

ZHAW – Institute of Applied Mathematics and Physics

Sicherheit von autonomem Fahren

Version: 1
Date: 06.02.2018
Author: Patrick Wirth
Review: Monika Reif

Copyright © 2018 The Authors. Published by ZHAW digitalcollection.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Peer-review under responsibility of the Institute of Applied Mathematics and Physics

Authors

Patrick Wirth

Peer Review

Monika Reif reif@zhaw.ch

Document History

1 First version 06.02.2018

I. Zusammenfassung

Die vorliegende Projektarbeit zeigt Gefahren und Risiken des autonomen Busses "Trapizio" der Firma AMoTech GmbH auf, welcher in Neuhausen am Rheinfall in der Schweiz zum Einsatz kommt. Der Fokus der Arbeit liegt auf streckenspezifischen Aspekten, deren Analyse nach der Norm ISO-26262 zur funktionalen Sicherheit, welche in der Automobilindustrie etabliert ist. Die aus der Analyse hervorgegangenen Risiken wurden der Strecke zugeordnet und zur besseren Visualisierung wurden Karten angefertigt. Auf diesen Karten sollen die kritischen Punkte ersichtlich sein. Risiken, welche gemäss der Norm weitere Massnahmen erfordern, wurden genauer evaluiert und es wurden – soweit nötig – detailliertere Lösungsansätze erarbeitet. Auf der Basis dieser Methoden lassen sich wenige Risiken auf der Strecke identifizieren.

Das Fahrzeug wurde ebenfalls etwas genauer betrachtet und eine grobe Visualisierung des Systems wurde angefertigt. Bei der Risikoanalyse wurde die Sensorik nicht betrachtet, weshalb die Resultate noch nicht vollständig repräsentativ sind.

Zwischenzeitlich erhielt der autonome Shuttle bereits eine Bewilligung für den Betrieb auf einem Teil der Strecke. Diese Arbeit ist für die Zulassung auf der gesamten Strecke nützlich, da sie die systematische Analyse und Zuordnung der jeweiligen Risiken ermöglicht und damit die Grundlage zur Festlegung von Massnahmen zur Risikominderung darstellt. Das vorgestellte Vorgehen ist auch dafür geeignet, um ähnliche Projekte einer solchen Risikoanalyse zu unterziehen.

II. Abstract

This essay shows hazards and risks of the autonomous bus "Trapizio" of the company AMoTech GmbH, which is operated in Neuhausen am Rheinfall in Switzerland. A special focus was placed on the route which is planned for the shuttle. The analysis was conducted according to the Norm ISO-26262, which established itself in the functional safety of road vehicles. The identified risks are matched to the route and multiple maps were created for better visualization. On these maps the most critical points can be seen. Risks and hazards which require further actions according to the norm, were evaluated more detailed and some approaches for solutions were worked out. Based on these methods only few risks were identified.

The vehicle was also looked a bit more precisely and a rough model of its system was created. In the analysis sensors are left out, which is why the results are not fully representative.

Meanwhile the self-driving shuttle got approval for one part of the route. This essay is valuable to get approval for the whole route, since the systematic analysis and assignment of the risks is made possible and thereby represents the base for the determination of measurements to reduce the risks. It can also be useful for different projects including autonomous vehicles.

III. Vorwort

Diese Arbeit habe ich als Projektarbeit während meines Informatikstudiums an der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW) verfasst. Zusammen mit meiner Betreuerin, Monika Reif, wurde die Zielsetzung dieses Projekts erarbeitet.

Autonomes Fahren wird die Zukunft des alltäglichen Verkehrs bestimmen. Ich bin seit meiner Kindheit ein grosser Autonarr, weshalb diese Entwicklung sowohl Fluch, als auch Segen bedeutet. Meiner Meinung nach werden manuell gesteuerte Fahrzeuge nicht durch autonome Fahrzeuge ersetzt. Vielmehr dienen die verschiedenen Arten von Fahrzeugen verschiedenen Zwecken. So kann zum Beispiel der tägliche Arbeitsweg in einem autonomen Fahrzeug absolviert werden, während die Sonntagsausfahrt in einem manuell gesteuerten Fahrzeug gefahren wird. Dies wird dadurch möglich, dass besonders autonome Fahrzeuge nicht gekauft werden, vielmehr wird es Abonnement-Modelle geben. So kann ein Fahrzeug angefordert werden und das nächste, nicht genutzte autonome Fahrzeug bewegt sich zum Standort des Nutzers. Die Strassen werden sich leeren und Parkplätze werden immer weniger benötigt, wodurch massiv Platz gespart werden kann.

Es braucht noch viel Entwicklungsarbeit bis wir an einem Punkt ankommen, an welchem autonome Fahrzeuge breit eingesetzt werden können. Projekte wie "Trapizio" der Firma AMoTech sind darum essenziell und sensibilisieren auch die Bevölkerung für das Thema. Diese Arbeit ist für mich aus dem Grund spannend, weil ich mich so mit einer noch sehr jungen Technologie beschäftigen kann und ein Projekt verfolgen kann, welches massgeblich an der Entwicklung teilnimmt.

Ich möchte mich bei der Firma AMoTech bedanken. Die Zusammenarbeit war sehr angenehm und ich konnte mich jederzeit an sie wenden. Es wurden mir nützliche Informationen und wichtiges Material zur Verfügung gestellt und sogar eine Fahrt in "Trapizio" wurde mir ermöglicht.

Für die Unterstützung während der gesamten Arbeit möchte ich mich auch bei Monika Reif bedanken. Sie hat mich im für mich neuen Thema der Risikoanalyse gut angeleitet und mir nützliche Tipps gegeben. Bei Fragen und Unsicherheiten konnte ich mich auf sie verlassen, weshalb ihr ein spezieller Dank gebührt.

Inhalt

I.	Zusammenfassung.....	I
II.	Abstract	I
III.	Vorwort	II
1	Einleitung.....	3
1.1	Situation	3
1.2	Ziele	3
1.3	Ähnliche Projekte	3
2	Theoretische Grundlagen	5
2.1	ISO 26262	5
2.2	Begriffserläuterung "Funktionale Sicherheit"	5
2.3	Begriffserläuterung "Risiko"	5
3	Vorgehen / Methoden.....	6
3.1	Gefahren- und Risikoanalyse.....	6
3.2	Heatmaps	7
4	Resultate.....	9
4.1	Das Fahrzeug	9
4.2	Strecke	11
4.2.1	Tempo-30-Zone	11
4.2.2	Fussgängerzone	11
4.3	Gefahren- und Risikoanalyse.....	13
4.3.1	Wichtigste Fälle	14
4.4	Heatmaps	20
4.4.1	Fussgänger.....	20
4.4.2	Verkehr	21
4.4.3	Insassen	22
5	Diskussion und Ausblick	23
6	Verzeichnisse	24
6.1	Literaturverzeichnis.....	24
6.2	Abbildungsverzeichnis.....	25
6.3	Tabellenverzeichnis.....	25

1 Einleitung

1.1 Situation

Die AMoTech GmbH führt in Schaffhausen ein schweizweit bisher einzigartiges Projekt durch. Ein kleiner autonomer Bus wird in das bestehende Busnetz eingebunden und soll zum Personentransport eingesetzt werden. Als Einsatzgebiet ist eine kurze Rundfahrt geplant, welche entlang dem Rhein verläuft und eine optimale Aussicht auf den Rheinfluss bietet.

Als Tochterfirma von Trapeze Switzerland beschäftigt sich die AMoTech GmbH mit autonomer Mobilität. Trapeze liefert Komplettlösungen für den öffentlichen Personennahverkehr und ist in ihrem Feld weltweit führend. Das ÖV-Labor in Schaffhausen trägt zu den weltweiten Anstrengungen bei, die technischen Möglichkeiten in die Praxis umzusetzen.

Seit Juni 2017 testet AMoTech ein selbstfahrendes Fahrzeug, welches zu einem späteren Zeitpunkt auch zum Personentransport eingesetzt werden soll. Im Unterschied zu ähnlichen Projekten soll das autonome Fahrzeug in das bestehende Busnetz eingebunden werden. Die Zusammenarbeit mit den Verkehrsbetrieben Schaffhausen und der Umstand, dass Trapeze bereits für diverse Software- sowie Hardwarekomponenten im bestehenden Netz zuständig ist, macht das Projekt zum ersten seiner Art schweizweit.

