

BUNDESGYMNASIUM UND BUNDESREALGYMNASIUM
2500 Baden, Frauengasse 3 – 5, Tel.: 02252/44403, Fax: + Kl. 32
E-Mail: bg.baden-frauen@noeschule.at



Selbstfahrende Autos - Sicherheit der implementierten Programme bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Vorwissenschaftliche Arbeit

2019/2020

Verfasser: Martin Paul Patscheider 8C

Betreuer: Mag. Stefan Hagmann

Abstract

Selbstfahrende Autos sind ein Teil unserer Zukunft. Ein solches Fahrzeug sicherer als einen menschlichen Fahrer zu machen, ist nicht schwierig. Die Sicherheitstechnik, die teilweise schon heute in viele Autos eingebaut wird, ist das Hauptthema dieser Arbeit. Kameras, Ultraschall, Radar und Lidar sind die meist verwendeten Sensoren. Jedoch wird in der Industrie und Forschung die Verwendung von Lidar-Technologie noch diskutiert. Warum ich gegen deren Verwendung bin, erläutere ich im Verlauf der VWA. Unfälle mit selbstfahrenden Autos sind oft in den Medien. Drei Unfälle werden am Ende der Arbeit genauer beschrieben und es wird erklärt, was die Ursachen außerhalb der menschlichen Komponente waren. Sicherheit ist nicht nur bei PKWs ein Thema, sondern schon länger in der Luftfahrtindustrie. Welche Techniken dort angewendet und auch bald in autonomen Autos zu finden sein werden, wird in Kapitel 6 erläutert. Mit Hilfe von Skizzen und Rechenbeispielen werden Techniken und Standpunkte dargestellt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Grundinformationen	2
2.1	Die 5 Stufen des autonomen Fahrens	2
2.1.1	Level 0: Keine Automatisierung	2
2.1.2	Level 1: Assistiertes Fahren	2
2.1.3	Level 2: Teilautomatisiertes Fahren	2
2.1.4	Level 3: Hochautomatisiertes Fahren	2
2.1.5	Level 4: Vollautomatisiertes Fahren.....	3
2.1.6	Level 5: Autonomes Fahren.....	3
2.2	Welche Funktionalitäten sind in den heutigen Autos bereits vorhanden?	3
3	Sensoren.....	4
3.1	Kameras	4
3.2	Ultraschall.....	4
3.3	Radar.....	6
3.4	Lidar	7
4	Sicherheit.....	11
4.1	Motivation	11
4.2	Der „Sichere Zustand“	11
4.2.1	Sicherer Zustand in Bezug auf die Situation.....	12
4.2.1.1	Halten/Parken.....	12
4.2.1.2	Komfort.....	12
4.3	Redundanz	13
4.3.1	X-by-Wire.....	13
4.4	Unfallanalyse	13
4.4.1	Unfalldatensammlung.....	13
4.4.1.1	Öffentliche Datensammlung.....	14
4.4.1.2	In-Depth-Erhebungen	14
4.4.1.3	Wirkgrad, Effektivfeld und Wirkfeld	14
4.4.1.4	A-priori-Prognosen von Unfalldaten	17
4.4.2	Drei Unfallanalysen mit selbstfahrenden Autos	17
4.4.2.1	Tesla Model S und weißer Sattelschlepper	17
4.4.2.2	Tesla Model 3 und weißer Sattelschlepper	18
4.4.2.3	Selbstfahrender Uber-Unfall	19

5	Neue Mobilitätskonzepte.....	21
5.1	Car-Sharing	21
5.2	One-Way Carsharing.....	21
5.3	Peer-to-Peer Carsharing	21
5.4	Car as a service	21
6	Weitere Einsatzgebiete	22
6.1	Schienenfahrzeuge	22
6.2	Boing 777-Passagierflugzeug	22
7	Fazit	24
8	Literaturverzeichnis.....	25
9	Abbildungsverzeichnis.....	26

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit hat die Sicherheitstechnik selbstfahrender Autos zum Thema.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Sicherheitssysteme und Konzepte behandelt, welche angewandt werden, um Fahrzeuge im öffentlichen Raum maximal sicher zu gestalten, ohne das Straßenbild, die Gesetzmäßigkeiten oder das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmerinnen bzw. Verkehrsteilnehmer zu verändern. Durch den aktuellen Stand der Technik ist es statistisch gesehen bereits möglich, dass autonome Autos sicherer als menschliche Fahrerinnen und Fahrer unterwegs sind.

Das Hauptmotiv dieser Arbeit ist die Sicherheit von selbstfahrenden Autos. Um diese von Fahrzeugen vergleichen zu können, werde die in der Literatur am meisten verwendeten fünf Stufen des autonomen Fahrens erklärt. Verschiedene Sensortechniken, wie Kameras, Ultraschall, Radar und Lidar bilden die Grundlage der Sicherheitssysteme, deren Funktionsweisen, Vor- und Nachteile im Folgenden beschrieben werden. Wesentlich sind die Sicherheitskonzepte, wie der „Sichere Zustand“ und die Redundanz, diese werden erklärt und deren Funktionsweisen anhand von Beispielen dargestellt.

Da auch die besten Systeme immer noch weiterentwickelt werden, ist es wichtig, Unfälle zu analysieren. Dabei wird in drei Beispielen beschrieben, wie es zu den Unfällen kam und welche Komponenten, außerhalb der menschlichen, versagt haben. Diese Unfälle wurden von drei verschiedenen, selbstfahrenden Autos in unterschiedlichen Entwicklungsstadien verursacht.

