2020	Mi	21°C, leicht bewölkt	
03.09.2020	Do	23°C, sonnig	Analyse EasyMile Fzg 038
04.09.2020	Fr	27°C, sonnig	Analyse EasyMile Fzg 038
05.09.2020	Sa		
06.09.2020	So		
07.09.2020	Mo	18°C, bewölkt	
08.09.2020	Di	24°C, sonnig	Blockierte Bremsen am Fzg 037
09.09.2020	Mi	27°C, sonnig	
10.09.2020	Do	25°C, heiter	Betriebseinstellung wegen anhaltender Fahrzeugstörungen

Abbildung 28: Darstellung aller Betriebstage

Fahrgastzahlen und km-Leistung

Da aufgrund des installierten Fahrgastzählsystems keine Handzählung mehr gemacht wurde, das Fahrgastzählssystem jedoch anfangs nicht richtig funktionierte, liegen für die drei Betriebswochen leider keine Fahrgastzahlen vor.

Die Distanz der gefahrenen km ist in nachfolgenden Abbildungen getrennt nach Fahrzeugen dargestellt, dabei sind Fahrten auf der Pilotstrecke blau dargestellt, solche auf dem Depotareal rot. Es zeigt sich auch hier, dass Fahrzeug 038 aufgrund der anhaltenden Probleme kaum auf der Pilotstrecke unterwegs war.

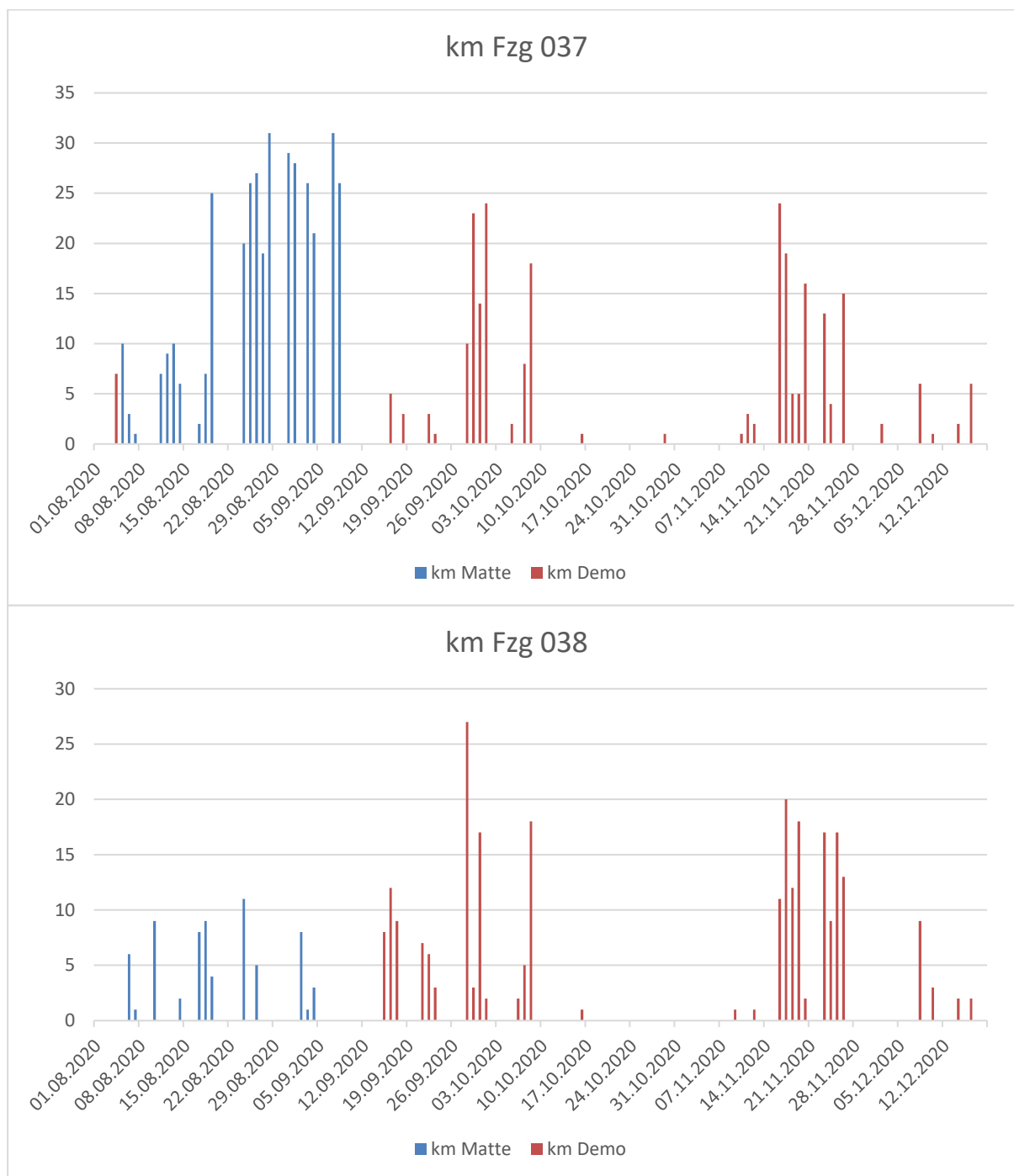


Abbildung 29: Laufleistung im Betrachtungszeitraum, oben Fahrzeug 037 (rot), unten Fahrzeug 038 (orange)

Fahrzeugdaten

Die detaillierten Daten des Betriebszeitraums wurden im Rahmen der vertraulichen monatlichen Reports von EasyMile bereitgestellt.

Diese werden den genehmigenden Bundesämtern als Anhang weitergereicht.

5.2. Besondere Ereignisse Juli 2020 bis Dezember 2020

Farbcodierung der Tabelle:

- Unfall
- Technische Störung
- Geplante Massnahme
- Kritische Betriebsbedingung

17. Aug. 2020	Prediction Timeout beim Fzg 038
Beschreibung:	Fahrzeug bleibt nach längerer Betriebszeit stehen und ist mindestens 15 min blockiert
Folge:	Kein stabiler Fahrplanbetrieb möglich
Massnahme:	Entscheid: bis auf weiteres kein Einsatz im Regelbetrieb
24. Aug. 2020	Bremsstörung am Fzg 037
Beschreibung:	Ein Bremsmotor war blockiert, musste ersetzt werden.
Folge:	Pannendienst für Fahrt ins Depot
Massnahme:	Analyse der Störung und rasche Behebung durch BERNMOBIL Werkstatt-Team unter Verwendung eines Ersatzteils aus dem abgestellten Gen2-Fahrzeug.
27. Aug. 2020	TractionController Errors Fzg 037
Beschreibung:	Häufige Notstopps mit der o.g. Fehlermeldung. Sie konnte jeweils vom Operator durch Rearming behoben werden
Folge:	Weiter in Betrieb
Massnahme:	Erfassung der Störung im Helpdesk-System
8. Sept. 2020	Blockierte Bremsen am Fzg 037
Beschreibung:	Alle 4 Bremsmotoren blockiert
Folge:	Ausfall Betrieb; Einsatz Pannendienst
Massnahme:	Analyse der Störung und Entscheid über Massnahmen
10. Sept. 2020	Generelle Betriebseinstellung bis zur definitiven Lösung
Beschreibung:	Projektteam beschliesst, den Betrieb erst wieder aufzunehmen, wenn die Fahrzeugprobleme von EasyMile nachhaltig gelöst wurden
Folge:	Kein Betrieb für unbestimmte Zeit
Massnahme:	Kundeninformation; Keine Abnahme der Fahrzeuge
21./22. Sept. 2020	Update Voyager 8
Beschreibung:	Update Voyager 8 durch EasyMile an beiden Fahrzeugen durchgeführt.
Folge:	Korrekturen vorgenommen, Fahrzeuge bereit für Tests
Massnahme:	Planung und Durchführung von Dauertests; darauf basierend Entscheid über Abnahme
9./10. Nov. 2020	Update Voyager 9
Beschreibung:	Update Voyager 9 durch EasyMile an beiden Fahrzeugen durchgeführt
Folge:	Korrekturen vorgenommen, Fahrzeuge bereit für Tests
Massnahme:	Planung und Durchführung von Dauertests; darauf basierend Entscheid über Abnahme
11. Dez. 2020	Abnahme der Fahrzeuge
Beschreibung:	Aufgrund positiver Testresultate werden die Fahrzeuge vom Lenkungsausschuss abgenommen
Folge:	Fahrzeuge einsatzbereit; sollen jedoch für Tests mit OnDemand-Software zunächst im Depot eingesetzt werden.
Massnahme:	Planung der Wiederinbetriebnahme mit OnDemand System für Anfang 2021

Abbildung 30: Tabelle besondere Ereignisse

5.3. Streckenzustand und Wetter

Die Pilotstrecke war im Zeitraum 24. August – 10. September 2020 vom Strassenzustand her durchwegs befahrbar. Das Wetter war überwiegend trocken.

Es zeigten sich jedoch bei der Zufahrt zum Mattelift (Haltestelle "Münsterplattform") mehrere Probleme. Zum einen hatten die Fahrzeuge Anfahrschwierigkeiten, weil die Haltestelle in einer Steigung liegt. Zum anderen war die Zufahrt häufig durch andere Fahrzeuge blockiert, vor allem zu den Bring- und Holzeiten der dortigen Polygon-Schule.



Abbildung 31: Zahl der Notstopps mit Wettersituation

5.4. Streckenprogrammierung

Wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, wurde die Pilotstrecke modifiziert, konnte aber aufgrund der Fahrzeugstörungen nur kurze Zeit im Fahrplanbetrieb automatisiert befahren werden.

In dieser Zeit konnten immerhin Erfahrungen mit den Areas gesammelt werden.