Das eingesetzte Fahrzeug stammt vom französischen Fahrzeughersteller NAVYA und wurde "Trapizio" benannt. Mit weltweit über 50 solchen Bussen im Einsatz, gehört NAVYA zu den Pionieren im Markt der autonomen Fahrzeuge. Über 180'000 Passagiere nutzten bereits einen von NAVYA hergestellten Bus. Anfangs November 2017 stellte NAVYA einen Zusatz zum Fahrzeugpark vor. Das den Namen AUTONOM CAB tragende, vollständig autonom fahrende Fahrzeug besitzt ebenfalls weder Cockpit noch ein Steuerrad, noch Pedalen. Es soll in urbanen Gegenden zum Einsatz kommen und kann 1 bis 6 Passagiere transportieren [1].

1.2 Ziele

Im Rahmen dieser Arbeit soll für das Projekt in Schaffhausen eine Risikoanalyse durchgeführt werden mit dem Ziel, Gefahren zu identifizieren. Das Risikomanagement ist bei Projekten mit sehr jungen Technologien, wie dem autonomen Fahren, sehr wichtig. Die Strecke hat trotz ihrer Kürze mehrere kritische Stellen, darum werden in dieser Arbeit auf die Strecke bezogene Risiken identifiziert und evaluiert.

Zur Erfüllung der genannten Ziele wurden folgende Aufgaben definiert:

- anhand von "Trapizio" eine Risikoanalyse durchführen,
- die genaue Strecke definieren und bewerten,
- die identifizierten Risiken der Strecke zuordnen,
- Visualisieren der Risiken,
- das System des Fahrzeugs gestalten.

Die offizielle Aufgabenstellung, welche von Monika Reif, verfasst wurde kann dem Anhang entnommen werden.

1.3 Ähnliche Projekte

Weltweit befinden sich über 50 weitere autonome Busse der Firma NAVYA im Einsatz. Das Projekt "SmartShuttle" der Postauto Schweiz AG beinhaltet zwei autonome Busse, welche sich bereits seit dem Sommer 2016 in der Innenstadt von Sitten im Testbetrieb befinden. Die beiden Fahrzeuge operieren auf einem 1500 Meter langen Rundkurs, wobei die Mitfahrt kostenlos ist [2]. Im September 2016 kam es zu

einem Zusammenstoss eines autonomen Fahrzeugs mit einem Lieferwagen, wonach der Testbetrieb kurzzeitig unterbrochen wurde. Bei der leichten Kollision mit der offenen Heckklappe eines Lieferwagens gab es keine Verletzten [3]. Gemäss der Untersuchung durch die Postauto Schweiz AG wurde die Klappe nicht korrekt von den Lidar-Sensoren erfasst. Auch die Aufsichtsperson sah die Gefahr zu spät [4].

Auf einem rund ein Kilometer grossen Rundkurs in Las Vegas wird ein weiterer Navya Shuttle eingesetzt. Nach einem zwei Wochen dauernden Experiment im Januar 2017 debütierte der Bus am 8. November 2017, als er seine zwölfmonatige Testphase antrat. Doch nach wenigen Stunden im Betrieb musste das Fahrzeug nach einer Kollision zwischen dem Bus und einem Lieferwagen aus dem Verkehr genommen werden. Bei diesem Vorfall lag die Schuld jedoch beim anderen Beteiligten. Der selbstfahrende Bus verhielt sich wie es von ihm zu erwarten gewesen war und hätte der Lieferwagen die gleiche Sensorik, hätte der Unfall, gemäss Beamten, verhindert werden können.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 ISO 26262

Dieser Standard beschreibt das Vorgehen und anzuwendende Methoden bei der Entwicklung und in der Produktion von Systemen mit elektrischen und oder elektronischen Untersystemen. Diese Norm gilt für Kraftfahrzeuge mit bis zu 3500 Kilogramm zulässiger Gesamtmasse.

In dieser Arbeit werden nur einige wenige Methoden dieses Standards genutzt, welche im Projekt «Trapi-zio» relevant sind. Die Anwendung der gesamten Norm ist viel umfangreicher für Projekte, welche bereits weit fortgeschritten sind.

2.2 Begriffserläuterung "Funktionale Sicherheit"

Die ISO 26262 Norm beschreibt funktionale Sicherheit als Freiheit von unakzeptablen Risiken basierend auf Gefahren, die durch Fehlfunktionen von E/E-Systemen verursacht werden. E/E-Systeme sind Elektrik- und Elektronik-Systeme.

2.3 Begriffserläuterung "Risiko"

Ein Risiko ist gemäss Duden:

"Möglicher negativer Ausgang bei einer Unternehmung, mit dem Nachteile, Verlust, Schäden verbunden sind; mit einem Vorhaben, Unternehmen o. Ä. verbundenem Wagnis" [5]

In der internationalen Norm ISO 31000 für Risikomanagement wird Risiko folgendermassen definiert:

"the effect of uncertainty on objectives" [6]

Übersetzt bedeutet das etwa "die Auswirkung von Ungewissheit auf Ziele". Das heisst, die Auswirkungen können negativ oder positiv sein.

Im Buch "Funktionale Sicherheit im Automobil", des Autors Hans-Leo Ross, welches von ISO-26262 handelt, wird Risiko folgendermassen definiert:

"Risiko ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit und die Auswirkung eines bestimmten auftretenden gefahrbringenden Vorfalls. Es kann für unterschiedliche Situationen ausgewertet werden (EUC-Risiko, notwendiges Risiko, um das tolerierbare Risiko zu erreichen, tatsächliches Risiko (siehe Bild A.1)). Das tolerierbare Risiko wird auf gesellschaftlicher Basis bestimmt und berücksichtigt gesellschaftliche und politische Faktoren." [7]

3 Vorgehen / Methoden

3.1 Gefahren- und Risikoanalyse

Das Projekt in Schaffhausen befindet sich in der Testphase, wobei diese Gefahren- und Risikoanalyse relevant für die Evaluation der Strecke relevant ist. Es wird also aufgezeigt, an welchen Stellen potentielle Gefahren lauern.

In der Analyse werden mögliche Situationen auf der Strecke analysiert und bewertet. Dabei wird nach dem Automotive Safety Integrity Level (ASIL) vorgegangen. Jede Gefährdung erhält eine, auf drei Faktoren basierende, Bewertung. Der erste Faktor des Schadensausmasses bezieht sich auf mögliche Auswirkungen durch eine Fehlfunktion. Die Gefährdungen werden in die in Tabelle 1 ersichtlichen Klassen eingeordnet.

Klasse	S0	S1	S2	S3
Beschreibung	Keine Verletzungen (Keine ASIL-Einteilung)	Leichte und mittelschwere Verletzungen	Schwere und lebensbedrohliche Verletzungen (Überleben wahrscheinlich)	Lebensbedrohliche Verletzungen (Überleben unwahrscheinlich), fatale Verletzungen
AIS-Skala	AIS 0	> 10% Wahrscheinlichkeit von AIS 1-6	> 10% Wahrscheinlichkeit von AIS 3-6	> 10% Wahrscheinlichkeit von AIS 5-6

Tabelle 1: Schadensausmass

AIS-Code	AIS-Verletzungsschwere
0	Unverletzt
1	Gering
2	Ernsthaft
3	Schwer
4	Sehr Schwer
5	Kritisch
6	Maximal (nicht behandelbar)

Die Abbreviated Injury Scale (AIS) ist eine vereinfachte Verletzungsskala, welche hier zum besseren Verständnis und zur besseren Einteilung noch angegeben ist. In der automobilen Unfallforschung wird sie oft eingesetzt, weshalb sie für diesen Anwendungsfall passend ist. In Tabelle 2 sind die Einteilungen ersichtlich [8].

Tabelle 2: Abbreviated Injury Scale

Der zweite Faktor ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses. Diese Wahrscheinlichkeit bezieht sich jeweils auf die Fahrsituation und nicht auf die Fehlfunktion. In der Tabelle 3 sind die Klassen ersichtlich.