Da die Sicherheit der autonomen Autos im Straßenverkehr sehr wichtig ist, stellt sich die Frage, mit welchen Komponenten Fahrzeuge künftig ausgestattet werden sollen, um diese sicher gestalten zu können. Im Speziellen wird zurzeit in der Forschung und Industrie die Verwendung von Lidar-Sensoren getestet. Während einige bedeutende Unternehmen die Einführung dieser Technologie aktiv vorantreiben, stellt der Marktführer Tesla ausschließlich Autos her, welche ohne diese Sensoren ausgestattet sind. Welche Technologien sich durchsetzen, wird sich in einigen Jahren zeigen. Meine Prognosen hiezu erläutere ich im Laufe dieser Arbeit.

Zum Abschluss wird ein kurzer Überblick über neue Mobilitätskonzepte gegeben sowie Beispiele für Einsatzgebiete ähnlicher Sicherheitsvorkehrungen genannt, welche seit längerem in Verwendung sind und sich bewährt haben.

Sowohl Fachbücher als auch technische Artikel bilden die Basis dieser Arbeit. Rechenbeispiele und Skizzen werden zur Beschreibung der Technologien herangezogen. Bei den Unfallsanalysen werden Daten sowie Artikel, unter anderem von Herstellern ausgewertete, verwendet. Fachbegriffe und Akronyme werden bei erster Nennung in Klammer übersetzt und erklärt.

2 Grundinformationen

2.1 Die 5 Stufen des autonomen Fahrens

Um Autos beziehungsweise deren Systeme zur Automatisierung miteinander vergleichen zu können, hat man sich darauf geeinigt, die Autos nach dem internationalen SAE-Standard (Society of Automotive Engineers) einzuordnen. Diese gliedert die automatisierten Autos in 5 Stufen oder auf Englisch *Five levels of Autonomy*, vom Level 1: Assistierte Fahren bis zu Level 5: Autonomes Fahren. Level 0 ist keine Automatisierung. Somit lassen sich die Autopilot-Systeme vergleichen. (vgl. Bundesministerium für Verkehr, 2019) Diese Skala nimmt nicht Rücksicht darauf, welche Technologien, Sensorsysteme und Programmierweisen verwendet werden.

2.1.1 Level 0: Keine Automatisierung

Der Fahrer oder die Fahrerin lenkt das Auto selbst. (vgl. Bundesministerium für Verkehr, 2019)

2.1.2 Level 1: Assistierte Fahren

Der Fahrer oder die Fahrerin lenkt das Auto. Es gibt jedoch einzelne Assistenzsysteme, die das Längs- oder Querführen übernehmen, die noch von Menschen überwacht werden. Ein Beispiel dafür sind Einparkhilfen. (vgl. Bundesministerium für Verkehr, 2019)

2.1.3 Level 2: Teilautomatisiertes Fahren

Das Fahrzeug übernimmt die Längs- und Querführung und der Mensch muss gegebenenfalls selbstständig eingreifen. Ein Beispiel dafür sind Stauassistenten. (vgl. Bundesministerium für Verkehr, 2019)

2.1.4 Level 3: Hochautomatisiertes Fahren

Das Fahrzeug kann dauerhaft die Steuerung übernehmen und das System erkennt, wenn der Mensch eingreifen muss. Ein Beispiel dafür ist automatisiertes Fahren auf einer Autobahn. (vgl. Bundesministerium für Verkehr, 2019)

2.1.5 Level 4: Vollautomatisiertes Fahren

Das Fahrzeug übernimmt in allen Fällen dauerhaft die Steuerung, ohne dass ein Fahrer notwendig ist. Ein Beispiel dafür ist das automatisierte Fahren in der Stadt. (vgl. Bundesministerium für Verkehr, 2019)

2.1.6 Level 5: Autonomes Fahren

Das Fahrzeug bewegt sich ohne Einflussnahme von Menschen zielgerichtet von A nach B unter allen Bedingungen. (vgl. Bundesministerium für Verkehr, 2019)

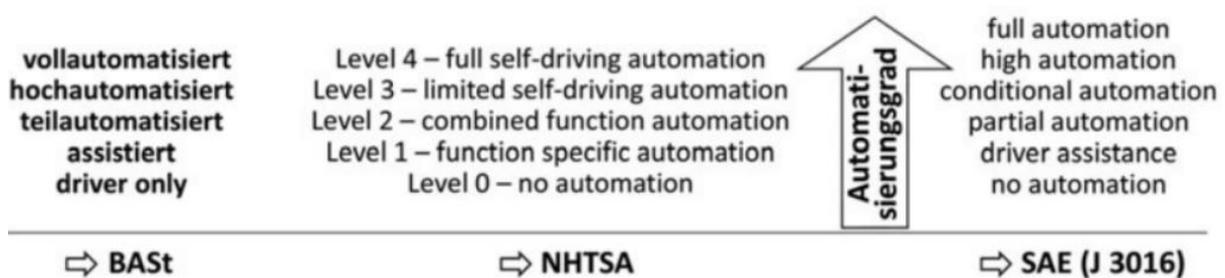


Abb. 1 Kategorien der Automatisierung nach BAST/NHTSA/SAE (Maurer, et al., 2015, s. 304)