- Funktioniert grundsätzlich sehr zuverlässig – wenig bis keine Störungen durch Areas
- Area freigeben erfordert einen definierten Ablauf durch einen ChiefOperator (Site auf dem FZ beenden, FZ in SiteCC auf disabled schalten, Area freigeben), das ist in der Praxis nicht tauglich und müsste einfacher handhabbar sein (z.B. sollte ein ausgeschaltetes FZ die Area automatisch freigeben)
- Eine blockierte Area wird auch freigegeben, wenn manuell aus der Area gefahren wird (positiv)
- Eine blockierte Area wird nicht freigegeben, wenn ein FZ aus der Area abgeschleppt wird (negativ)

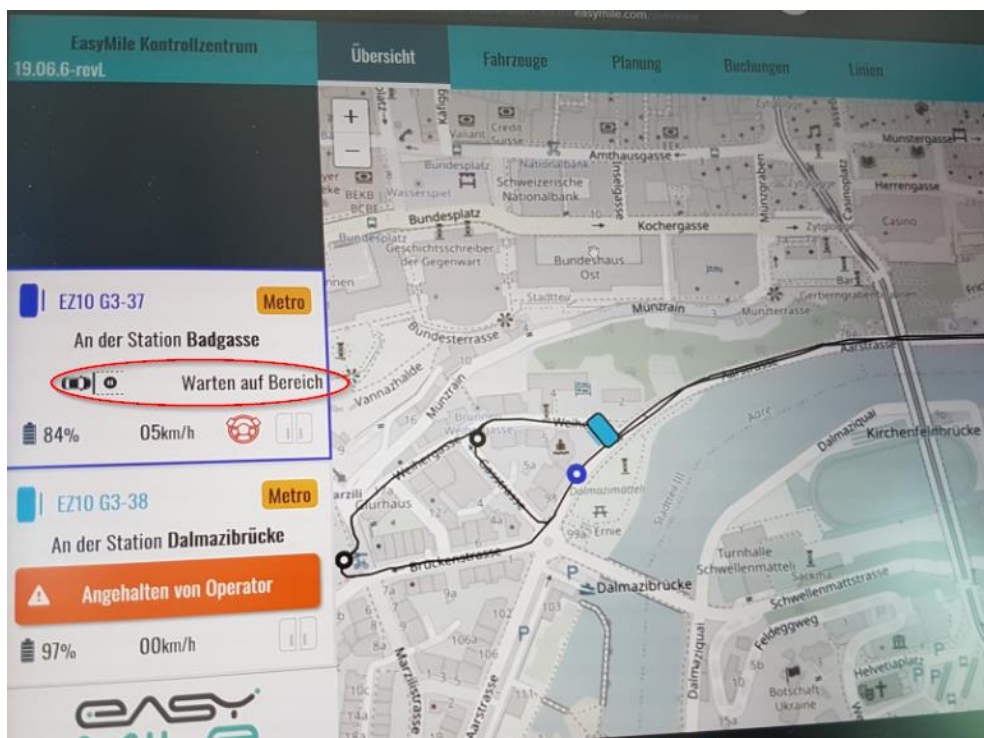


Abbildung 32: das Fahrzeug 038 ist gerade in den Sperrbereich (Area) eingefahren und hat ihn für sich reserviert, 037 muss warten

5.5. Akzeptanz bei den Fahrgästen

BERNMOBIL hat zur Ermittlung der Akzeptanz des Pilotversuchs zum Betriebsbeginn im Juli 2019 eine Online-Umfrage aufgeschaltet. Der zugehörige Link ist auf der Homepage erreichbar und auch im Fahrzeug als QR-Code angebracht. Diese Umfrage ist somit nicht repräsentativ und die Teilnehmenden können sie auch beantworten, ohne selbst im automatisierten Kleinbus mitzufahren zu sein.

Per Stichtag 21.03.2021 sind bislang 66 Antworten eingegangen, die im Anhang 3 im Detail aufgeführt sind. Es zeigt sich, dass sich die meisten im Fahrzeug sicher fühlen (66%, s. Abbildung 43), aber dennoch ein Versagen der Sensortechnik für wahrscheinlich halten (58%, s. Abbildung 44). Auch einen Hackerangriff schätzt fast die Hälfte als wahrscheinlich ein (s. Abbildung 45), die meisten vermuten auch eine erhebliche Fehlerquote des Fahrzeugs oder halten den Fahrer für unverzichtbar (56%, s. Abbildung 46). Die Beeinträchtigung der Privatsphäre durch die Videokameras empfinden 54% als gering oder sehr gering (s. Abbildung 47). Dagegen befürchten über 70% einen Abbau von Arbeitsplätzen (Abbildung 48). Die EasyMile Fahrzeuge finden 35% als komfortabel, die meisten halten sie für verbesserungswürdig (Abbildung 49), wobei hier die Antworten zu beiden eingesetzten Fahrzeugtypen zusammengefasst wurden. Die Pilotstrecke durch das Mattequartier kommt bei 67% sehr gut an (Abbildung 50), und auch der Pilotversuch insgesamt findet aber trotzdem bei einer knappen Mehrheit Zustimmung (53%, s. Abbildung 51). Interessant ist, dass 32% angeben, noch nie mit einem selbstfahrenden Fahrzeug unterwegs gewesen zu sein (Abbildung 52).

Zusätzlich zu der Gesamtauswertung wurden separat die Rückmeldungen ab Juli 2020 betrachtet, also betreffend die Phase mit den neuen Gen3 Fahrzeugen. Hierzu gibt es bisher 15 Rückmeldung. Dabei zeigt sich, dass die neuen Fahrzeuge von 60% als komfortabel bewertet werden (Frage 7), also deutlich besser als in der Gesamtbewertung.

5.6. Test- und Diagnosefahrten auf dem Depotareal

Die Probleme, die zur Betriebseinstellung geführt hatten, wurden im Bereich des Temperaturmanagements im Dauerbetrieb vermutet. Für die Analyse sollten die Fahrzeuge im Depotareal Bolligenstrasse getestet werden.

Für den Dauerbetrieb wurde dazu ein Teil des Kiesplatzes südöstlich des Depotgebäudes abgesperrt und jeweils ein Fahrzeug wurde dort auf einem Rundkurs im unbegleiteten Betrieb getestet (Abbildung 33).

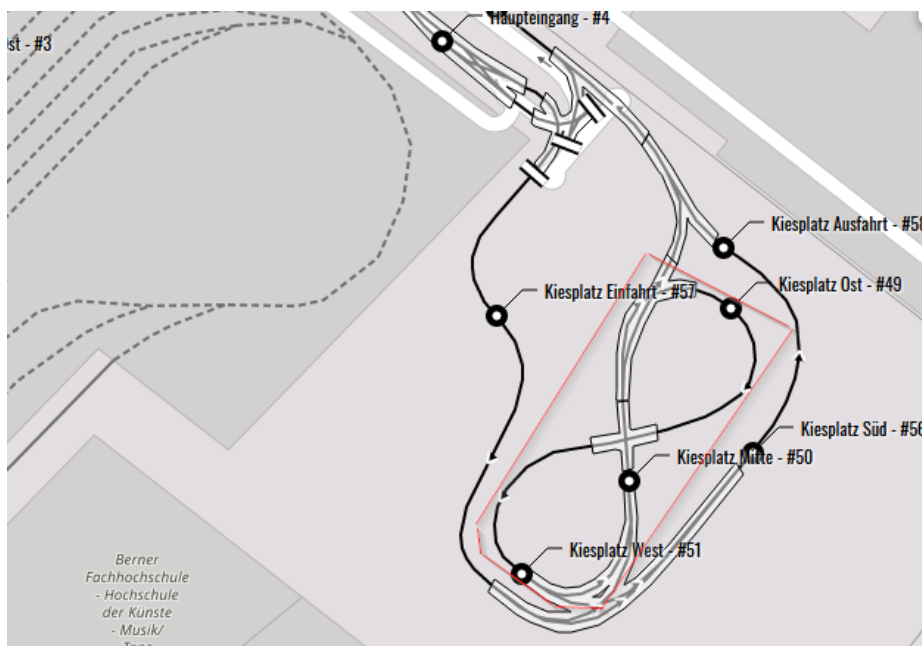


Abbildung 33: Depotareal mit abgesperrtem "8"-Rundkurs auf dem Kiesplatz.

Der Platz wurde entsprechend gesichert und es war jederzeit ein ausgebildeter ChiefOperator vor Ort, um eingreifen zu können (Abbildung 34).



Abbildung 34: Abgesperrter Rundkurs mit Warnhinweis

5.7. EasyMile Helpdesk und Kommunikation

Die Zusammenarbeit mit EasyMile sowohl bei der Zulassung der Fahrzeuge wie auch im Betrieb und bei der Störungsbehandlung war sehr gut. Gegenüber dem Projektstart wurden deutliche Verbesserungen in der Reaktivität und auch den übrigen Kommunikationsprozessen festgestellt.

Der Projektmanager war immer informiert und hat wenn nötig in die Helpdesk-Prozesse eingegriffen.

Die Release-Dokumentation für die Updates wurde rechtzeitig bereitgestellt und war auch gut aufgebaut. Die wesentlichen Dokumente sind inzwischen auf Deutsch verfügbar.

Störungen müssen nach wie vor als Tickets im Helpdesk-System erfasst werden. Eine telefonische Hotline wäre zur raschen Analyse oft hilfreich – eine solche ist seitens EasyMile in Vorbereitung, aktuell aber noch nicht online.

EasyMile ist seit 2019 ISO 9001:2015 zertifiziert und arbeitet an der Zertifizierung nach ISO 26262.

5.8. Fahrzeugtechnik (LowLevel - ohne Sensoren und Selbstfahr-Software)

Wie bereits das EasyMile EZ10 Gen2 zeigten auch die beiden neuen Fahrzeuge vom Typ Gen3 häufige technische Störungen an konventionellen Fahrzeug-Komponenten.

Gegenüber dem Gen2 deutlich verbessert wurde die software-seitige Überwachung und Diagnose der Fehlerzustände, insbesondere mit den beiden späteren Releases (Voyager 8 und 9). Im Release "Voyager 7" im Auslieferungszustand konnte die Überwachung nicht verhindern, dass die Bremsen mehrfach blockierten, was einen Austausch des zugehörigen Stellmotors erforderlich machte.