Klasse	E0	E1	E2	E3	E4
Beschreibung	Unmöglich (Keine ASIL-Einteilung)	Sehr geringe Wahrscheinlichkeit	Geringe Wahrscheinlichkeit	Mittlere Wahrscheinlichkeit	Hohe Wahrscheinlichkeit
Wahrscheinlichkeit		0% Nicht spezifiziert	< 1% der durchschnittlichen Betriebszeit	1% - 10% der durchschnittlichen Betriebszeit	> 10%

Tabelle 3: Eintrittswahrscheinlichkeit

Der letzte Punkt ist die Kontrollierbarkeit, welche aussagt wie gut ein Gefahrenszenario abgewandt werden kann. Dabei werden nur externe Massnahmen beachtet, zum Beispiel das Ausweichen durch Fussgänger oder andere Verkehrsteilnehmer. In Tabelle 4 sind die verschiedenen Klassen der Kontrollierbarkeit ersichtlich.

Klasse	C0	C1	C2	C3
Beschreibung	Kontrollierbar (Keine ASIL-Einteilung)	Einfach kontrollierbar	Normalerweise kontrollierbar	Schwer zu kontrollieren oder unkontrollierbar

Tabelle 4: Kontrollierbarkeit

Diese drei Faktoren werden in einer Risk-Map (vgl. Tabelle 5) zusammengeführt.

		C1	C2	C3
S1	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	QM
	E3	QM	QM	A
	E4	QM	A	B
S2	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	A
	E3	QM	A	B
	E4	A	B	C
S3	E1	QM	QM	A
	E2	QM	A	B
	E3	A	B	C
	E4	B	C	D

Tabelle 5: Automotive Safety Integrity Level (ASIL)

Die Szenarien werden in vier verschiedene Level sowie das Quality Management (QM) eingeteilt. QM ist nach dieser ISO-Norm nicht weiter spezifiziert und Gefährdungen, welche diese Einteilung erhalten, stellen ein tolerierbares Risiko dar. Hingegen ASIL-A bis ASIL-D müssen nach diesem Standard weiter analysiert werden und erfordern Massnahmen. Wie in der Skala ersichtlich stellen in Level D eingeteilte Gefährdungen das höchste Risiko dar.

3.2 Heatmaps

Um ein besseres Bild der Strecke und ihrer Gefahren zu erhalten, werden Karten erstellt. Diese Karten erhalten jeweils eine Ebene mit Punkten, welche in der Gefahrenanalyse festgestellt wurden. Die Google Maps API bietet für diese Aufgabe sehr gute Funktionen. Die Karten werden mit Javascript und HTML gemacht und können so gut individualisiert werden. Insgesamt werden drei Heatmaps angefertigt, damit kein Chaos entsteht. Die bereits bestimmten Levels werden gemäss Tabelle 6 gewichtet.

Level	Gewichtungen
ASIL-A	0.5
ASIL-B	1
ASIL-C	1.5
ASIL-D	2

Tabelle 6: Gewichtungen ASIL

Situation	Faktor
Fussgängerzone (tiefe Personendichte)	0.8
Fussgängerzone	1
Tempo-30-Zone	1
Restaurant / Kiosk	1.5
Wendepunkte	1.5
Aussichtspunkte	2

Tabelle 7: Gewichtungen Fussgängerdichte

Die erste Karte (vgl. Abschnitt 4.4.1) beinhaltet alle Gefahren, welche Fussgänger betreffen. Das heisst, falls das Fahrzeug möglicherweise mit einem Fussgänger kollidieren könnte, wird dies in dieser Karte erfasst. Auf der vollständigen betrachteten Strecke befinden sich potentiell Fussgänger, deshalb enthält diese Karte die meisten Gefahrenpunkte. Zusätzlich zur bereits bestimmten ASIL-Einteilung werden hier weitere Faktoren gemäss Tabelle 7 einberechnet, da die Fussgängerdichte sehr unterschiedlich sein kann. Aussichtspunkte erhalten den höchsten Faktor, während wenig belaufene Fussgängerzonen den kleinsten erhalten.

Eine zweite Karte (vgl. Abschnitt 4.4.2) beinhaltet alle Gefahren betreffend Verkehr. Das heisst andere Verkehrsteilnehmer, grösstenteils motorisierte Kraftfahrzeuge, fallen in diese Kategorie. Bezogen auf die

Strecke entstehen nur Gefahren im oberen Teil, welcher sich in einer Tempo-30-Zone befindet. Diese Zone ist sehr kurz und Unterschiede in der Dichte des Verkehrs sind nicht festzustellen oder sehr gering, weshalb keine weiteren Faktoren einberechnet werden.

Die dritte Karte (vgl. Abschnitt 4.4.3) betrifft die Szenarien, die die Insassen des autonomen Fahrzeugs betreffen. Hier verteilen sich die Gefahrenpunkte auf der gesamten Strecke, da Kollisionen jeder Art Auswirkungen auf die Passagiere haben können. Auch hier werden keine weiteren Faktoren einberechnet, da nicht bekannt ist, wo sich wie viele Personen im Fahrzeug befinden.

4 Resultate

4.1 Das Fahrzeug

Das von NAVYA entwickelte Fahrzeug des Modells AUTONOM SHUTTLE (vgl. Abbildung 1) fasst 11 sitzende Passagiere und ist 4.75 Meter lang. Es wird rein elektrisch betrieben und kann gemäss Hersteller 9 Stunden ohne aufladen autonom betrieben werden. Insgesamt 8 Lidare (Light detection and ranging) sind für die Erfassung der Umgebung zuständig. 2 dieser Lidare haben eine 360-Grad-Sicht (vgl. Bereich 3 in Abbildung 1) während die anderen 6 eine 180-Grad-Sicht (vgl. Bereiche 1 und 2) haben. Ein Lidar sendet ständig Laserlichtstrahlen und misst anschliessend wie lange es dauert bis dieses Licht zum Sensor zurückkehrt. Anhand dieser Messung kann berechnet werden wie weit das Objekt entfernt ist. Anhand Millionen solcher Lichtstrahlen pro Sekunde baut sich ein Lidar eine 3D-Welt auf [9].

Zusätzlich besitzt der Bus an der Front und am Heck jeweils eine Kamera (vgl. Bereich 4), welche die Umgebung genauer analysiert. So werden vor allem Verkehrsschilder und Ampeln, aber auch Hindernisse erkannt und identifiziert. Für die Standort- und Geschwindigkeitsbestimmung und ist ein Hodometer

(nicht von aussen ersichtlich) zuständig. Eine GNSS (global navigation satellite system) Antenne, welche sich auf dem Fahrzeug befindet, berechnet ebenfalls den genauen Standort des Fahrzeugs. Eine Inertial Measurement Unit (IMU) (vgl. Bereich 5) berechnet anhand von mehrerer weiterer Sensoren die Bewegungen, die Geschwindigkeit, sowie die Position des Fahrzeugs [10], [11].

Die genaue Bestimmung der Daten ist durch mehrere Sensoren sichergestellt. Falls zum Beispiel die GNSS Antenne eine schlechte Verbindung hat und ausfällt, kann die Position immer noch durch die weiteren Sensoren berechnet werden.

In Abbildung 2 ist ein grober Aufbau des Fahrzeugs ersichtlich. Der "Controller" benannte Teil ist ein Computer namens NAVYA COGNITIV, welcher die Daten sammelt und verarbeitet. Entscheidungen fällt dieser Rechner anhand der Daten der Sensoren [12].

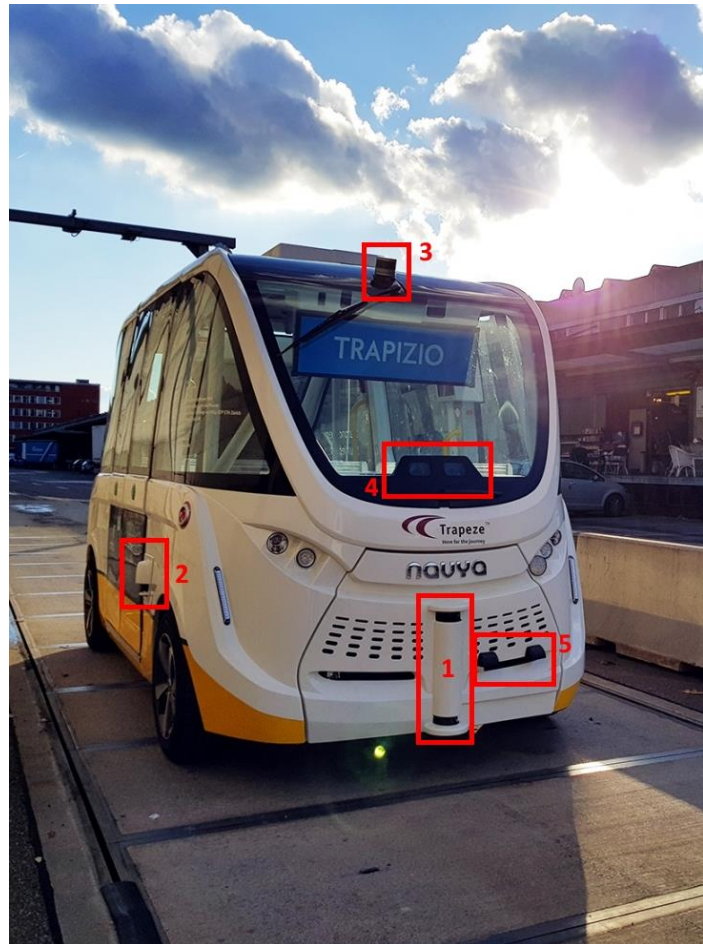


Abbildung 1: Trapizio [13]