2.2 Welche Funktionalitäten sind in den heutigen Autos bereits vorhanden?

Die meisten neuen Autos verfügen seit 2017 über folgende Funktionen: „AutobahnpiLOT, automatisiertes Einparken (Schlüsselparken), Spurhalteassistent, adaptiver Tempomat und Notbremsassistent“ (Bundesministerium für Verkehr, 2019). Das Rollout weiterer Funktionen ist laut BMVIT zunächst für das Premiumsegment geplant. (vgl. Bundesministerium für Verkehr, 2019) Hingegen baut die Automarke Tesla in alle neuen Fahrzeuge sämtliche Sensoren und Systeme ein, welche das Fahrzeug voraussichtlich zum Selbstfahren brauchen wird. Dadurch können neue Funktionen durch teils kostenpflichtige Updates hinzugefügt werden. (vgl. Tesla, 2016)

„We are excited to announce that, as of today, all Tesla vehicles produced in our factory – including Model 3 – will have the hardware needed for full self-driving capability at a safety level substantially greater than that of a human driver. Eight surround cameras provide 360 degree visibility around the car at up to 250 meters of range. Twelve updated ultrasonic sensors complement this vision, allowing for detection of both hard and soft objects at nearly twice the distance of the prior system. A forward-facing radar with enhanced processing provides additional data about the world on a redundant wavelength, capable of seeing through heavy rain, fog, dust and even the car ahead.“ (Tesla, 2016)

3 Sensoren

Damit ein Auto seine Umgebung wahrnehmen kann, sind Sensoren notwendig, welche den Sinnen der Menschen ähnlich sind. Dabei setzen diverse Automarken auf verschiedene Kombinationen von Sensorarten. Für Testautos oder Konzeptautos wird meistens alles eingebaut, das zu dem jeweiligen Zeitpunkt technisch verfügbar ist. Bei der Serienproduktion von Autos wird aus Kostengründen oft die minimal notwendige Sensorik verbaut.

Die Autohersteller wollen bei den Testautos herausfinden, welche Kombinationen von Sensoren gut funktionieren und welche Sensoren verbessert oder vermehrt eingesetzt werden sollen.

3.1 Kameras

Kameras werden seit langem in Serienautos eingebaut. Das Straßennetz ist so konzipiert, dass ein Mensch mit zwei Augen dieses ohne Probleme sowohl bei Tag als auch bei Nacht gut befahren kann. Weiters hat jedes Auto Lichter, welche bei Dunkelheit ein genügend großes Sichtfeld bereitstellen. Selbst wenn künftig Autos ohne Licht mit anderen Technologien autonom fahren könnten, würden sie dies nicht tun, da es für alle anderen Verkehrsteilnehmer zu gefährlich wäre, wenn ein Fahrzeug im Dunkeln ohne Licht fahren würde. Wenn ein Mensch mit zwei Augen sicher Auto fahren kann, wird das ein Computer mit sechs Kameras vermutlich künftig auch können. (vgl. Winner, 2015)

Ein Kamera-System wird heute meistens als Einparkhilfe verwendet. Darauf basierende Einpark-Systeme reichen von einer einfachen Rückfahrkamera bis zu einem Live-Bild aus der Vogelperspektive. Bei BMW heißt dieses System *Surround View* und bei Volkswagen *Area View*. (vgl. Nica, 2019), (vgl. VW, 2019)

3.2 Ultraschall

Ultraschall Sensoren sind heutzutage in vielen Autos eingebaut. Wenn diese im Auto nicht vorhanden sind, können sie kostengünstig mit Bausätzen nachgerüstet werden. Ultraschall Sensoren sind auch als Parkhilfe bekannt. Meist sind diese sowohl vorne und hinten als auch an den Ecken in der Stoßstange angebracht. Unterschieden wird zwischen 2-, 4- und 6-Kanal-Systemen. Das bedeutet, dass pro Stoßdämpfer zwei, vier oder sechs Sensoren eingebaut sind. Die Abdeckungen sind zwar meistens wie die Stoßstange lackiert, sind jedoch an den kreisförmigen Umrissen zu erkennen. (vgl. Winner, 2015)

Diese Sensoren sind sehr genau, messen aber nur auf eine Distanz von wenigen Metern. Sie schicken Impulse von Schallwellen aus, die an festen Objekten reflektieren. Das System misst die Zeit, welche die reflektierte Welle braucht, um zurückzukehren und kann so die Entfernung auf wenige Zentimeter genau bestimmen. (vgl. Winner, 2015)

Für Autofahrerinnen und Autofahrer werden die Informationen der Sensoren beim Ein- oder Ausparken auditiv oder visuell dargestellt: Auditiv durch schneller werdende Warntöne, welche aus jener Richtung kommen, in der sich ein Hindernis befindet. Visuell durch eine Grafik, welche die optische Annäherung an Hindernisse anzeigt. (vgl. Winner, 2015)

Neue Systeme können bis zu einer Geschwindigkeit von 20 km/h die Entfernung zum Vorfahrenden messen. So können sie zum Abstand halten und zum Vermeiden von Auffahrunfällen verwendet werden. (vgl. Winner, 2015)

Da Ultraschallsensoren bis zu einem Abstand von wenigen Metern genau messen, werden sie auch dazu eingesetzt, dass sie bei einem Zusammenstoß bestimmen, welche Airbags ausgelöst werden sollen. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

Beispiel:

In dem folgenden Beispiel wird angenommen, dass die Schallgeschwindigkeit 350 m/s beträgt. Bei trockener Luft und einer Temperatur von 20 °C beträgt diese 343,2 m/s (wir rechnen der Einfachheit halber mit 350 m/s). Ein Objekt befindet sich eine gewisse Länge x von dem Ultraschallsensor entfernt. Die Zeitspanne, die zwischen dem Emittieren der Schallwelle und dem Ankommen der Reflektion der Schallwelle vergeht, beträgt 0,005 Sekunden. Mit der ungenormten Geschwindigkeitsgleichung $v = \frac{s}{t}$ wobei v die Geschwindigkeit, s den Weg und t die Zeit angibt, können wir uns die doppelte Distanz zwischen Objekt und Sensor ausrechnen.