Gegenüber dem Gen2 wurde beim Gen3 auf eine Belüftung der Hardware-Bereiche vom Fahrgastraum aus verzichtet, weil im Falle von austretenden Chemikalien (Dämpfe von der Batterie) der Fahrgastraum hermetisch vom Hardware Compartment getrennt werden sollte. Diese aus Sicht der Insassensicherheit sinnvolle Massnahme hat jedoch zu einem Temperaturproblem geführt, das sich mit diversen Fehlern nach längerem Dauerbetrieb zeigte. Es fehlte im Gen3 zunächst eine ausreichende Belüftung der Hardware. Dieses Problem konnte EasyMile mit dem im Zuge des Release-Updates Voyager 9 eingebauten internen Lüfter beheben.

Weiterhin störungsanfällig ist auch in den neuen Fahrzeugen die elektrische Rollstuhlrampe.

Die vom ASTRA geforderte gesetzeskonforme Konfiguration der Blinker wurde mit dem Release Voyager 8 im September eingespielt.

Die Fussbodenheizung erweist sich als sinnvolle Neuerung.

Der Operator-Arbeitsplatz wird von den Operatoren geschätzt. Das Begleiten des Fahrzeuges über mehrere Stunden ist viel angenehmer als im Gen2. Sinnvollerweise müssten auch noch die verbliebenen Bedienelemente zum Operator-Arbeitsplatz verschoben werden (der Schlüssel um vom manuellen- in den autonomen Modus zu wechseln sowie der Rearm-Knopf). Somit wäre das Verlassen des "Operator-Arbeitsplatzes" auch beim manuellen Fahren nicht mehr notwendig.

5.9. Sensoren und Selbstfahr-Software auf dem Fahrzeug

Nachfolgend werden vor allem die Unterschiede zwischen den beiden Fahrzeug-Generationen Gen2-Gen3 beschrieben. Sie beziehen sich auf die Software Version Voyager 9:

Einrichtungsfahrzeuge:

Ein im Betrieb relevanter Unterschied ist, dass die Gen3 vom Sensorset her als Einrichtungsfahrzeuge konzipiert sind. D.h. die Umgebungswahrnehmung ist auf den Vorwärtsbetrieb optimiert, während rückwärts nur eine Basisfunktionalität zur Verfügung steht (Hinderniserkennung, V max. = 5 km/h). Z.B. in einer Stichstrasse konnte das Gen2 automatisch mit der je nach Umgebung maximal möglichen Geschwindigkeit vorwärts ein- und rückwärts wieder ausfahren. Da beide Fahrzeuggenerationen aufgrund der sonstigen Konstruktion (gesetzeskonforme asymmetrische Beleuchtung, Türe rechts) aber im Regelbetrieb auf der öffentlichen Strasse ohnehin immer vorwärts unterwegs sind, ergibt sich auf der Pilotstrecke diesbezüglich kein Unterschied.

Lokalisierung:

die Positionsbestimmung anhand der GNSS-Signale funktioniert beim Gen3 durchwegs zuverlässig. Das Gen3 kann die Signale mehrerer Satelliten-Navigationssysteme (GNSS) verwenden, dadurch sieht es wesentlich mehr Satelliten und verfügt somit über eine stabilere Lokalisierung als das Gen2. Die Lokalisierung mit dem VLP32 Lidar auf dem Dach funktioniert ebenfalls zuverlässig. Notstopps wegen eines Verlusts der Lokalisierung sind seltener als beim Gen2.

Hinderniserkennung:

Bei der Hinderniserkennung hatte das Gen2 mit dem VLP16 Lidar auf 80 cm Höhe das Problem, dass z.B. herabhängende Äste nicht als Hindernisse erkannt wurden und potenziell den LDMRS-Lidar auf dem Dach beschädigen konnten. Das Gen3 erkennt auch Hindernisse auf Dachhöhe zuverlässig, was potenzielle Kollisionen vermeidet. Aufgrund der besseren Hinderniserkennung bleibt es dafür auch bei knapper Durchfahrthöhe öfter stehen und reagiert daher sensibler auf in das Lichtraumprofil hineinwachsende Vegetation.

Hindernisse werden weiterhin zuverlässig erkannt. Es gibt wie beim Gen2 eine minimale Höhe, ab der Hindernisse erkannt werden. Diese liegt standardmässig bei 28 cm. Auf den Fahrzeugen lässt sich die Option "Small obstacle detection" aktivieren, diese führt jedoch dazu, dass auch stark unebene Flächen wie auf dem Mühlenplatz als Hindernis erkannt werden und zu einem Stopp führen. Daher hat BERNMOBIL diese Option derzeit nicht aktiviert und stattdessen die Begleitpersonen entsprechend geschult. Technisch bietet EasyMile mit der Frontal Clearance die Möglichkeit, diese Limitationen bei Unebenheiten grösstenteils zu umgehen, allerdings mit erheblichem Mehraufwand beim Site Deployment. Randsteine und dergleichen können jedoch nach wie vor nicht deklariert werden und werden von der Small obstacle detection als Hindernis erkannt.

Die in Abschnitt 4.1 erwähnten von den LIDARS nicht abgedeckten Blindspots wenige cm seitlich neben den Vorderrädern wurden ausgiebig getestet. Beim fahrenden Fahrzeug sind diese unproblematisch, weil mögliche Hindernisse nach kürzester Zeit erfasst werden. Einzig wenn das stehende Fahrzeug mit stark eingeschlagenen Rädern (z.B. von einer Haltestelle) losfährt und eine Person ohne Gepäck unmittelbar neben dem Fahrzeug auf Höhe der Vorderachse steht,

kann es zu einem leichten Kontakt mit dem Fahrzeug kommen. Das Fahrzeug bleibt aber rechtzeitig stehen. Dieses Problem wird EasyMile mit dem verbesserten Sensoraufbau im sogenannten "Retrofit Gen3b" beheben. Bis dahin überwacht die Begleitperson diesen Bereich mit den in Abbildung 18 dargestellten Aussenkameras.

Die deutlichste Verbesserung der neuen Fahrzeuge Gen3 zeigt sich bei der Begegnung mit anderen Verkehrsteilnehmern (Auto, Velo). Die Fahrzeuge reagieren nur noch in wirklich kritischen Situationen mit einem Notstopp. In der Regel erfolgt bei nahem Überholen oder knapp vorbeifahrenden Gegenverkehr eine sanfte Verlangsamung (SoftStop). Seitliche Hindernisse (überholende Fahrzeuge) werden also deutlich besser verarbeitet. Leider Bremsen die Fahrzeuge nach wie vor unnötigerweise ab, wenn ein Fahrzeug überholt und sich schneller bewegt als das Shuttle. In einem solchen Fall könnte die Software die Geschwindigkeit des überholenden Fahrzeuges analysieren und dementsprechend auf ein Abbremsen verzichten (Komfortgewinn).

Eigenständige Erkennung von hindernisfreien Bereichen:

Die Fahrzeuge kennen definierte Bereiche, an deren Beginn sie stehen bleiben, dann bei Hindernisfreiheit aber selbstständig weiterfahren. Diese neue Funktion der Gen3 konnte im Depotareal verifiziert werden. Auf der Pilotstrecke kommt diese Funktion jedoch noch nicht zum Einsatz.

Hindernisumfahrung:

Die bereits erwähnte "obstacle Circumvention", also die Umfahrung erkannter Hindernisse unter Abweichung von der vorprogrammierten Spur, ist auf den Fahrzeugen aktiv, führt aber in den seltensten Fällen zu dem gewünschten Ergebnis. Meist endet die Berechnung der Umfahrungsroute mit dem Hinweis, dass die Begleitperson manuell umfahren muss. Gegenüber der bereits im Gen2 vorhandenen Funktion wurde keine Verbesserung festgestellt.

Neu ist auch der sogenannte "Bus-Modus" mit der Möglichkeit, Haltestellen über eine alternative Trajektorie zu umfahren. Dieser Modus funktioniert zuverlässig und ist eine rein softwareseitige Neuerung und nicht spezifisch an die neue Fahrzeuggeneration gebunden. Für die Begleitperson und für die Fahrgäste im Fahrzeug ist leider nicht ersichtlich, ob ein Halt an der nächsten Haltestelle durchgeführt wird oder nicht. Das Fahrzeug nimmt einen Haltewunsch für die nächste Haltestelle bis zu einem bestimmten Abstand zur Haltestelle entgegen, kommt der Haltewunsch "zu spät", wird stattdessen die nächste Haltestelle angefahren. In der Praxis kann das zu sicherheitsbedenklichen Situationen führen weil die Begleitperson unter Umständen davon ausgeht, dass das Fahrzeug halten wird (und dementsprechend eine andere Trajectory verwendet), das Fahrzeug den Haltewunsch aber bereits auf die nächste Haltestelle geroutet hat und ohne Warnung weiter fährt. Die Funktion ist daher noch nicht ausgereift für den Praxiseinsatz, bietet aber eine gute Basis für die Weiterentwicklung. Wir haben entsprechende Vorschläge bei EasyMile platziert.

Mit Regen kommen die neuen Fahrzeuge besser zurecht. Normaler bis mittlerer Regen stört den Betrieb nicht, bei Starkregen ist dies jedoch weiterhin der Fall, dass dieser von den Lidar-Sensoren als Hindernis erkannt wird.

Gegenüber Schneeflocken reagieren die neueren Sensoren viel sensibler als die des Gen2, bereits bei ganz leichtem Schneefall ist kein Betrieb möglich. Auch andere Störelemente wie Laubblätter und Staub führen zum Stopp des Fahrzeugs. Bereits bei leichtem Nebel (Sichtweite über hundert Meter, siehe Abbildung 35) auf Höhe des VLP konnten wir feststellen, dass ein Betrieb kaum bis gar nicht mehr möglich ist. Hier fehlt noch die entsprechende intelligente Software, die diese Objekte ausfiltern kann.