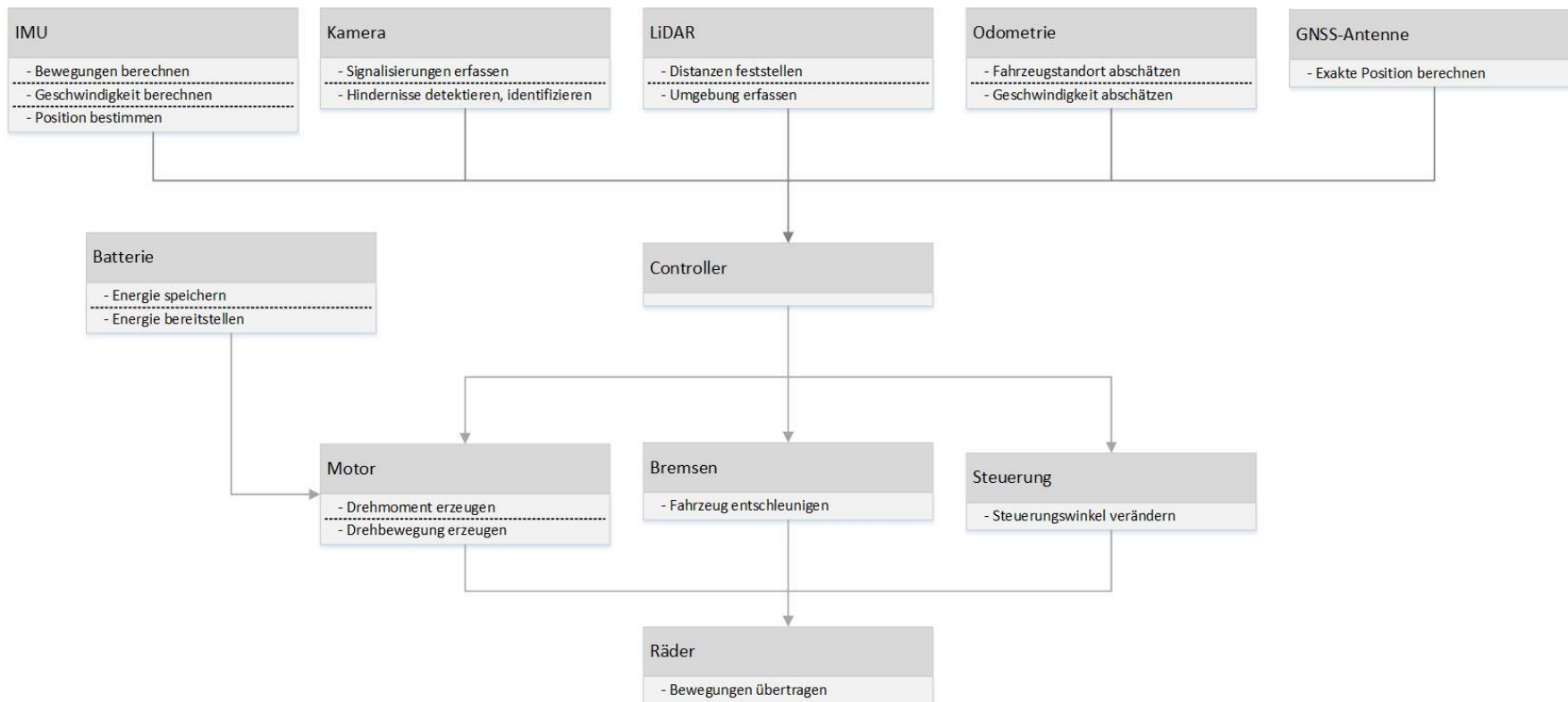


Abbildung 2: grobe Struktur des Fahrzeugs

4.2 Strecke

Damit überhaupt eine streckenbezogene Analyse möglich ist muss die Strecke genau bekannt sein. Die Strecke befindet sich direkt am Rheinflall, zum Teil in einer Fussgängerzone. Der restliche Teil befindet sich in einer Tempo-30-Zone. Die Länge der Strecke beläuft sich insgesamt auf rund 2 Kilometer.

4.2.1 Tempo-30-Zone

In Abbildung 3 ist der obere Teil der Strecke, welcher am Tag oft befahren ist, zu sehen. Da sich viele Geschäfte an diesen Strassen befinden, sind auch viele Fussgänger unterwegs. Es befinden sich drei Haltestellen auf diesem Teil, eingezeichnet mit verschiedenfarbigen Ortsnadeln. Mit den weiss-blauen Kreuzen sind drei Kreuzungen, welche im Text referenziert werden, markiert. Ausgehend von der grünen Haltestelle bewegt sich der Bus nördlich in Richtung Kreuzung 1. Ab dieser Kreuzung ist die Strasse nur noch in eine Richtung befahrbar. Bei der zweiten Kreuzung wird links abgebogen zur roten Haltestelle. Und ab der ersten Kreuzung fährt der Bus wieder in wechselseitigem Verkehr. Die gelbe und die rote Haltestelle befinden sich jeweils auf einer bereits bestehenden Haltestelle von Linienbussen, während die grüne Haltestelle bisher noch nicht als Haltestelle gedient hat.

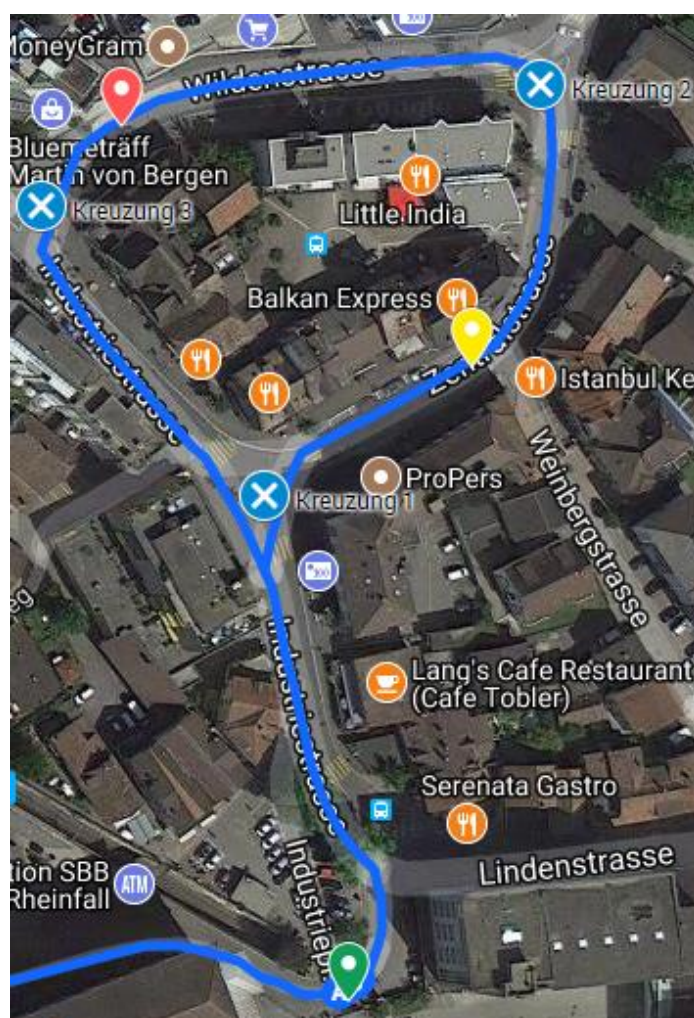


Abbildung 3: Karte – Strecke in Tempo-30-Zone

4.2.2 Fussgängerzone

Der nächste Teil der Strecke (vgl. Abbildung 4) befindet sich in einer Fahrverbotszone. Ab diesem Punkt fährt der Bus in beide Richtungen auf der gleichen Strecke.