$$v * t = s$$

$$350 [m/s] * 0,005 [s] = s$$

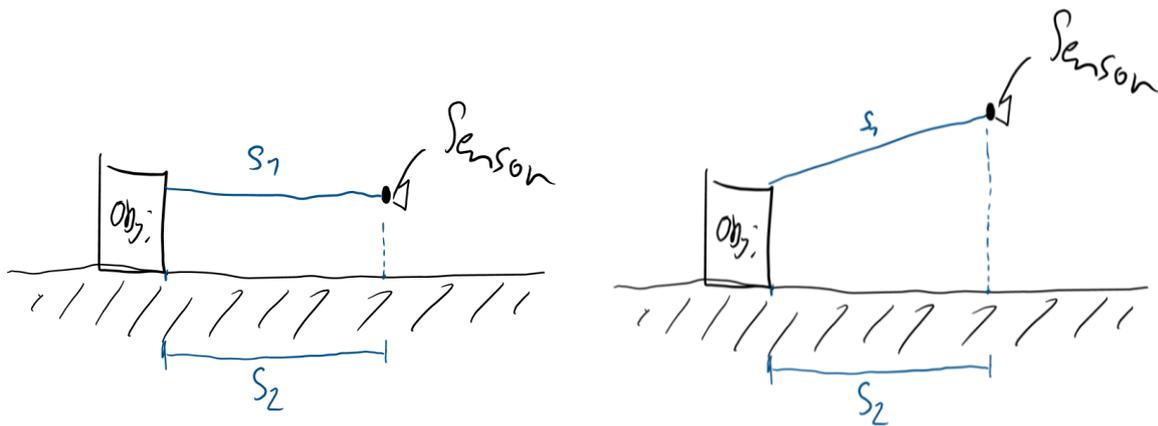
$$s = 1,75 [m]$$

Da sich in der Zeit t die Schallwelle von dem Sensor zu dem Objekt und wieder zurückbewegt hat, müssen wir das Ergebnis noch durch 2 rechnen, um die Distanz zwischen Sensor und Objekt zu erhalten.

$$\frac{1,75}{2} = 0,875 [m]$$

Dadurch kommen wir auf ein Ergebnis von 87,5 cm und errechnen, dass das Objekt 87,5 cm entfernt liegt.

Das Ergebnis zeigt uns die Distanz zwischen Sensor und Objekt im dreidimensionalen Raum. Wenn Sensor und Objekt auf verschiedenen Höhen sind, entspricht das Ergebnis nicht mehr der Distanz, welche von der Vogelperspektive aus am Boden gemessen werden würde.



In der linken Skizze entspricht die Distanz zwischen Sensor und Objekt jener Distanz, welche man auf dem Boden misst: $s_1 \triangleq s_2$. In der rechten Skizze ist die Distanz zwischen Sensor und Objekt größer als die Distanz, welche man auf dem Boden messen würde: $s_1 \neq s_2$.

3.3 Radar

Das Akronym RADAR (eingedeutscht Radar) kommt aus dem Englischen und steht für „Radio, Direction And Range“, ins Deutsche übersetzt bedeutet es „Radio, Richtung und Distanz“. Genau genommen misst es nur Winkel und Distanzen. (vgl. Pionier, 1949)

Im Vergleich zum Ultraschall ist es wetterrobuster und kann den Dopplereffekt verwenden, um relative Geschwindigkeiten mit einer Messung zu erfassen. (vgl. Winner, 2015)

Radar basiert auf elektromagnetischen Wellen. Es kann zur Entfernungsmessung und durch mehrfache Messungen zur Bestimmung der relativen Geschwindigkeit von Objekten verwendet werden.

Radar-Sensoren können entweder mit oder ohne Abdeckung der Antennen verbaut werden. Eine optische Abdeckung ist designfreundlicher, da diese sowohl an die Form als auch an die Farbe des Autos angepasst werden kann, jedoch kommt ohne Abdeckung das „Statussymbol Radar“ besser zur Geltung. „Wichtig ist für die Abdeckung, auch Radom genannt, dass die Radarstrahlen nur wenig abgeschwächt werden und dass die Winkelcharakteristik zu keiner unerwarteten Änderung führt.“ (Winner, 2015) Dabei stellen Kunststoffe als Abdeckung kein Problem dar, solange die Dicke des Materials nicht ein Vielfaches der Hälfte der Wellenlänge beträgt. Bei 77 GHz wären das zum Beispiel 2 mm. Metallischer Lack und mehrfaches Nachlackieren stellen dagegen wiederum ein Problem dar. Radarsensoren können hinter metallischen Verdeckungen eingebaut werden, solange die Materialdicke kleiner als die Eindringtiefe ist. (vgl. Winner, 2015)

Radar-Systeme können auch als Einparkhilfen verwendet werden. Diese funktionieren anders als Ultraschall, nicht mit Schallwellen, sondern mit Radiowellen im Millimeterbereich. Dadurch sind die Sensoren nicht mehr sichtbar im Stoßdämpfer, sondern können dahinter eingebaut werden. Der Grund dafür ist, dass die Wellen mit einer Wellenlänge im Millimeterbereich durch das Material hindurchmessen können. (vgl. Winner, 2015)