Abbildung 35: Nebel als störendes Element

5.10. Backend-System Software

Die Backend-Software SiteCC ist inzwischen auf Deutsch verfügbar und hat einige Verbesserungen erhalten. So gibt es erste Funktionen für eine Fernsteuerung der Fahrzeuge, die jedoch für den Einsatz in Bern deaktiviert sind:

- Kameras lassen sich im Live-Stream aufschalten
- Fahrzeuge lassen sich Stoppen (SoftStop) und wieder Starten
- Yields können über das SiteCC bestätigt werden
- Re-Arm des Fahrzeugs nach Notstopps ist über das SiteCC möglich

Des Weiteren wurden folgende Verbesserungen implementiert:

- Anzeige von Fahrzeug-Statistiken (KPIs)
- Die Benutzerfreundlichkeit beim Erstellen von Linien wurde stark verbessert
- Es lässt sich ein Skipping Point für den Bus-Modus definieren
- Die Werte der Fahrgastzählung werden online angezeigt.

Mehrere wesentliche Funktionen fehlen jedoch komplett:

- Vernünftiges Benutzer-Rollen-Management mit unterschiedlichen Berechtigungen
- Keine Möglichkeit auf Fahrzeug-Beschränkungen (eingeloggter Benutzer sieht immer alle Fahrzeuge, die einer Site zugewiesen sind)

Zudem gibt es noch Verbesserungsbedarf bei der Installation der SiteCC-Software, die in einer Cloud läuft.

- Derzeit gibt es noch keine Hochverfügbarkeit der SiteCC Instanz, diese wäre jedoch erforderlich, damit ein Systemausfall nicht zu einer Betriebseinstellung führt
- Solange keine Failover-Cluster realisiert ist, sollten Software-Updates von EasyMile nicht zu Betriebszeiten durchgeführt werden, weil dies einen zwar planbaren, aber unnötigen Betriebsunterbruch bedeutet

6. Erkenntnisse aus Betrieb SFF – Monate 13 - 18

6.1. Erkenntnisse zu den spezifischen Zielen des Pilotversuchs

In diesem Abschnitt werden die neuen Erkenntnisse bezogen auf die in Kap. 2.8.2 aufgeführten spezifischen Ziele des Pilotversuchs dargestellt. Diese basieren auf Ziffer 15 der Verfügung zur Bewilligung des Pilotversuchs vom 19.06.2019 sowie auf dem zugehörigen Antrag.

Leitstellenintegration

In einem Test im Depotareal konnte gezeigt werden, dass die Ereignisse der EasyMile-Fahrzeuge (z.B. Notstopps), die über die Monitoring-API geliefert werden, wie gewünscht bei BERNMOBIL im Leitstellensystem zu einem Eintrag in der Ereignistabelle führen. Das Paket "Events" aus der Leitstellenintegration konnte somit realisiert werden. Leider funktioniert dies im Dauerbetrieb noch nicht in allen Fällen zuverlässig.

Fahrzeug-Verhalten auf Kopfsteinpflaster

Aufgrund der verkürzten Strecke wurden die Abschnitte mit Kopfsteinpflaster mit den neuen Fahrzeugen nicht im automatischen Betrieb befahren.

Engstellen mit Gegenverkehr

Wie im Abschnitt zu den Sensoren erwähnt, reagieren die neuen Fahrzeuge deutlich besser auf nah vorbeifahrende Velos. Daher können sie Engstellen flüssiger passieren. Allerdings hat die Software bezüglich eines weit vorausschauenden Verhaltens noch nicht die nötigen Fortschritte gemacht, um die Engstellen der Pilotstrecke automatisch überwachen zu können. Weiterhin muss die Begleitperson diese Engstellen vorausschauend beurteilen und bei Befahrbarkeit den jeweils vor der Engstelle befindlichen Yield bestätigen.

Eventuell bringt das Update auf die Software-Version Voyager 10 hier noch eine Verbesserung. Es besteht eine geringe Chance, dass das Update noch vor Projektende installiert wird.

Fahrzeug-Verhalten in kurzer Steigung mit Haltestelle

Auch die neuen Fahrzeuge meistern das Anfahren in der Steigung im Dauerbetrieb nicht zuverlässig. Durch die verbesserte Software-Überwachung des Antriebs kommt es zwar nicht mehr zu einem Versagen der Hardware. Dafür verursacht die Software neue Fehlerzustände, die den Fahrbetrieb unterbrechen und ein zuverlässiges Anfahren in der Steigung erschweren.

Daher können zum Verhalten der Fahrzeuge beim Betrieb in einer Steigung keine weitergehenden Untersuchungen durchgeführt werden.

6.2. Erkenntnisse zum Vergleich der beiden Fahrzeug-Generationen

Im Rahmen dieses Pilotversuchs wurden bzw. werden zwei Generationen des Fahrzeugs EZ10 von EasyMile eingesetzt. Von Juli 2019 bis Juni 2020 die Generation 2 (Gen2), seit Juli 2020 die Generation 3 (Gen3). Gemäss der Bewilligung zur Erweiterung der Verfügung vom 30.07.2020 soll dieser Bericht gemäss Ziffer 7 speziell auf die beobachteten Verbesserungen bzw. Veränderungen im Fahrverhalten durch die neue Sensortechnologie äussern sowie zu generellen Erkenntnissen der verbesserten Technologie, jeweils im Vergleich zur abgelösten Fahrzeuggeneration Gen2.



Abbildung 36: alle drei im Pilotversuch eingesetzten EasyMile EZ10-Fahrzeuge, links die neuen "Gen3", rechts das alte "Gen2"

Fortschritte der neuen Fahrzeug-Generation

Die erhofften Fortschritte der neuen Fahrzeuge aufgrund verbesserter Sensorik und neuer Software konnten bislang nur zu einem kleinen Teil tatsächlich getestet und bestätigt werden. Dies lag einerseits daran, dass die Fahrzeuge im Lieferzustand nicht mit dem ganzen Umfang an angekündigter Sensorik und Software ausgestattet waren. Andererseits daran, dass die Fahrzeuge aufgrund der technischen Störungen nur knappe 3 Wochen auf der Pilotstrecke unterwegs waren.

Als erste Erkenntnisse können jedoch folgende Fortschritte der neuen Gen3-Fahrzeuge festgestellt werden:

- Hindernisse auf Dachhöhe werden neu zuverlässig erkannt. Ausserdem hat der 3D-Lidar gute Sicht, auch über kleine Hindernisse hinweg. Die Positionierung des VLP-LiDAR auf dem Dach des Gen3 statt wie beim Gen2 auf Höhe der Scheinwerfer (ca. 80 cm über Boden) bewährt sich.
- Das neue Sensorset aus SCALA-LiDAR an der Seite und VLP-Lidar auf dem Dach erkennt die Fahrwege der anderen Verkehrsteilnehmer besser. Es erfolgen nur noch in wirklich kritischen Situationen Notstopps. Dies vermeidet einerseits unnötige Notstopps und die zugehörigen Gefahrsituationen für nachfolgende Fahrzeuge und Insassen, führt andererseits auch zu einem spürbaren Komfortgewinn für die Fahrgäste.
- Auch die Notstopps aufgrund von Fehlersituationen scheinen deutlich weniger häufig aufzutreten. Dieser subjektive Eindruck vom Mitfahren kann jedoch mangels ausreichend langer Betriebszeit datenseitig noch nicht belegt werden.
- Die bessere Ausstattung der Fahrzeuge (komfortablere Sitze, besseres Heiz-System) hat in der Fahrgast-Umfrage bereits zu einer spürbar besseren Bewertung des Komforts geführt.
- Der bessere Umgang der Sensoren mit schwierigen Wetterverhältnissen konnte bisher nur für Regen bestätigt werden. Regen verursacht nur noch bei extremen Regenmengen Notstopps. Bezüglich Nebel und Schnee führten die sensibleren Sensoren dagegen eher zu einer empfindlicheren Reaktion der neuen Fahrzeuge und die versprochenen Filtermechanismen in der Software scheinen dies noch nicht kompensieren zu können.

- Sehr erfreulich ist die deutlich verbesserte softwareseitige Überwachung des Antriebssystems. In vielen Fällen kann sich das System jetzt selbst wieder in einen funktionsfähigen automatischen Betriebszustand bringen, ohne dass dies vom Operator durch eine Reset-Operation forciert werden muss (z.B. durch Betätigen des Notstopps und nachfolgendem "Rearming" oder gar durch Neustart des ganzen Fahrzeugs). Dies ist ein Fortschritt in der eingesetzten Software-Version, wobei einige Features auch für die Gen2 verfügbar sind.
- Erfreulich ist, dass das Fahrzeug neu definierte Flächen automatisch überwachen kann, ob sie hindernisfrei sind und dann selbstständig in diese Flächen einfahren kann. Dies konnte auf der Demostrecke im Tramdepot verifiziert werden.
- Für die Analyse des Betriebs ist praktisch, dass die neuen Fahrzeuge über Fahrgastzählsysteme verfügen.
- Sehr zuverlässig funktioniert die neue Schnittstelle Monitoring API und ermöglicht die Einbindung der Fahrzeuge in bestehende Überwachungssysteme.

Defizite der neuen Fahrzeug-Generation

Den Verbesserungen stehen allerdings nach wie vor Defizite gegenüber, die einem zuverlässigen Betrieb im automatisierten Modus im Weg stehen. Nachfolgend die wichtigsten Punkte mit Fokus auf die beim Gen2-Fahrzeug bereits benannten Defizite.

- Auch die neuen Gen3 Fahrzeuge beherrschen das zuverlässige Anfahren in der Steigung (12%) nicht. Es gelingt zwar manchmal, oft endet es mit einem Software-Fehler, woraufhin das Fahrzeug einen neuen Anfahrversuch startet. Auch wenn erfreulicherweise durch die verbesserte Software-Überwachung Schäden vermieden werden, weist die Antriebstechnik der neuen Gen3 Fahrzeuge noch die gleichen Schwächen auf wie bei der Vorgängerversion. Ein zuverlässiger Betrieb in einer Steigung ist daher weiterhin nicht möglich.
- Die erwarteten Fortschritte gegenüber der Gen2 Generation, dass auch Radar und Kamera-basierte Sensoren zur Objekterkennung verwendet würden, konnten leider zum Zeitpunkt dieses Berichts nicht bestätigt werden. Die Radar-Sensoren wurden gar nicht eingebaut und die eingebaute Stereokamera wird noch nicht zur Objekterkennung verwendet. Die Sensor- und Software-Ausstattung bleibt daher hinter den Erwartungen zurück. Auf der Roadmap der weiteren Fahrzeug- bzw. Software-Entwicklung sind diese Verbesserungen so weit in die Zukunft gerückt, dass sie im Rahmen dieses Pilotversuchs nicht mehr untersucht werden können.
- Die neue Sensoranordnung der Lidar-Sensoren hat mit den genannten Blindspots und der unzureichenden Erkennung kleiner Hindernisse noch erhebliches Verbesserungspotenzial. Dieses soll mit dem sogenannten Retrofit Gen3b behoben werden. (Bleibt zu hoffen, dass EasyMile diesen Retrofit Gen3b vor Projektende installiert, so dass wenigstens diese letztgenannten Defizite überwunden werden können.)