Abbildung 4: Karte – Teil 1 Strecke in Fussgängerzone

Die grüne Haltestelle ist identisch mit jener in Abbildung 3. Anschliessend bewegt sich der Shuttle in einem starken Gefälle zur orangen Haltestelle. Von diesem Punkt aus hat man eine ideale Aussicht auf den Rheinflall, weshalb hier immer mit vielen Personen zu rechnen ist. Dann fährt der Bus zur violetten Haltestelle. Auf diesem Weg sind nur wenige Fussgänger unterwegs, da ein zweiter Weg, welcher öfter genutzt wird, am Rhein entlangführt. Am violetten Punkt gibt es seit Dezember 2015 einen Aufzug (vgl. Abbildung 5), welcher zur ebenfalls neuen Bahnhof Haltestelle "Neuhausen Rheinfall" führt. Aus diesem Grund sind hier wieder etwas mehr Fussgänger unterwegs.

Bei der schwarzen Haltestelle (vgl. Abbildung 6) auf dem letzten Teil der Strecke, kommen die beiden Wege wieder zusammen. Das heisst hier nimmt die Fussgängerdichte stark zu.



Abbildung 5: Foto – Aufzug

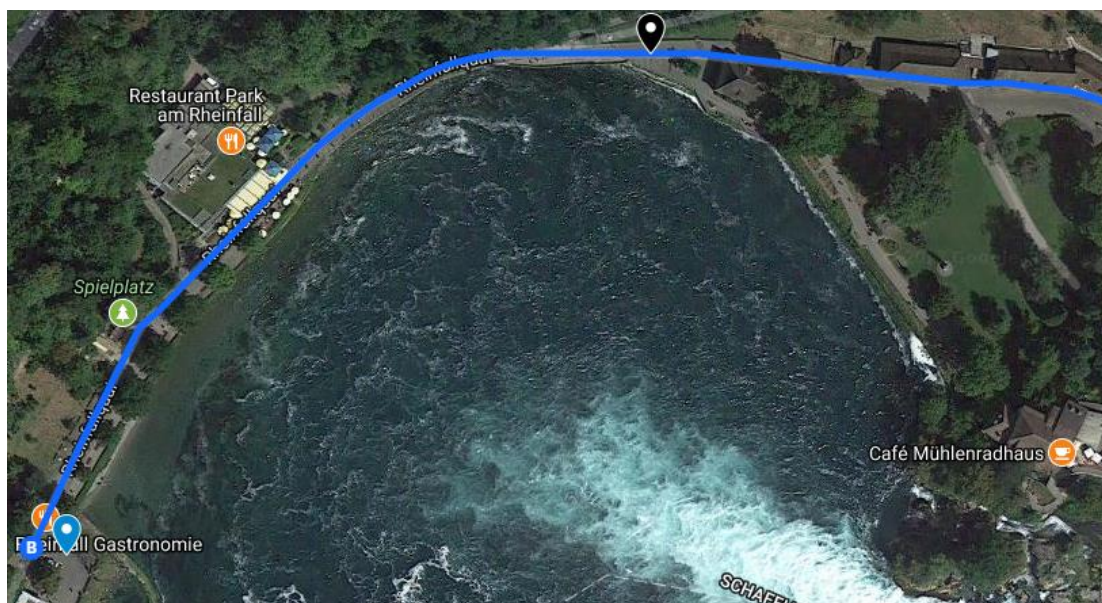


Abbildung 6: Karte – Teil 2 Strecke in Fussgängerzone



Abbildung 7: Foto - Fussgängerzone mit Restaurant

Der Weg zum letzten, blauen Punkt führt unter anderem an einem Restaurant mit einem kleinen Shop vorbei. Der letzte Punkt befindet sich auf einem kleinen Platz, wo auch mit einem erhöhten Personenaufkommen gerechnet wird, da hier die Aussicht wieder super ist. Bilder der für dieses Projekt wichtigsten Stellen folgen bei der Beschreibung der wichtigsten Fälle (vgl. Abschnitt 4.3.1).

4.3 Gefahren- und Risikoanalyse

Aus der Analyse gehen mehrere Fälle hervor, welche mit einem ASIL-B oder A bewertet werden, jedoch keine mit einem höheren Level. Die wichtigsten Fälle werden hier genauer beschrieben.

Damit die verschiedenen Gefährdungen besser referenziert werden können wird jedem Fall eine Zahl gemäss folgendem Format zugewiesen:

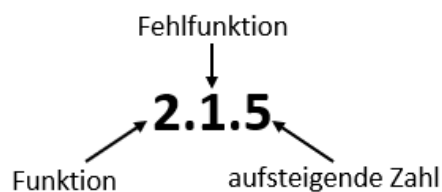


Abbildung 8: Format Referenznummern

Die folgenden grundlegenden Funktionen, welche bei den meisten Fahrzeugen gleich sind, wurden identifiziert. Anhand dieser sollen möglichst viele Situationen abgedeckt sein.

1. Bremsen
2. Beschleunigung
3. Steuerung

Weiter wird erkannt welche Fehler bei welchen Funktionen auftreten könnten. Eine Möglichkeit ist dabei jeweils festzustellen ob eine Funktion

1. weniger stark als erwartet oder
2. stärker als erwartet

auftreten kann.

4.3.1 Wichtigste Fälle

4.3.1.1 Fall 1.1.1

Betriebszustand	Fahrsituation	Gefahrenszenario	Gefährdung	Betroffene Kategorie
Fahrt (10 km/h - 30 km/h)	Bergabfahrt	Fahrt in Aussichtspunkt	Kollision mit Person(en)	Fussgänger

Tabelle 8: Fall 1.1.1

In Fall 1.1.1 (vgl. Tabelle 8) befindet sich das Fahrzeug in normaler Fahrt. Es befindet sich dabei an einer Stelle mit Gefälle. Mit dem Gefahrenszenario ist hier eine spezielle Stelle der Strecke gemeint. Der Bus fährt, wie in Abbildung 9 ersichtlich, von Osten zur orangenen Haltestelle.

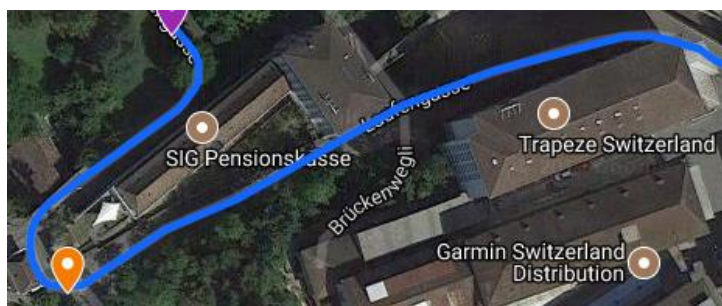


Abbildung 9: Karte – Gefälle mit Aussichtspunkt



Abbildung 10: Foto – Gefälle

Wie in Abbildung 6 ersichtlich, muss der Bus ein 15 Prozent-Gefälle hinunter zu diesem Punkt. Hier sieht man auch, dass ab diesem Punkt ein Fahrverbot herrscht. Allerdings gibt es immer wieder Fahrzeuge, welche diesen Weg befahren, da es mehrere Gebäude in diesem Fahrverbot gibt. Dieses Foto wurde ganz rechts in Abbildung 5 Richtung Westen gemacht. Anschliessend führt der Weg in starkem Gefälle weiter runter zu einem Aussichtspunkt.

Auf Abbildung 11 ist der Aussichtspunkt ersichtlich. Gleich hinter dem Gebäude auf der linken Seite geht es links hoch Richtung Abbildung 6. Auf der rechten Seite befindet sich der Rheinfluss. An schönen Tagen befinden sich hier viele Personen.



Abbildung 11: Foto - Aussichtspunkt

Wie in der Referenznummer ersichtlich wird bei diesem Fall damit gerechnet, dass das Fahrzeug weniger stark als erwartet bremst. Unter diesem Umstand wäre eine Kollision mit Personen, welche sich an diesem Aussichtspunkt befinden, möglich.

Bestimmung ASIL

Die Einteilungen in die Kategorien gemäss Kapitel 3.1 wurden bei diesem Fall wie folgt gemacht.