3.4 Lidar

Lidar ist die Abkürzung für „*Light detection and ranging*“ (Fluhr, 2012) und in seinem Konzept dem Radar sehr ähnlich. Der Unterschied besteht darin, dass Lidar, wie der Name schon andeutet, eine Technologie ist, welche mit unsichtbarem Licht funktioniert. Es handelt sich dabei um Laserstrahlen, während Radar auf elektromagnetischen Wellen basiert. Der Unterschied zum Radar liegt darin, dass das Lidar-System ein größeres Spektrum an Licht verwendet. Lidar muss im Vergleich zum Radar nicht mit mehreren Messungen rechnen, um die Geschwindigkeit von Objekten in Bezug auf sich zu bestimmen. „Es kann die Spektralfarben des zurückgeworfenen Lichts verwenden und dadurch Rückschlüsse auf Bewegung und Distanz schließen.“ (vgl. Fluhr, 2012)

Lidar-Systeme sind groß, sperrig und teuer. Aus diesem Grund verwendet die Automarke Tesla kein Lidar, sondern Kameras und Radar. Die Entwicklerinnen und Entwickler von Tesla sind der Überzeugung, dass die beste Methode für das autonome Fahren durch die Konzentration auf zwei Sensortypen kombiniert mit einer Steuereinheit zu erreichen ist.



Abb. 2 Kristoffer Tripplaar/Almy, Inhalt: autonomes Google Waymo Auto mit gut erkennbarem Lidar-Sensor auf dem Dach und Radar-Sensoren vorne in der Mitte und auf der Seite über dem Vorderrad

Wie auf dem Bild zu erkennen ist, besteht ein Lidar-Sensor aus einer schnell rotierenden Kuppel auf dem Dach des Fahrzeuges. Dadurch werden eine Reihe von Sensoren, die bei einer Umdrehung in alle Richtungen messen, in der Kuppel auf der vertikalen Achse benötigt. Da sich die Kuppel mit vielen Umdrehungen pro Sekunde dreht, entsteht ein detailliertes Bild des Umfeldes.

Die Scanfrequenz des Lidar-Sensors beschreibt wie oft sich das Bild in einer Sekunde erneuert. Eine höhere Frequenz kann man mit mehreren Sende- und Empfangsmodulen in der Kuppel erreichen. Hat man (wie zum Beispiel beim LMS1000) vier Sende-Empfangs-Module, die durch kreuzförmige Anordnung einen Phasenabstand von 90 Grad zueinander haben, bekommt man bei jeder Umdrehung der Kuppel vier neue Bilder. (vgl. Weber, 2018) „Dreht der Motor mit 50 Hz (20 ms pro volle Umdrehung), so wird jetzt jeder 90-Grad-Sektor in $\frac{1}{4}$ der 20 ms

überstrichen. Die komplette 360-Grad-Umdrehung ist durch vier Module, die jeweils 90 Grad überstreichen müssen, abgedeckt. Das heißt, die 360-Grad-Sichtbereiche werden in 5 ms überstrichen oder anders ausgedrückt: Der Sensor arbeitet mit einer 200-Hz-Abtastrate.“ (Weber, 2018)



Abb. 3 ein Schnappschuss, wie ein Lidar-System die Umwelt auf dem Dach eines Autos wahrnimmt.

Auf dem obigen Bild ist gut der Nachteil des Lidar-Systems zu erkennen: der tote Winkel. Dadurch, dass das Lidar-System auf dem Dach des Autos montiert werden muss, hat es einen großen Bereich direkt um das Auto herum, in dem es nichts wahrnehmen kann. Deswegen werden Lidar-Systeme stets mit Radar-Systemen kombiniert, um ein vollständiges Bild zu generieren, wie in der folgenden Graphik dargestellt:

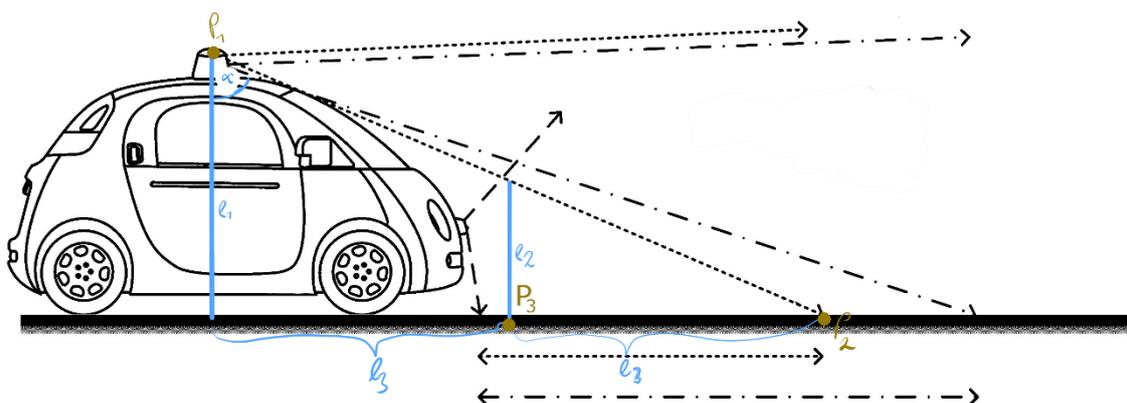


Abb. 4 Alphabet's erstes Prototyp Auto, bearbeitet

In der Abb. 4 kann man zwischen dem Boden und der Linie, die P_1 und P_2 verbindet, den toten Winkel erkennen. In diesem Bereich kann der Sensor nicht messen, da er keinen direkten Sichtkontakt hat. Der Winkel α beschreibt den Winkel von der vertikalen Achse aus, in dem der Sensor keine relevanten Informationen messen kann, da der Rumpf des Autos im Weg ist.