6.3. Von roten Toastern und anderen offengebliebenen Fragen

Während des Pilotprojekts erhält der Projektleiter von seinen Söhnen einen roten Toaster geschenkt. Ein Zusammenhang konnte nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden.



Abbildung 37: Der rote Toaster

Der Standort ist immer noch im Mattequartier, auch wenn die neuen Fahrzeuge baustellenbedingt mehr im Marziliquartier zu sehen waren. Trotz des gemächlichen Tempos erschliesst sich die Inschrift über der Tür nicht jedem Fahrgast.



Abbildung 38: nur für Insider

EZ10 Gen3 reisen lieber gediegen und wettergeschützt, chauffiert von einem Experten für den Transport von Ariane-Raketenteilen ...



Abbildung 39: Anlieferung der neuen Fahrzeuge am 18.06.2020

... während Gen2 auch mit einem Freiluftplatz auf einem kleinen Anhänger zufrieden sind.



Abbildung 40: Rücktransport des Gen2 am 19.10.2020

Auch auf virtuellen Weichen kann man entgleisen ... immerhin merkt es ein selbstfahrendes Fahrzeug sogleich: "Error to far from trajectory".

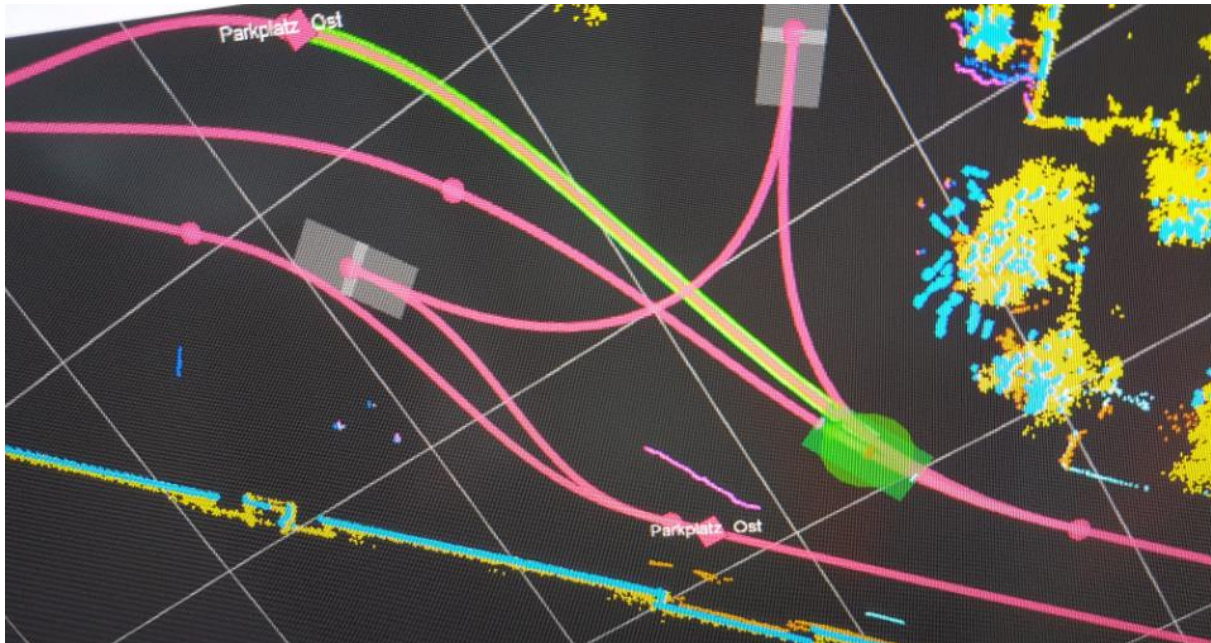


Abbildung 41: Trajektorien auf dem Depotgelände mit dem aktiven Fahrweg in grün und dem Fahrzeug (grünes Rechteck)

Und zu guter Letzt kann ein selbstfahrender Kleinbus auch ein Erlebnis auf dem Schulweg sein:



Abbildung 42: VCS Kampagne zum Schulweg

7. Anpassungen Betrieb SFF nach 18 Monaten / Ausblick auf 2021

7.1. Angebot – Umstellung auf OnDemand-Betrieb

Ab Januar 2021 wird das Angebot der Linie 23 auf einen OnDemand-Betrieb umgestellt. Dieses Angebot wurde vom Juli bis Dezember 2020 ausgearbeitet und die technische Umsetzung mit einer entsprechenden Buchungs-Software beauftragt. Kernelement war die automatische Ansteuerung der EasyMile Fahrzeuge durch das Buchungssystem über die sogenannte "Mission API". Das Angebot umfasst auch eine leicht erweiterte Pilotstrecke. Details werden im Abschlussbericht dokumentiert.

7.2. Update EZ10 Gen3 auf Gen3b

Die Nachrüstung der beiden Gen3-Fahrzeuge mit einem besseren Sensorset ("Retrofit Gen3b") ist für das erste Halbjahr 2021 geplant, aber terminlich noch nicht fixiert.

8. Quellen

- [1] ASTRA Webseite zu Pilotversuchen: <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/themen/intelligente-mobilitaet/pilotversuche.html>
- [2] AVOC: Software-Lösung der Firma AMoTech für die Anbindung Automatisierter Fahrzeuge in ein ITCS-Leitsystem: <https://www.amotech.ch/de/angebot/bereich/loesungen>
- [3] Zwischenbericht SFF BERNMOBIL Februar 2020: https://www.astra.admin.ch/dam/astra/de/dokumente/abteilung_strassennetzeallgemein/bernmobil-zwischenbericht-februar-2020.pdf.download.pdf/SFF%20Bernmobil%20-%20Pilotprojekt%20selbstfahren-des%20Fahrzeug%20-%20Zwischenbericht%20Februar%202020.pdf
- [4] Zwischenbericht SFF BERNMOBIL August 2020: https://www.astra.admin.ch/dam/astra/de/dokumente/abteilung_strassennetzeallgemein/bernmobil-pilotprojekt-august2020.pdf.download.pdf/bernmobil-pilotprojekt-august2020.pdf

9. Anhang 1: EasyMile Begriffe

Der Fahrzeug-Lieferant EasyMile verwendet eine Reihe von englischen Fachbegriffen und Spezialbezeichnungen. Diese werden in nachfolgender Tabelle kurz erklärt.

Von EasyMile konzipierte Ausbildungslevel im Zusammenhang mit dem Handling der EZ10 Fahrzeuge. Mit dem erfolgreichen Abschluss ist ein entsprechendes Zertifikat verbunden.	
Operator	Begleitperson auf dem selbstfahrenden Fahrzeug EZ10, Ausbildung durch zertifizierten EasyMile "Training Officer"
Chief Operator	Zusatzausbildung zum "Operator", zusätzliches Wissen zur Störungsbehebung und Zugriff auf das Helpdesk-System
Training Officer	Zusatzausbildung mit der Berechtigung, weitere Personen zum "Operator" auszubilden. Voraussetzung: "Chief Operator" und ausreichend Praxiserfahrung mit dem Fahrzeug
Maintenance Officer	Ausbildung zur Ausführung von Wartungsarbeiten "Level 1" am Fahrzeug und für den manuellen Betrieb des Fahrzeugs
Setup Designer (Level 1 oder 2)	Berechtigt zur Programmierung des Fahrzeugs auf einer "Site". Level 1: nur einfache Demostrecken auf abgesperrten Arealen, Level 2: auch auf öffentlichen Strassen
Von EasyMile definierte Level für die Wartungsarbeiten an den EZ10 Fahrzeugen	
Maintenance Level 1	Alle Wartungsarbeiten rund um die Fahrzeugtechnik (Mechanik, Elektrik, Chassis) – ohne Sensoren und Software
Maintenance Level 2	Kompliziertere Wartungsarbeiten an Sensoren, Software etc. sind EasyMile vorbehalten
Begriffe im Zusammenhang mit dem von den EZ10 befahrenen Gebieten	
Site	Kartografiertes und in der Software hinterlegtes Einsatzgebiet mit zusammenhängenden Strecken und mehreren Haltestellen.
SiteAssessmentReport	Bericht zur Beurteilung einer "Site" für die Befahrung mit dem Fahrzeug EZ10, vor der Programmierung
SiteAcceptanceReport	Abschliessender Bericht nach der Programmierung, dass die "Site" zur Befahrung mit dem EZ10 von EasyMile freigegeben ist
Yield	Virtueller Stoppunkt, bei dem das Fahrzeug anhält und erst nach Bestätigung weiterfährt. Die Bestätigung erfolgt derzeit meist manuell durch den Operator, soll aber zukünftig auch durch die Software erfolgen können.
Area	Definierte Abschnitte der Strecke, in denen sich die EZ10 nicht begehen können (weil die virtuellen Fahrspuren zu nah beieinander liegen)
Modus	Betriebsmodus "metro", "bus" etc. definiert die Art, wie die Fahrzeuge auf der Site betrieben werden.
Begriffe aus der Software-Welt von EasyMile	
SiteCC	Site Control Center. Mandantenfähige Benutzeranwendung (webbasiert) zur Kontrolle der Fahrzeuge auf einer Site. Für BERNMOBIL gibt es zwei Instanzen, einen für die produktive Site in der Matte, einen für die Test-Site im Tramdepot. SiteCC ist das Frontend des EZ Fleet. Die Zugriffsberechtigung ist an die Ausbildung zum ChiefOperator oder Training Officer geknüpft.
EZ Fleet	Software zur Überwachung der Fahrzeuge auf der Site
EZ Tools	Deployment-Tools und Maintenance-Tools
EZ Move	low level embedded Software auf dem Fahrzeug
EZ Shield	Von EZ Drive unabhängiges Kollisionsvermeidungs-System
EZ Drive	high level embedded Software auf dem Fahrzeug
Release Notes	Detaillierte Release-Informationen zu den Software-Updates
Voyager X	Marketing-Name der Software-Updates. Ein Voyager-Release (z.B. "Voyager 9") umfasst dabei die neuen Versionen der oben genannten Pakete EZ Fleet, EZ Tools etc.