- **Schadensausmass: S2**
Funktionieren die Bremsen nur schwach oder fallen sogar aus, würde der Bus durch das Gefälle mit hoher Geschwindigkeit am Aussichtspunkt eintreffen. Dadurch würden Personen im Falle einer Kollision schwer getroffen. Schwere und lebensbedrohliche Verletzungen sind im schlimmsten Fall wahrscheinlich.
- **Eintrittswahrscheinlichkeit: E4**
Wie bereits in Kapitel 3.1 beschrieben, bezieht sich dieser Faktor auf die Fahrsituation, in diesem Fall also auf die Bergabfahrt. Da die Strecke zum Aussichtspunkt auf die ganze Strecke bezogen recht lang ist, wird hier in die höchste Einteilung vergeben.
- **Kontrollierbarkeit: C2**
Personen, welche sich am Aussichtspunkt befinden, könnten dem Bus ausweichen. Darum dieser Fall in "Normalerweise kontrollierbar" und damit die zweithöchste Kategorie eingeteilt.

Folgt man nun in der ASIL-Risk-Map diesen Einteilungen, erreicht man ein **ASIL-B** (vgl. Tabelle 5).

4.3.1.2 Fall 1.1.2

Betriebszustand	Fahrsituation	Gefahrenszenario	Gefährdung	Betroffene Kategorie
Fahrt (10 km/h - 30 km/h)	Bergabfahrt	Fahrt in Aussichtspunkt	Kollision mit Hindernis	Insassen

Tabelle 9: Fall 1.1.2

Fall 1.1.2 (vgl. Tabelle 9) ist fast identisch zu Fall 1.1.1. Allerdings ist hier die betroffene Kategorie unterschiedlich. Hier wird angenommen das Fahrzeug kollidiert mit einem Hindernis, dies kann zum Beispiel eine Wand sein. Würde eine solche Kollision stattfinden, würden auch die Insassen einen Schlag erleiden.

Bestimmung ASIL

- **Schadensausmass: S1**
Die sitzenden Passagiere erleiden keine schweren Verletzungen durch einen Schlag. Darum wird die tiefste relevante Kategorie verwendet.
- **Eintrittswahrscheinlichkeit: E4**
Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist gleich wie beim vorherigen Fall.
- **Kontrollierbarkeit: C3**
Die Insassen des Fahrzeugs haben keine Kontrolle in einem solchen Fall. Deshalb wird dieser Fall in die höchste Kategorie eingeordnet.

Diese Einteilungen ergeben am Ende ein **ASIL-B** (vgl. Tabelle 5).

4.3.1.3 Fall 1.1.6

Betriebszustand	Fahrsituation	Gefahrenszenario	Gefährdung	Betroffene Kategorie
Fahrt (10 km/h - 30 km/h)	Fahrt in Tempo 30-Zone	Vorausfahrender Verkehr bremst	Auffahrunfall	Verkehr

Tabelle 10: Fall 1.1.6

In Fall 1.1.6 (vgl. Tabelle 10) wird noch immer angenommen, dass die Bremsen schwächer als erwartet sind. Allerdings befindet sich das Fahrzeug hier in der der Tempo-30-Zone. Es wird angenommen, dass der vorausfahrende Verkehr bremst, was beim Bus ebenfalls eine Bremsreaktion herbeiführt.

Bestimmung ASIL

- **Schadensausmass: S1**
Da das Fahrzeug maximal 30 Kilometer pro Stunde fahren kann, würde es nur zu einer leichten Kollision kommen. Die Insassen des anderen beteiligten Fahrzeugs erleiden keine ernsthaften Verletzungen.
- **Eintrittswahrscheinlichkeit: E4**
Auch hier wird die höchste Kategorie der Eintrittswahrscheinlichkeit verwendet, da die Tempo-30-Zone einen grossen Teil der ganzen Strecke in Anspruch nimmt. Etwas mehr als ein Viertel, also etwa 600 Meter sind solche Zone.
- **Kontrollierbarkeit: C3**
Der vorausfahrende Verkehr kann ein Fehlverhalten des Busses nicht feststellen. Deshalb wird dieser Fall ebenfalls in die höchste Stufe und damit die schlechteste Kontrollierbarkeit eingeordnet.

Da alle Einteilungen gleich wie beim letzten Fall sind, erhält auch dieser Fall ein **ASIL-B** (vgl. Tabelle 5).

4.3.1.4 Fall 2.2.5

Betriebszustand	Fahrsituation	Gefahrenszenario	Gefährdung	Betroffene Kategorie
aus dem Stand	Fahrt in Tempo 30-Zone	Vorausfahrender Verkehr fährt langsam los	Auffahrunfall	Verkehr

Tabelle 11: Fall 2.2.5

Fall 2.2.5 (vgl. Tabelle 11) bezieht sich auf die Beschleunigung und wie der Referenzzahl zu entnehmen ist, ist sie stärker als erwartet. Das Fahrzeug befindet sich auch hier in der Tempo-30-Zone, also dem oberen Teil der Strecke (vgl. Abbildung 3). Anders als bei den anderen Fällen wird hier angenommen, dass das Fahrzeug aus dem Stand beschleunigt.

Bestimmung ASIL

- **Schadensausmass: S1**
Die Geschwindigkeit ist bei einer Kollision sehr tief, was zu einem leichten Schlag für Passagiere des vorausfahrenden Fahrzeugs führt. Deshalb wird dieser Fall in die tiefste Kategorie eingeordnet.
- **Eintrittswahrscheinlichkeit: E4**
Da sich diese Wahrscheinlichkeit auf die Tempo-30-Zone bezieht, ist sie gleich wie in den anderen Fällen mit dieser Situation.
- **Kontrollierbarkeit: C3**
Andere Verkehrsteilnehmer können das Fehlverhalten nicht erkennen.

Diese Einteilungen führen wiederum zu einem **ASIL-B** (vgl. Tabelle 5).

4.3.1.5 Fall 3.1.2

Betriebszustand	Fahrsituation	Gefahrenszenario	Gefährdung	Betroffene Kategorie
Fahrt (10 km/h - 30 km/h)	Bergabfahrt	Fahrt neben die geplante Strecke	Kollision mit Hindernis	Insassen

Tabelle 12: Fall 3.1.2

In Fall 3.1.2 (vgl. Tabelle 12) wird von einer zu geringen Steuerung ausgegangen. Dabei befindet sich das Fahrzeug in einem Gefälle. Durch den Fehler würde sich das Fahrzeug neben seine geplante Strecke bewegen, was zu einer Kollision mit einem Hindernis führen könnte.

Bestimmung ASIL

- **Schadensausmass: S1**
Bei einer Kollision ist die Geschwindigkeit gering, was zu einem leichten Schlag für die Insassen führt. Sie erleiden also keine ernsthaften Verletzungen.
- **Eintrittswahrscheinlichkeit: E4**
Das Fahrzeug fährt auf dem Rundkurs mehrmals bergab, weshalb der Fall in die höchste Kategorie eingeteilt wird.
- **Kontrollierbarkeit: C3**
Die Insassen haben keine Kontrolle über das Fahrzeug.

Diese Einteilungen führen zu einem **ASIL-B** (vgl. Tabelle 5).

4.3.1.6 Fall 3.1.4

Betriebszustand	Fahrsituation	Gefahrenszenario	Gefährdung	Betroffene Kategorie
Fahrt (10 km/h - 30 km/h)	Bergauffahrt	Fahrt neben die geplante Strecke	Kollision mit Hindernis	Insassen

Tabelle 13: Fall 3.1.4

Fall 3.1.4 (vgl. Tabelle 13) ist, bis auf die Fahrsituation, identisch mit Fall 3.1.2. Deshalb sind auch die Einteilungen identisch und werden nicht detailliert beschrieben.

Bestimmung ASIL

- **Schadensausmass: S1**
- **Eintrittswahrscheinlichkeit: E4**
- **Kontrollierbarkeit: C3**

Diese Einteilungen führen zu einem **ASIL-B** (vgl. Tabelle 5).

4.3.1.7 Fall 3.2.2

Betriebszustand	Fahrsituation	Gefahrenszenario	Gefährdung	Betroffene Kategorie
Fahrt (10 km/h - 30 km/h)	Bergabfahrt	Fahrt neben die geplante Strecke	Kollision mit Hindernis	Insassen

Tabelle 14: Fall 3.2.2

Auch Fall 3.2.2 (vgl. Tabelle 14) ist ähnlich zu den beiden vorangehenden Fällen. Es wird jedoch angenommen, dass die Steuerung stärker als erwartet ist. Die Einteilung sind auch hier identisch und werden nicht weiter erläutert.