Beispiel:

Wir nehmen an, dass sich der Sensor des in Abb. 4 abgebildeten Autos auf einer Höhe von 180 cm befindet ($l_1 = 180$ cm). Der Winkel α beträgt 65° . Ein Kind mit einer Körpergröße von 75 cm läuft in der Entfernung von l_3 und in dem Punkt P_3 vor das Auto. Kann das Kind von dem Lidar-Sensor wahrgenommen werden?

Um die Länge l_3 auszurechnen, wird der Tangentialsatz angewendet. Damit lässt sich mithilfe des Strahlensatzes die Höhe von l_2 berechnen.

$$\tan \alpha * l_1 = l_3 * 2$$

$$l_3 = 193,01 \text{ [cm]}$$

$$\frac{l_1}{l_3 * 2} = \frac{l_2}{l_3}$$

$$l_2 = 90 \text{ [cm]}$$

Ergebnis:

Die Höhe l_2 des „toten Winkels“ in dem Punkt P_3 beträgt 90 cm.

Da das Kind kleiner als die Höhe des toten Winkels in dem Punkt P_3 ist, würde der Sensor das Kind nicht wahrnehmen. In der Realität würde der Sensor wahrscheinlich das Kind, während es auf das Auto zuläuft, registrieren. Das muss aber nicht der Fall sein. Denn wenn das Kind, zum Beispiel an der Kreuzung, zu nahe an einem hohen Fahrzeug vorbeigeht und sich im toten Winkel befindet, wird es vom Lidar-Sensor nicht erfasst werden können.

Kamera



LiDAR

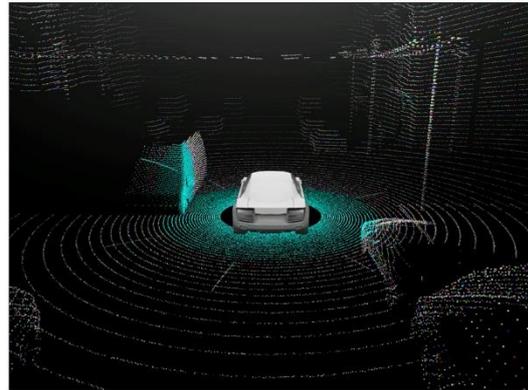


Abb. 5 Tesla, Tesla Autonomy Day, YouTube, 22. 04. 2019, <https://youtu.be/Ucp0TTmvqOE>, zugegriffen: 29. 08. 2019, in: 2:16:59, bearbeitet

Obwohl in der oberen rechten Graphik der tote Winkel falsch dargestellt ist (der tote Winkel sollte um einiges größer sein, da sich das Auto zur Gänze darin befinden müsste), kann man erkennen, dass ein Lidar-System alleine nicht ausreichend ist.

*„Anyone relying on lidar is doomed. Doomed! They are expensive sensors that are unnecessary. It's like having a whole bunch of expensive appendices. Like one appendix is bad, well now you have a whole bunch of them, it's ridiculous, you'll see.”
(Elon Musk, Elon Musk, 2019)*

4 Sicherheit

4.1 Motivation

Die Sicherheit ist, wie bei jedem Transportmittel, ein wichtiger Punkt.

„Im Sinne der fortschreitenden Automatisierung bieten Automobilhersteller bereits seit der Jahrtausendwende aktiv lenkende Assistenzsysteme (Active Lane Keeping Assistance Systems – LKAS) in Kombination mit einem Abstandsregeltempomaten für Serienfahrzeuge an. [...] Bei der Nutzung beider Assistenten war ein kurzzeitiges teilautomatisiertes Fahren [...] bis zu 20 Sekunden unter Aufsicht des Fahrers möglich [...]. [...] Die Chancen für mehr Verkehrssicherheit steigen durch eine zunehmende Automatisierung von Fahrzeugen. Eine weitere Marktdurchdringung bereits serienmäßiger sicherheitserhöhender Fahrerassistenzsysteme wird zu einer weiteren Reduktion von Verkehrsunfällen führen [...].“ (Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

Unfallstatistiken zeigen, dass das Fahren durch den Menschen sowohl für die Fahrerin bzw. den Fahrer als auch für die anderen Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer gefährlicher ist, als meistens angenommen wird. Selbstfahrende Autos würden die Unfallzahlen senken.

„Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes verunglückten im Jahr 2013 bei Verkehrsunfällen in Deutschland 3339 Menschen tödlich [...]. Somit verlieren allein im deutschen Straßenverkehr durchschnittlich neun Menschen pro Tag ihr Leben. Darunter sind Unfälle, die künftig durch automatisierte Fahrzeuge vermeidbar wären.“ (Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

4.2 Der „Sichere Zustand“

Um die Fähigkeiten von autonomen Systemen und Fahrerassistenz-Systemen kategorisieren zu können, muss man sich auf einen Index einigen, der die Wahrscheinlichkeit eines Personenschadens einbezieht. Nach der Norm ISO 26262 besteht Sicherheit in einem System, wenn das Risiko unter einer zumutbaren Grenze liegt, welche durch die gesellschaftliche Akzeptanz definiert wird. Dieser Wert ist nicht in einem spezifischen Kontext gemäß ethischer, moralischer und gesellschaftlicher Auffassung zu sehen, sondern unter der Kombination aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere eines Personenschadens. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

„Beim Betrieb eines automatisierten Fahrzeugs hängt das zumutbare Risiko von der aktuellen Situation ab, in der sich das Fahrzeug befindet.