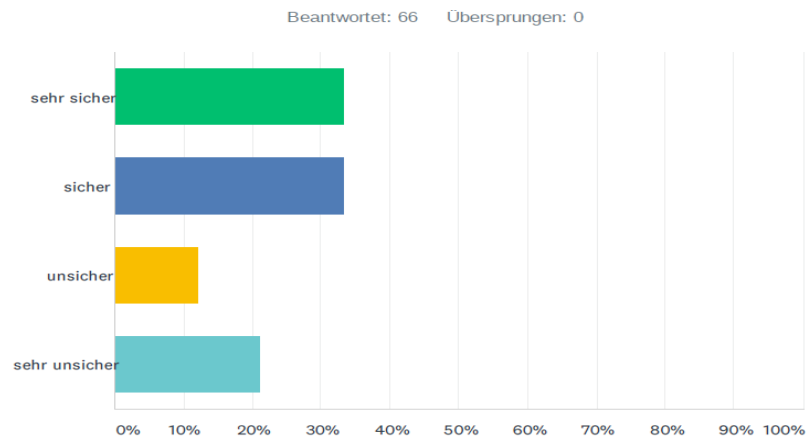
10. Anhang 2: Tabellenfahrplan Stufe 2

Pilotversuch SFI Teilstrecke West: Fahrplan ab Montag, 10.08.2020																		2 Fahrzeuge / Reisegeschwindigkeit: 5.5 km/h / 30'- bzw. 15'-Takt / 23 Kurspaare																	
Marzili - Münsterplattform																		Montag - Freitag: 11 - 13.30 Uhr 30'-Takt / 13.30 - 17 Uhr 15'-Takt / 17 - 19 Uhr																	
Marzilibahn, Bergstation Marzilibahn, Talstation																		alle 3 Minuten																	
Distanz (m)		Fahrzeit		Ø km/h																															
Marzili	275	4.2	00:04:12	3.9	11:04	11:34	12:04	12:34	13:04	13:34	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30									
Delmazibücke	535	4.6	00:04:36	7.0	11:08	11:38	12:08	12:38	13:08	13:38	13:53	14:08	14:23	14:38	14:53	15:08	15:23	15:38	15:53	16:08	16:23	16:38	17:08	17:38	18:08	18:38									
Münsterplattform	80	0.9	00:00:54	5.3	11:09	11:39	12:09	12:39	13:09	13:39	13:54	14:09	14:24	14:39	14:54	15:09	15:24	15:39	15:54	16:09	16:24	16:39	17:09	17:39	18:09	18:39									
890	9.7	00:09:42	5.5																	2. Fahrzeug im Einsatz: 15'-Takt															
Münsterplattform - Marzili																		Montag - Freitag: 11 - 13.30 Uhr 30'-Takt / 13.30 - 17 Uhr 15'-Takt / 17 - 19 Uhr																	
Distanz in m																		Ø km/h																	
Münsterplattform	265	2.9	00:02:54	5.5	11:15	11:45	12:15	12:45	13:15	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:15	17:45	18:15	18:45									
Badgasse	95	1.0	00:01:00	5.7	11:16	11:46	12:16	12:46	13:16	13:46	14:01	14:16	14:31	14:46	15:01	15:16	15:31	15:46	16:01	16:16	16:31	16:46	17:16	17:46	18:16	18:46									
Delmazibücke	605	5.0	00:05:00	7.3	11:21	11:51	12:21	12:51	13:21	13:51	14:06	14:21	14:36	14:51	15:06	15:21	15:36	15:51	16:06	16:21	16:36	16:51	17:21	17:51	18:21	18:51									
Marzili	190	3.2	00:03:12	3.6	11:24	11:54	12:24	12:54	13:24	13:54	14:09	14:24	14:39	14:54	15:09	15:24	15:39	15:54	16:09	16:24	16:39	16:54	17:24	17:54	18:24	18:54									
1'155	12.1	00:12:06	5.7																																
Marzilibahn, Talstation Marzilibahn, Bergstation																		alle 3 Minuten																	
Ausfahrt: Garage Wasserwerkasse - Badgasse - Marzili																																			
Distanz in m		Fahrzeit		Ø km/h																															
Garage Wasserwerkasse	415	5.5	00:05:30	4.5	10:40	13:25												unproduktiv																	
Badgasse	795	9.0	00:09:00	5.3	10:54	13:30												unproduktiv																	
Marzili	1'210	14.5	00:14:30	5.0	13:39																														
Einfahrt: Marzili - Badgasse - Garage Wasserwerkasse																																			
Distanz (m)		Fahrzeit		Ø km/h																															
Marzili	275	4.2	00:04:12	3.9	16:40												18:50																		
Delmazibücke	535	4.6	00:04:36	7.0	16:48												18:54																		
Badgasse	370	5.5	00:05:30	4.0	16:54												19:04																		
Garage Wasserwerkasse	1'180	14.3	00:14:18	5.0													produktiv																		
																		unproduktiv																	

11. Anhang 3: Zwischenstand Fahrgastbefragung

Seit dem Start des Projekts hat BERNMOBIL eine Online-Umfrage aufgeschaltet. Diese umfasst 12 inhaltliche Fragen sowie zwei freiwillige statistische Fragen. Die eingegangenen Antworten sind nicht repräsentativ. Die Auswertung vom 21.03.2021 zeigt 66 Teilnehmende. Deren Antworten zu den Fragen sind die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

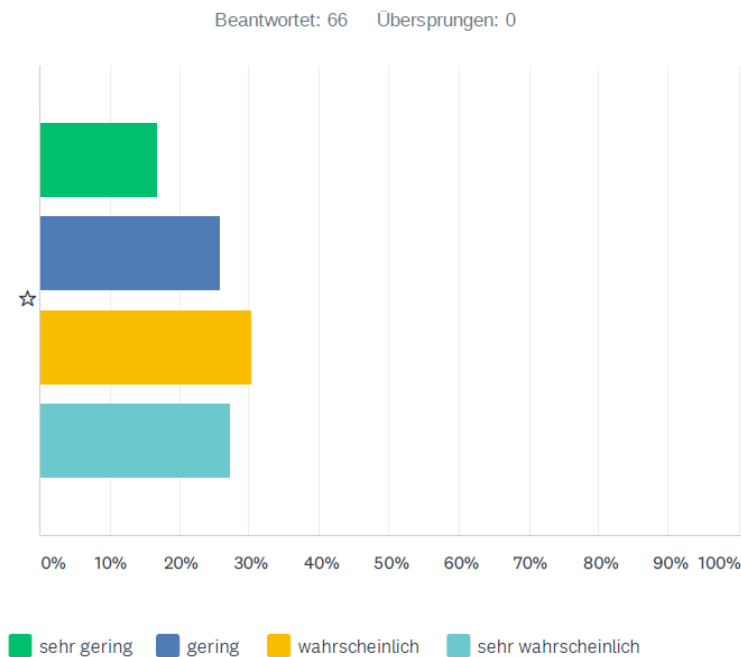
F1 Wie sicher fühlen Sie sich im selbstfahrenden Fahrzeug von BERNMOBIL



ANTWORTOPTIONEN	BEANTWORTUNGEN	
sehr sicher	33.33%	22
sicher	33.33%	22
unsicher	12.12%	8
sehr unsicher	21.21%	14
GESAMT		66

Abbildung 43: Frage 1 zum persönlichen Sicherheitsgefühl im Fahrzeug (mit Begleitperson)

F2 Wie hoch schätzen sie ein Versagen der Sensortechnik ein?

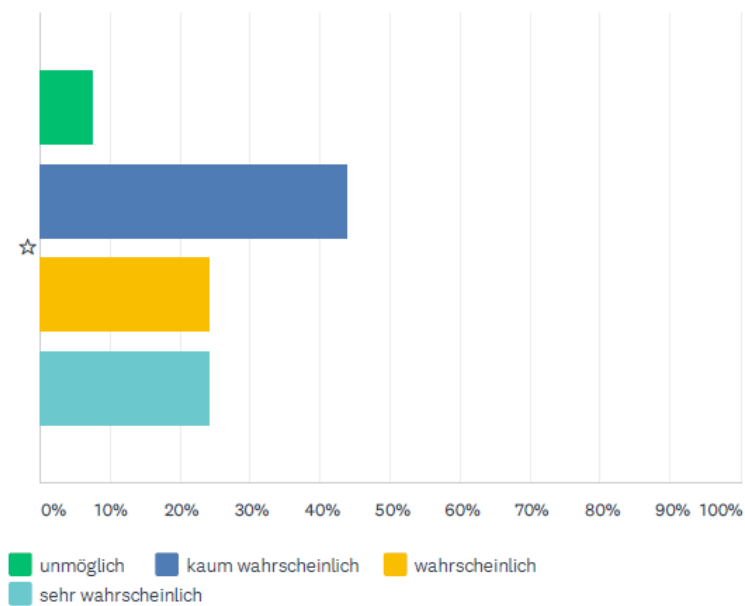


	SEHR GERING	GERING	WAHRSCHEINLICH	SEHR WAHRSCHEINLICH	INSGESAMT	GEWICHTETER MITTELWERT
☆	16.67% 11	25.76% 17	30.30% 20	27.27% 18	66	2.68

Abbildung 44: Frage 2 zur Einschätzung der Wahrscheinlichkeit eines Versagens der Sensortechnik

F3 Für wie wahrscheinlich halten Sie einen Hackerangriff?