Bestimmung ASIL

- **Schadensausmass:** S1
- **Eintrittswahrscheinlichkeit:** E4
- **Kontrollierbarkeit:** C3

Diese Einteilungen führen zu einem **ASIL-B** (vgl. Tabelle 5).

4.3.1.8 Fall 3.2.4

Betriebszustand	Fahrsituation	Gefahrenszenario	Gefährdung	Betroffene Kategorie
Fahrt (10 km/h - 30 km/h)	Bergauffahrt	Fahrt neben die geplante Strecke	Kollision mit Hindernis	Insassen

Tabelle 15: Fall 3.2.4

Fall 3.2.4 (vgl. Tabelle 15) ist wiederum ähnlich zu den letzten Fällen und wird darum nicht weiter erläutert.

Berechnung ASIL

- **Schadensausmass:** S1
- **Eintrittswahrscheinlichkeit:** E4
- **Kontrollierbarkeit:** C3

Diese Einteilungen führen zu einem **ASIL-B** (vgl. Tabelle 5).

4.3.1.9 Fall 3.2.6

Betriebszustand	Fahrsituation	Gefahrenszenario	Gefährdung	Betroffene Kategorie
Fahrt (10 km/h - 30 km/h)	Fussgängerzonenfahrt	Fahrt neben die geplante Strecke	Kollision mit Hindernis	Insassen

Tabelle 16: Fall 3.2.6

Fall 3.2.6 (vgl. Tabelle 16) bezieht sich ebenfalls auf die Insassen. Das Fahrzeug befindet sich allerdings in einer Fussgängerzone. Da ein grosser Teil der Strecke aus einer Fussgängerzone besteht, führt dies zu den gleichen Einteilungen wie zuvor.

Bestimmung ASIL

- **Schadensausmass:** S1
- **Eintrittswahrscheinlichkeit:** E4
- **Kontrollierbarkeit:** C3

Diese Einteilungen führen zu einem **ASIL-B** (vgl. Tabelle 5).

4.3.1.10 Fall 3.2.9

Betriebszustand	Fahrsituation	Gefahrenszenario	Gefährdung	Betroffene Kategorie
Fahrt (10 km/h - 30 km/h)	Fahrt in Tempo 30-Zone	Fahrt neben die geplante Strecke	Kollision mit Gegenverkehr	Verkehr

Tabelle 17: Fall 3.2.9

In Fall 3.2.9 (vgl. Tabelle 17) befindet sich das Fahrzeug in der Tempo-30-Zone. Es wird von zu starker Steuerung ausgegangen, weshalb es zu einer Kollision mit dem Gegenverkehr kommen könnte.

Bestimmung ASIL

- **Schadensausmass: S2**
Es kommt zu einer Frontalkollision mit dem entgegenkommenden Verkehr bei geringer Geschwindigkeit. Die Insassen des anderen beteiligten Fahrzeugs könnten also Verletzungen erleiden. Es könnten auch andere Verkehrsteilnehmer (z.B. Fussgänger) zu Schaden kommen.
- **Eintrittswahrscheinlichkeit: E4**
- **Kontrollierbarkeit: C2**
Die anderen Verkehrsteilnehmer könnten feststellen, dass der autonome Bus nicht wie vorgesehen agiert und ausweichen.

Diese Einteilungen führen zu einem **ASIL-B** (vgl. Tabelle 5).

4.3.1.11 Fall 3.2.11

Betriebszustand	Fahrsituation	Gefahrenszenario	Gefährdung	Betroffene Kategorie
Fahrt (10 km/h - 30 km/h)	Fahrt in Tempo 30-Zone	Fahrt neben die geplante Strecke	Kollision mit Hindernis	Insassen

Tabelle 18: Fall 3.2.11

Fall 3.2.11 (vgl. Tabelle 18) ist ähnlich wie Fall 3.2.9, allerdings bezieht er sich auf die Insassen des autonomen Busses.

Bestimmung ASIL

- **Schadensausmass: S1**
Bei einer Kollision mit einem Hindernis, erleiden die Insassen einen leichten Schlag.
- **Eintrittswahrscheinlichkeit: E4**
- **Kontrollierbarkeit: C3**
Die Insassen haben keine Kontrolle über das Fahrzeug.

Diese Einteilungen führen zu einem **ASIL-B** (vgl. Tabelle 5).

4.4 Heatmaps

Die Farbkodierung der Heatmaps unterscheidet sich, durch die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Gewichtungen, von der in der Tabelle 5 ersichtlichen Kodierung. Alle ersichtlichen Punkte stehen für Risiken, welche gemäss Risikoanalyse eine Einteilung von ASIL-A bis ASIL-D erhalten haben. Grün steht also für ein kleines Risiko und entsprechend steht rot für das höchste Risiko auf der Karte. Die Farben wurden so angepasst, dass das grösste Risiko auf einer Karte rot ist.

4.4.1 Fussgänger

Im oberen Teil der Strecke (vgl. Abbildung 12) gibt es nur wenige Gefahrenpunkte für Fussgänger. Nur bei Kurven können, durch eine fehlerhafte Steuerung, Gefahren entstehen. Die Fussgängerdichte spielt ebenfalls eine Rolle (vgl. Tabelle 7). Die Fälle, welche hier einberechnet sind, sind nicht in Abschnitt 4.3.1 beschrieben, da sie eine zu tiefe Einteilung erhalten haben.



Abbildung 12: Heatmap Fussgänger – 30-Zone

In der Fussgängerzone (vgl. Abbildung 13) entsteht eine viel höhere Dichte an Punkten. Diverse in Abschnitt 4.3.1 beschriebene Fälle werden hier einberechnet.



Abbildung 13: Heatmap Fussgänger – Fussgängerzone

In Bereich 1 sieht man den auffälligsten Teil der Karte. An diesem Punkt befindet sich ein Aussichtspunkt (vgl. Abbildung 11) mit hoher Fussgängerdichte. Durch ASIL-B von Fall 1.1.1 (vgl. 4.3.1.1) und die Einberechnung der hohen Fussgängerdichte entsteht die grösste Gefahr.

Bei Bereich 2 befindet sich der Aufzug, weshalb die Dichte an Fussgängern steigt. Diese zieht sich dann durch die gesamte Fussgängerzone.

Bei Bereich 3 befindet sich eine Haltestelle, welche zugleich auch als alternativer Wendepunkt dient. Es wird damit gerechnet, dass der autonome Bus Aufsehen erregt, weshalb die Fussgängerdichte hier etwas höher sein könnte. Eine leicht höhere Dichte an Punkten ist auch in Bereich 4 festzustellen. Hier befinden sich ein Restaurant und ein Kiosk, weshalb die Fussgängerdichte etwas höher sein kann. Bei Bereich 5 entsteht die gleiche Situation wie bei Bereich 3. Es ist eine Haltestelle und gleichzeitig ein Wendepunkt.

4.4.2 Verkehr

Die Karte betreffend Verkehr (vgl. Abbildung 14) ist auf die Tempo-30-Zone begrenzt. Da der Bus die doppelseitige Strasse in beide Richtungen befährt und zusätzlich eine Frontalkollision (vgl. Fall 3.2.9) möglich ist, fällt dieser Teil auf. Auf der gesamten Strecke besteht durch die Fälle 1.1.6 und 2.2.5 die Gefahr eines Auffahrunfalls.



Abbildung 14: Heatmap Verkehr

4.4.3 Insassen



Abbildung 16: Heatmap Insassen – 30-Zone

Die Tempo-30-Zone sieht sehr ähnlich aus wie jene der Heatmap betreffend Verkehr. Grund dafür ist, dass die potentiellen Unfälle mit anderen Fahrzeugen auch den Insassen des autonomen Busses schaden könnten. Zum Beispiel erleiden die Insassen bei einer Frontalkollision (vgl. Fall 3.2.11) einen Schlag. Die wechselseitig befahrene Strasse fällt auf, da der Bus in beide Richtungen fährt.