Zur Situation gehören hier [...]

- alle für eine Fahrentscheidung relevanten stationären und dynamischen Objekte,

- die Intention der dynamischen Objekte einschließlich des autonomen Fahrzeugs,
- die geltenden rechtlichen Bedingungen,
- die Mission des autonomen Fahrzeugs,
- die aktuelle Leistungsfähigkeit des autonomen Fahrzeugs.“ (Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

Laut der Norm ISO 26262 muss ein autonomes Fahrzeug kontinuierlich das aktuelle Risiko und die Schwere für Personenschaden ermitteln und den Handlungsoptionen ein Risiko zuteilen. Eine technische Lösung des Problems ist dem Autor des Buches „Autonomes Fahren“, aus dem zitiert wird, nicht bekannt. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

4.2.1 *Sicherer Zustand in Bezug auf die Situation*

Bei einem autonomen Fahrzeug ist es wichtig, dass das System weiß, ob sich Passagiere an Bord befinden, um bezugsrelevante Entscheidungen zu treffen. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

4.2.1.1 *Halten/Parken*

Bei der Wahl des Abstellorts macht es für das autonome Fahrzeug einen Unterschied, ob sich Personen im Fahrzeug befinden. Wenn dies der Fall ist, müsste es zum Beispiel ein sicheres Verlassen des Fahrzeugs gewährleisten. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

4.2.1.2 *Komfort*

Wenn sich Passagiere an Bord befinden, hat das Fahrzeug den Fahrstil einer menschlichen Fahrerin bzw. eines Fahrers zu übernehmen. Das Beschleunigungs- und Bremsverhalten hat angepasst zu werden. Wenn zum Beispiel niemand an Bord ist, kann das Auto in dem Modus fahren, welcher gerade der angebrachte ist (energietechnische Effizienz, Geschwindigkeit, ...). Weiters hat das Fahrzeug die passiven Sicherheitsmechanismen zu kontrollieren, zum Beispiel ob die Passagiere angeschnallt und Airbags vorhanden sind, welche Eigenschaften die Ladung hat und ob potenzielles Gefahrgut richtig gesichert ist. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

4.3 Redundanz

4.3.1 X-by-Wire

X-by-Wire ist ein Term, der im Ingenieurwesen für den Ersatz von mechanischen Verbindungen durch elektronische oder optische Leitungen verwendet wird. So gibt es den Begriff „Fly-by-wire“, der für ein System mit elektronischer Verbindung zwischen Steuerknüppel und Steuerruder steht. (vgl. X-by-Wire - Wikipedia, 2008)

Elektronische Systeme, wie das elektronische Gaspedal, die elektromechanische Lenkung und das elektrohydraulische Bremssystem, werden schon seit Jahren in Serienfahrzeuge eingebaut. Diese unterstützen die Fahrerin bzw. den Fahrer bei der Steuerung des Fahrzeugs. Weiters kann das System folgende Funktionen ausführen: Gas geben, Lenken und Bremsen. Wenn die elektronische Unterstützung wegen eines technischen Defekts ausfällt, kann der Fahrer sein Fahrzeug immer noch mechanisch kontrollieren. Dadurch wird das System mechanisch abgesichert. Wenn zum Beispiel die Bremssysteme hydraulisch funktionieren und die elektrische Steuerung der Aktoren ausfällt (Aktor = generalisiertes, digital betriebenes, mechanisches Steuerelement), ist das System immer noch mechanisch mit dem Bremspedal verbunden. Dasselbe ist bei dem Gaspedal und der Lenkung der Fall. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

Um in einem Fahrzeug Sicherheit gewährleisten zu können, sind die autonomen Systeme redundant. Wenn es keinen Fahrer gibt, der bei einem Ausfall oder einer Störung eingreifen kann und mechanisch die Kontrolle übernehmen, braucht es mindestens ein Backup-System, welches bei einem Fehler des ersten Systems eingreift. Steuergeräte und Aktoren werden beispielsweise mehrfach verbaut, inklusive der Energieversorgung. Auf der mechanischen Seite ist für jeden Bauteil, welcher durch Verschleiß oder Defekt ausfallen kann, ein weiterer vorhanden. Backup-Systeme reichen von einem Backup-Aktor bis zu einem Backup-Stromkreis, die bei einem Defekt die ausgefallenen Systeme übernehmen können. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

Ein Beispiel für ein dreifach-redundantes Steuerungssystem ist das Boing 777-Passagierflugzeug, welches in Punkt 6.2 beschrieben wird.

4.4 Unfallanalyse

4.4.1 Unfalldatensammlung

Um einen Unfall analysieren zu können, sind Daten in möglichst großer Anzahl erforderlich. Dabei geht es hauptsächlich um Daten, welche die beteiligten Autos zu Verfügung hatten und nicht um Aussagen von Unfallzeugen. Es gilt herauszufinden, weshalb die verunfallten Autos die vergängliche Situation nicht bemerkt bzw. missinterpretiert haben, um die Systeme verbessern zu können und die Unfallrate zu senken.