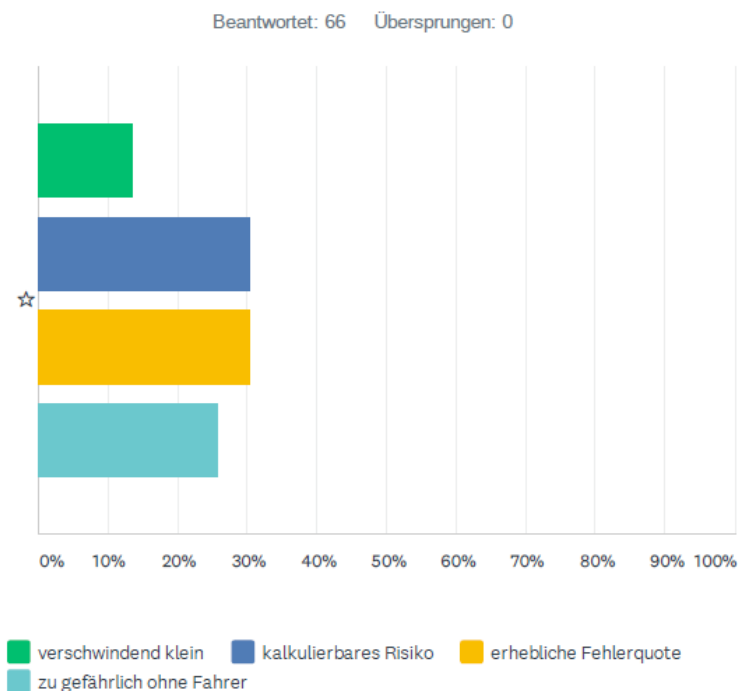
Beantwortet: 66 Übersprungen: 0



	UNMÖGLICH	KAUM WAHRSCHEINLICH	WAHRSCHEINLICH	SEHR WAHRSCHEINLICH	INSGESAMT	GEWICHTETER MITTELWERT
☆	7.58%	43.94%	24.24%	24.24%	66	2.65
	5	29	16	16		

Abbildung 45: Frage 3 zur Einschätzung der Wahrscheinlichkeit eines Hackerangriffs

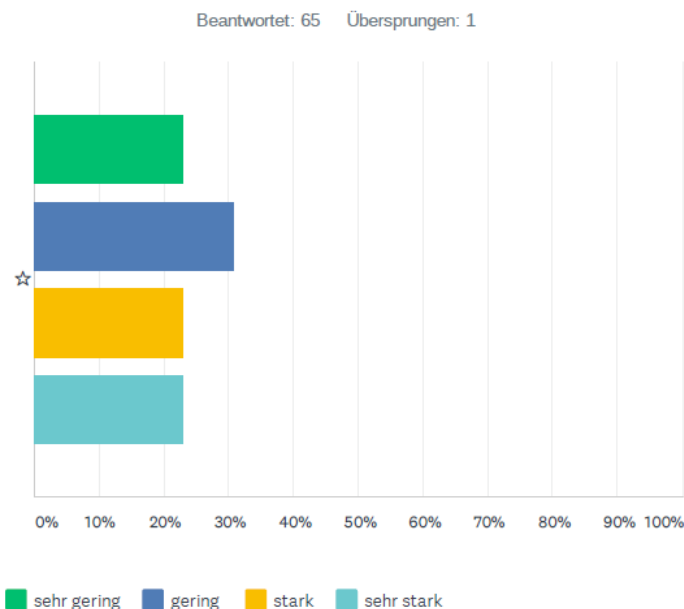
F4 Wie hoch schätzen Sie die Fehlerquote eines Fahrzeugs ohne Fahrer ein?



	VERSCHWINDEND KLEIN	KALKULIERBARES RISIKO	ERHEBLICHE FEHLERQUOTE	ZU GEFÄHRlich OHNE FAHRER	INSGESAMT	GEWICHTETER MITTELWERT
☆	13.64%	30.30%	30.30%	25.76%	66	2.68
	9	20	20	17		

Abbildung 46: Frage 4 zur Einschätzung der Fehlerquote eines Fahrzeugs ohne Fahrer

F5 Wie stark sehen Sie Ihre Privatsphäre durch die Videokameras im/am Fahrzeug beeinträchtigt?

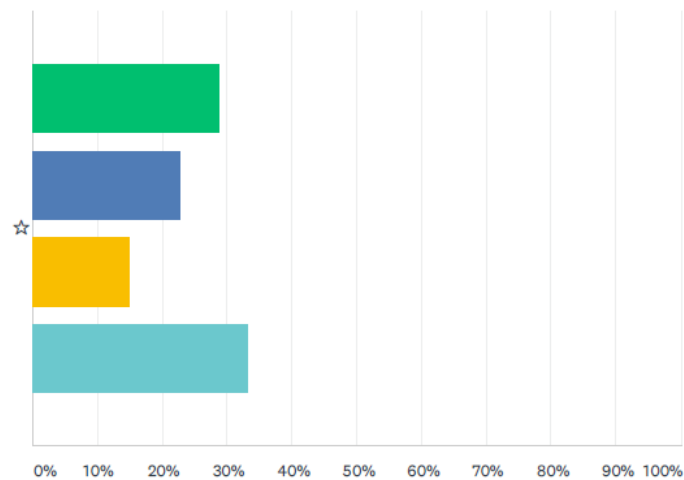


	SEHR GERING	GERING	STARK	SEHR STARK	INSGESAMT	GEWICHTETER MITTELWERT
☆	23.08%	30.77%	23.08%	23.08%	65	2.46
	15	20	15	15		

Abbildung 47: Frage 5 zur Privatsphäre aufgrund der Videokameras

F6 Befürchten Sie Arbeitsplatzverluste durch den Einsatz solcher Fahrzeuge?

Beantwortet: 66 Übersprungen: 0



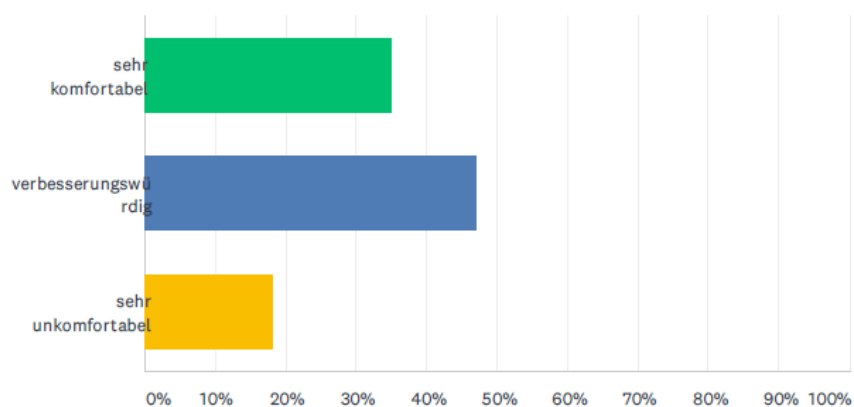
■ nein, es werden ja auch Arbeitsplätze geschaffen
■ kann mir vorstellen, dass es weniger Personal braucht ■ ich befürchte es
■ Ja, so werden Arbeitsplätze abgebaut

	NEIN, ES WERDEN JA AUCH ARBEITSPLÄTZE GESCHAFFEN	KANN MIR VORSTELLEN, DASS ES WENIGER PERSONAL BRAUCHT	ICH BEFÜRCHTE ES	JA, SO WERDEN ARBEITSPLÄTZE ABGEBAUT	INSGESAM	GEWICHTETER MITTELWERT
☆	28.79% 19	22.73% 15	15.15% 10	33.33% 22	66	2.53

Abbildung 48: Frage 6 zum möglichen Arbeitsplatzverlust

F7 Wie komfortabel finden Sie das Fahrzeug?

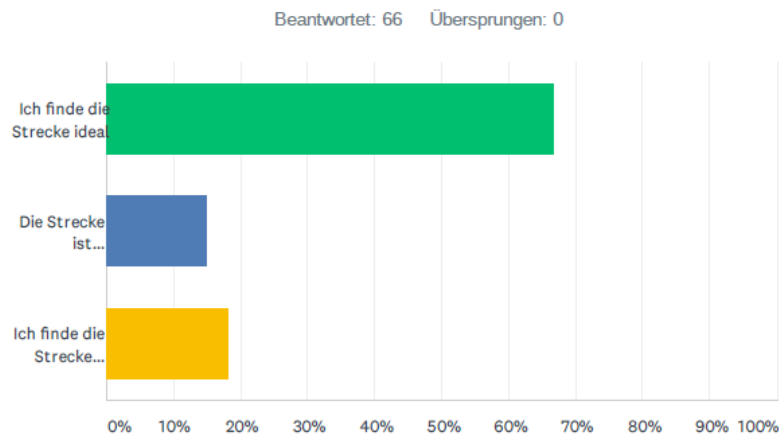
Beantwortet: 66 Übersprungen: 0



ANTWORTOPTIONEN	BEANTWORTUNGEN
sehr komfortabel	34.85% 23
verbesserungswürdig	46.97% 31
sehr unkomfortabel	18.18% 12
GESAMT	66

Abbildung 49: Frage 7 zum Fahrzeug-Komfort (bezieht sich auf beide Fahrzeuggenerationen)

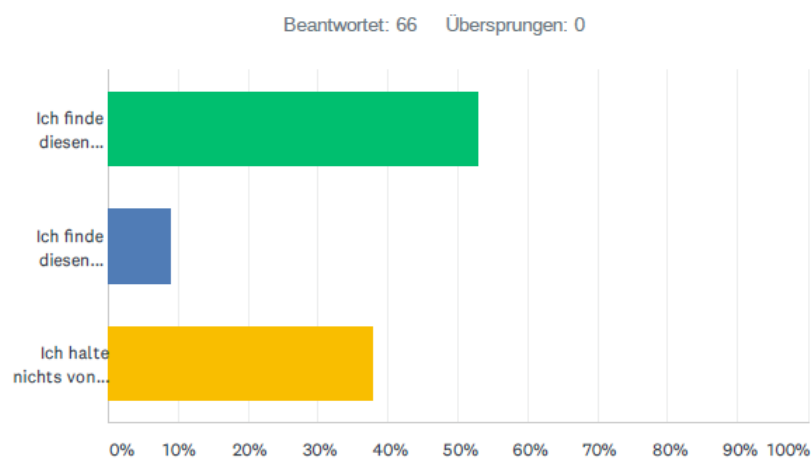
F8 Wie gefällt Ihnen die gewählte Pilotstrecke durch das Mattequartier?