In Bereich 1 (vgl. Abbildung 15) steht wiederum der Aussichtspunkt heraus. Fall 1.1.2 beschreibt das Risiko von zu geringer Bremskraft bei der Bergabfahrt. Dadurch kann es zu einer Kollision mit Personen oder Infrastruktur kommen. Letzteres könnte zu Verletzungen für die Insassen führen. Auf der gesamten Strecke muss einberechnet werden, dass sich eine Kollision mit der Infrastruktur auf die Insassen auswirken kann, was sich durch eine hohe Dichte an Punkten auf der Karte widerspiegelt. Dabei ist die Dichte in den Kurven etwas höher. Die in Abschnitt 4.3.1 beschriebenen Fälle 3.1.2, 3.1.4, 3.2.2, 3.2.4 und 3.2.6 sind in dieser Karte einberechnet.



Abbildung 15: Heatmap Insassen – Fussgängerzone

5 Diskussion und Ausblick

In dieser Arbeit wurde eine Risikoanalyse anhand des Standards ISO-26262 am Beispiel des autonomen Busses "Trapizio" durchgeführt. Diese Analyse betrachtet die aktuelle Maximalgeschwindigkeit des Fahrzeuges und die vorgegebene Strecke. Auf Karten wurden die identifizierten Risiken visualisiert und kritische Punkte speziell betrachtet.

Es zeigt sich, dass der Einsatz des Fahrzeugs an verschiedenen Streckenstellen Risiken mit sich bringt, für die jeweils eine notwendige Massnahme zur Risikoreduktion gegeben sein sollte. Dies könnte zum Beispiel durch die Sensorik und die Funktion des Fahrzeugs gewährleistet werden, das zum Beispiel Hindernisse erkennt und dann stoppt oder durch Leitplanken, die ein Abstürzen des Fahrzeugs verhindern. Diese Massnahmen müssten für die jeweiligen Streckenabschnitte und die damit verbundenen Risiken festgelegt werden.

Beim Projektstart war die Erwartung, dass am Ende klar ist, wo die kritischen Stellen sind und wie die Risiken vermindert werden können. Der Unterschied zwischen Erwartung und dem tatsächlichen Ergebnis lässt sich darauf zurückführen, dass der Zeitaufwand für eine Risikoanalyse viel grösser ist als erwartet.

Es muss beachtet werden, dass die vorliegende Arbeit nur auf die Strecke dieses Projekts zugeschnitten ist. Eine vollständige Risikoanalyse, welche jede mögliche Situation oder auch Fahrten mit zum Beispiel höherer Geschwindigkeit behandelt, würde den Rahmen dieser Projektarbeit sprengen.

In einem nächsten Schritt muss das Fahrzeug und sein System genauer betrachtet werden. Es muss bestimmt werden wo im System potentielle Fehlerquellen sind. Eine FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) könnte ein weiterer Schritt sein. In einer solchen FMEA werden die Fehler, deren Ursachen und Folgen, sowie mögliche Massnahmen ersichtlich. Zusätzlich werden die Risiken bewertet und es wird ersichtlich wie gross die Gefahren sind.

Eine erweiterte Betrachtung könnte dahingehend folgen, wie das Zusammenspiel mehrerer solcher autonomer Fahrzeuge aussehen kann. Dafür würde sich zum Beispiel die Analysemethode STPA (System Theoretic Process Analysis) eignen, die am MIT (Massachusetts Institute of Technology) entwickelt wurde für die Betrachtung komplexer und vernetzter Systeme.

6 Verzeichnisse

6.1 Literaturverzeichnis

- [1] NAVYA, „Autonom Cab,“ NAVYA, 2017. [Online]. Available: <http://navya.tech/en/autonom-en/autonom-cab/>. [Zugriff am 22 November 2017]
- [2] PostAuto Schweiz AG, „Projekt Smartshuttle,“ PostAuto Schweiz AG, [Online]. Available: <https://www.postauto.ch/de/projekt-%C2%ABsmartshuttle%C2%BB>. [Zugriff am 16 November 2017].
- [3] Schweizerische Depeschagentur, „Postauto unterbricht Test nach Unfall,“ Neue Zürcher Zeitung, 22 November 2016. [Online]. Available: <https://www.nzz.ch/schweiz/selbstfahrender-minibus-postauto-unterbricht-test-nach-unfall-ld.118212>. [Zugriff am 16 November 2017].
- [4] T. Sperllich, „Schweiz: Autonome Postbus nimmt Testbetrieb wieder auf,“ Heise online, 06 Oktober 2016. [Online]. Available: <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Schweiz-Autonomer-Postbus-nimmt-Testbetrieb-wieder-auf-3342413.html>. [Zugriff am 16 November 2017].
- [5] Duden, „Risiko Rechtschreibung,“ Duden, [Online]. Available: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Risiko>. [Zugriff am 07 Dezember 2017].
- [6] J. Lark, ISO 31000 Risk management, Schweiz: ISO copyright office, 2015.
- [7] H.-L. Ross, Funktionale Sicherheit im Automobil, Deutschland: Carl Hanser Verlag München Wien, 2014.
- [8] Wikipedia, „Abbreviated Injury Scale,“ [Online]. Available: https://de.wikipedia.org/wiki/Abbreviated_Injury_Scale. [Zugriff am 09 November 2017].
- [9] O. Cameron, „An Introduction to LIDAR: The Key Self-Driving Car Sensor,“ Voyage, 09 Mai 2017. [Online]. Available: <https://news.voyage.auto/an-introduction-to-lidar-the-key-self-driving-car-sensor-a7e405590cff>. [Zugriff am 15 Dezember 2017].
- [10] NAVYA, „Autonom Shuttle,“ NAVYA, [Online]. Available: <http://navya.tech/en/autonom-en/autonom-shuttle/>. [Zugriff am 15 Dezember 2017].
- [11] OXTS, „Why it is necessary to integrate an inertial measurement unit with imaging systems on an autonomous vehicle,“ OXTS, 23 Februar 2016. [Online]. Available: <http://www.oxts.com/technical-notes/why-it-is-necessary-to-integrate-an-inertial-measurement-unit-with-imaging-systems-on-an-autonomous-vehicle/>. [Zugriff am 15 Dezember 2017].
- [12] NAVYA, „System,“ NAVYA, [Online]. Available: <http://navya.tech/en/intelligence-en/system/>. [Zugriff am 15 Dezember 2017].
- [13] AMoTech, „Trapizio besteht Inspektion auf dem Weg zur Strassenzulassung,“ AMoTech, 20 November 2017. [Online]. Available: <https://www.amotech.ch/de/blog/text/trapizio-erhaelt-seine-strassenzulassung>. [Zugriff am 15 Dezember 2017].

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Trapizio [13]	9
Abbildung 2: grobe Struktur des Fahrzeugs	10
Abbildung 3: Karte – Strecke in Tempo-30-Zone	11
Abbildung 5: Karte – Teil 1 Strecke in Fussgängerzone.....	12
Abbildung 4: Foto – Aufzug	12
Abbildung 6: Karte – Teil 2 Strecke in Fussgängerzone.....	13
Abbildung 7: Foto - Fussgängerzone mit Restaurant	13
Abbildung 8: Format Referenznummern	13
Abbildung 9: Karte – Gefälle mit Aussichtspunkt.....	14
Abbildung 10: Foto – Gefälle	14
Abbildung 11: Foto - Aussichtspunkt	15
Abbildung 12: Heatmap Fussgänger – 30-Zone	20
Abbildung 13: Heatmap Fussgänger – Fussgängerzone.....	20
Abbildung 14: Heatmap Verkehr.....	21
Abbildung 16: Heatmap Insassen – Fussgängerzone	22
Abbildung 15: Heatmap Insassen – 30-Zone.....	22

6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schadensausmass	6
Tabelle 2: Abbreviated Injury Scale	6
Tabelle 3: Eintrittswahrscheinlichkeit	6
Tabelle 4: Kontrollierbarkeit.....	7
Tabelle 5: Automotive Safety Integrity Level (ASIL)	7
Tabelle 6: Gewichtungen ASIL.....	7
Tabelle 7: Gewichtungen Fussgängerdichte.....	7
Tabelle 8: Fall 1.1.1.....	14
Tabelle 9: Fall 1.1.2.....	15
Tabelle 10: Fall 1.1.6.....	16
Tabelle 11: Fall 2.2.5.....	16
Tabelle 12: Fall 3.1.2.....	17
Tabelle 13: Fall 3.1.4.....	17
Tabelle 14: Fall 3.2.2.....	18
Tabelle 15: Fall 3.2.4.....	18
Tabelle 16: Fall 3.2.6.....	18
Tabelle 17: Fall 3.2.9.....	19
Tabelle 18: Fall 3.2.11.....	19