ANTWORTOPTIONEN	BEANTWORTUNGEN	
Ich finde die Strecke ideal	66.67%	44
Die Strecke ist verbesserungswürdig	15.15%	10
Ich finde die Strecke unglücklich gewählt	18.18%	12
GESAMT		66

Abbildung 50: Frage 8 zur Pilotstrecke

F9 Was halten Sie davon, dass BERNMOBIL ein automatisiertes Fahrzeug testet?

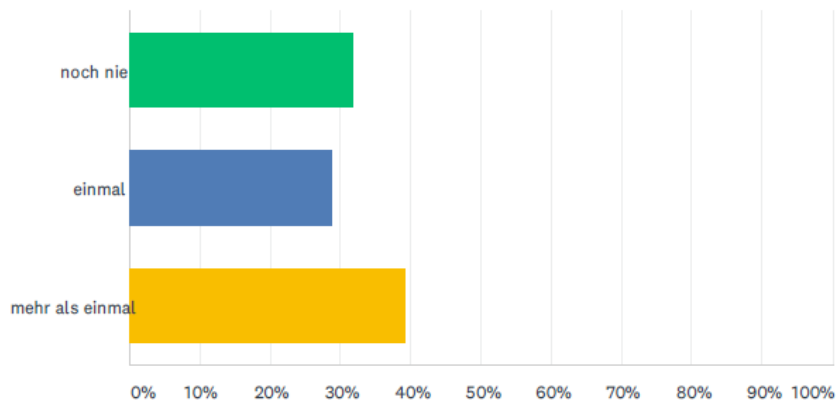


ANTWORTOPTIONEN	BEANTWORTUNGEN	
Ich finde diesen Pilotversuch sehr gut	53.03%	35
Ich finde diesen Pilotversuch verbesserungswürdig	9.09%	6
Ich halte nichts von diesem Pilotversuch	37.88%	25
GESAMT		66

Abbildung 51: Frage 9 zur Durchführung dieses Pilotversuchs

F10 Sind Sie schon einmal mit einem selbstfahrenden Fahrzeug unterwegs gewesen?

Beantwortet: 66 Übersprungen: 0

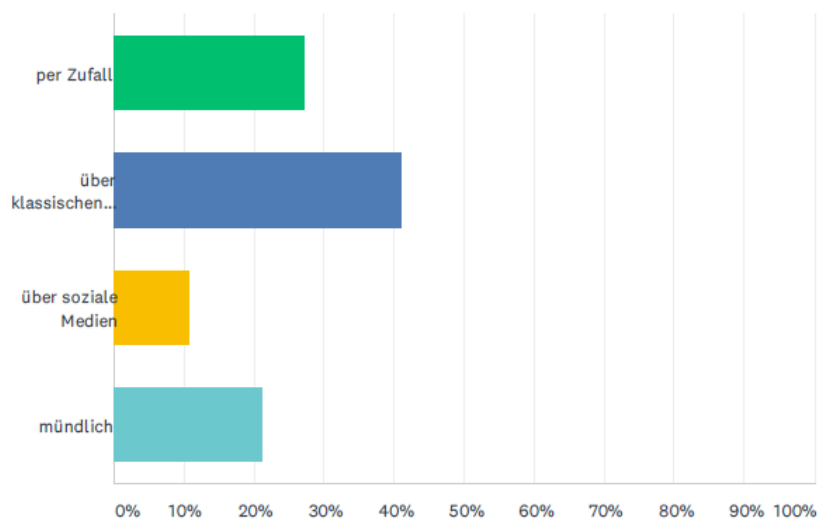


ANTWORTOPTIONEN	BEANTWORTUNGEN
noch nie	31.82% 21
einmal	28.79% 19
mehr als einmal	39.39% 26
GESAMT	66

Abbildung 52: Frage 10 zur persönlichen Erfahrung mit selbstfahrenden Fahrzeugen

F11 Wodurch sind sie auf dieses Pilotprojekt von BERNMOBIL aufmerksam geworden?

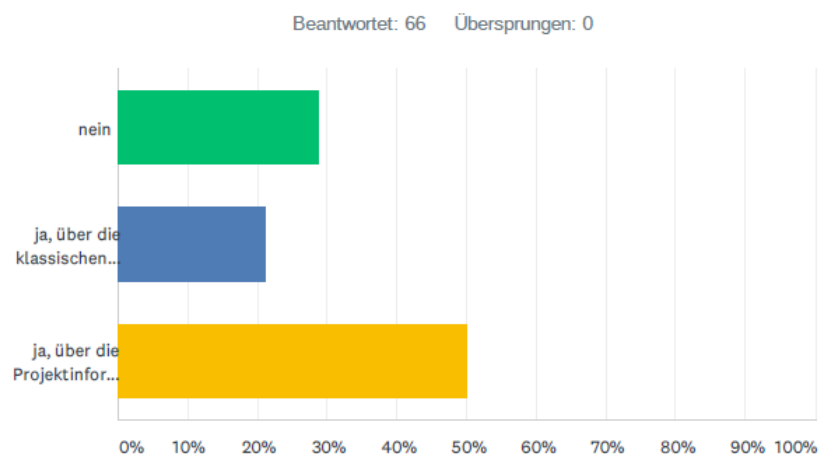
Beantwortet: 66 Übersprungen: 0



ANTWORTOPTIONEN	BEANTWORTUNGEN
per Zufall	27.27% 18
über klassischen Medien	40.91% 27
über soziale Medien	10.61% 7
mündlich	21.21% 14
GESAMT	66

Abbildung 53: Frage 11 zum Informationskanal

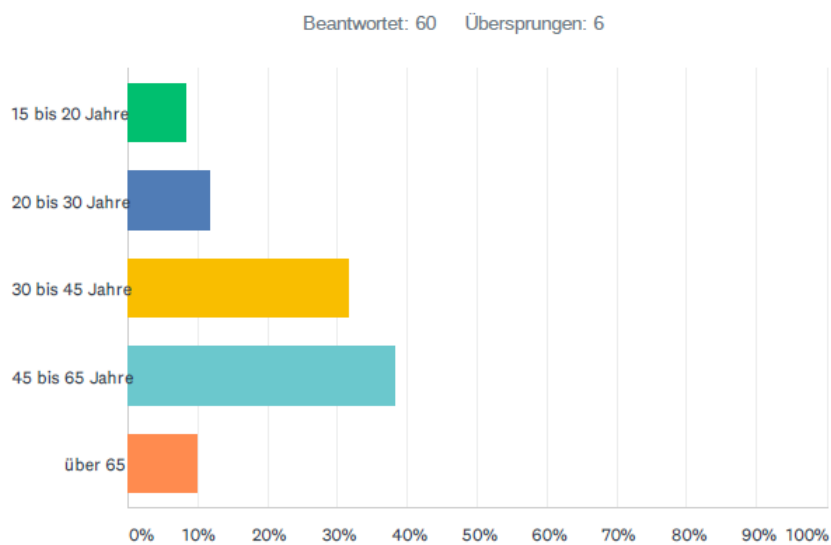
F12 Haben Sie sich aktiv über dieses Pilotprojekt von BERNMOBIL informiert?



ANTWORTOPTIONEN	BEANTWORTUNGEN	
nein	28.79%	19
ja, über die klassischen Medien	21.21%	14
ja, über die Projektinformationen von BERNMOBIL	50.00%	33
GESAMT		66

Abbildung 54: Frage 12 zur Art der Informationsbeschaffung

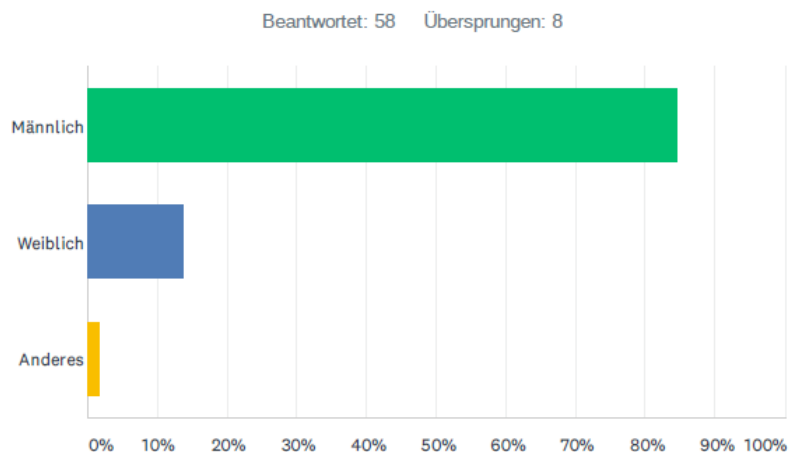
F13 Wie alt sind Sie? (freiwillige Antwort)



ANTWORTOPTIONEN	BEANTWORTUNGEN	
15 bis 20 Jahre	8.33%	5
20 bis 30 Jahre	11.67%	7
30 bis 45 Jahre	31.67%	19
45 bis 65 Jahre	38.33%	23
über 65	10.00%	6
GESAMT		60

Abbildung 55: freiwillige Altersangabe (60 Antworten von 66 Teilnehmenden)

F14 Welches Geschlecht haben Sie? (freiwillige Antwort)



ANTWORTOPTIONEN	BEANTWORTUNGEN	
Männlich	84.48%	49
Weiblich	13.79%	8
Anderes	1.72%	1
GESAMT		58

Abbildung 56: freiwillige Angabe zum Geschlecht (58 Antworten von 66 Teilnehmenden)

12. Anhang 4: Unterlagen zu Händen ASTRA

Die detaillierten Monatsreports von EasyMile unterstehen einem NDA und werden nur den genehmigenden Bundesämtern zur Verfügung gestellt.