4.4.1.1 *Öffentliche Datensammlung*

„Verkehrsunfallforschung betreiben weltweit unterschiedliche Organisationen. Sie um fasst die Teilbereiche Unfall-Erhebung/-Statistik, Unfall-Rekonstruktion und Unfall Analyse [...].“ (Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

- **Deutschland:** GIDAS – German In-Depth Accident Study (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)
- **USA:** NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)
- **China und Indien:** In China wurde die Datensammlung vor einigen Jahren begonnen, in Indien werden die Anzahl der Verkehrstoten nicht erhoben. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)
- **International:** IRTAD – International Road Traffic and Accident Database (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)
- **Autohersteller:** Da laut § 823 Autohersteller für Folgeschäden ihrer Produkte innerhalb des bestimmungsgemäßen oder vorhersehbaren Gebrauchs haften, sind sie verpflichtet, Unfalldatenbanken zu führen. Allerdings sind diese meist nicht mit der statistischen Aussagekraft der GIDAS-Datenbank vergleichbar. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

4.4.1.2 *In-Depth-Erhebungen*

Um möglichst viele Daten zu erheben, werden In-Depth-Erhebungen durchgeführt.

„Sogenannte In-Depth-Erhebungen werden meist in Zusammenarbeit mit qualifizierten interdisziplinären Teams durchgeführt. Besonders fundierte Ergebnisse sind durch gemeinsame Einzelfallanalysen von Funktionsentwicklern, Sachverständigen für Unfallanalyse, Medizinern und Verkehrspsychologen erreichbar. Bei einer derartigen Erhebungstiefe bestehen allerdings meist Einschränkungen aufgrund geringerer Fallzahlen, sodass die statistische Aussagekraft oft gering ist.“ (Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

4.4.1.3 *Wirkgrad, Effektivfeld und Wirkungsfeld*

Um Unfälle eingliedern, ordnen und vergleichen zu können, wird jeder zu analysierende Unfall in einem Rechensystem bewertet, indem ein sogenannter Wirkgrad ermittelt wird. Dieser wurde für von Menschen gesteuerte Autos erarbeitet, kann aber auch für autonome Fahrzeuge angewendet werden.

4.4.1.3.1 Effektivfeld

„Die Ermittlung eines Effektivfeldes (*area of efficiency*) erfordert somit eine genaue Kenntnis über:

- die Systemspezifikation mit entsprechenden Funktionsgrenzen und
- das Verhalten des Fahrers.“ (Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

„Die Theorie der erfinderischen Problemlösung (TRIZ) definiert die Anforderungen einer idealen Maschine über die Formel für das Ideale Endresultat mit einem unbegrenzten Nutzen ohne Kosten und Schäden [...]:“ (Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

$$\text{Ideales Endresultat} = \frac{\sum \text{Nutzen}}{(\sum \text{Kosten} + \sum \text{Schäden})} = \frac{\infty}{(0 + 0)} = \infty^1$$

Wenn sich Kosten und Schäden 0 annähern und der Nutzen steigt, nähert sich das Endresultat einem Unendlichen an, das den idealen Zustand darstellen würde.

4.4.1.3.2 Wirkfeld

Obwohl autonome Autos technische Fehler durch falsche Programmierung oder fehlerhafte Sensorverbauung haben können, sind 93,5 % der Unfälle mit menschlichem Versagen zu begründen. Folgende Situationen führen weiters zu 0,7 % der Gesamtunfälle, tragen jedoch nicht zum Wirkfeld bei: Wetter, Fahrzeugmängel und Straßenbeschaffenheit. (vgl. Unfallforschung & Autonomes Fahren | Autonomes Fahren & Co, 2016)

*„Ein Wirkfeld (*area of action*) umfasst die Unfälle, auf die ein System Einfluss haben kann. Das Wirkfeld kann je nach Präzisierung der Spezifikation eines Systems unterschiedlich ausfallen. Im Ergebnis stellt es eine erste Abschätzung für ein maximal erreichbares Potenzial der betrachteten Automatisierungsstufe dar. Dagegen ist die tatsächlich resultierende Effizienz einer Funktion in der Regel deutlich geringer. Bei der Effizienz handelt es sich um die Wirkung, die ein spezifiziertes System tatsächlich hat. Sie wird entweder am Unfallgeschehen nachgewiesen (*a posteriori*) oder durch eine Simulation vorhergesagt (*a priori*).“ (Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)*

Das heißt, dass im Nachhinein oder durch eine Simulation im Vorhinein die Effizienz der Wirkung des spezifischen Systems ermittelt werden kann.

¹ Maurer, 2015, S. 310

4.4.1.3.3 Wirkgrad

Das Ergebnis ist der Wirkgrad, welcher in Prozenten angegeben wird. Dieser berechnet sich aus Effektivfeld durch Wirkfeld. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

$$\text{Wirkgrad} = \frac{\text{Effektivfeld}}{\text{Wirkfeld}} = x^2$$

Daimler nimmt an, dass insgesamt 200.000 Unfälle in einem Jahr in Deutschland vermieden werden können. Dabei sollen Unfälle bis 2060 auf geraden Strecken durch die Autonomisierung der Fahrzeuge um 15 Prozent fallen, jedoch steigen durch diesen Prozess Unfälle in Kreuzungen um 10 Prozent. (vgl. Unfallforschung & Autonomes Fahren | Autonomes Fahren & Co, 2016) „Daher geht die Studie davon aus, dass 10 Prozent bis 2020, 50 Prozent bis 2050 und 2070 100 Prozent der Unfälle reduziert sein werden, sprich 2070 gibt es keine Verkehrsunfälle mehr.“ (Unfallforschung & Autonomes Fahren | Autonomes Fahren & Co, 2016)

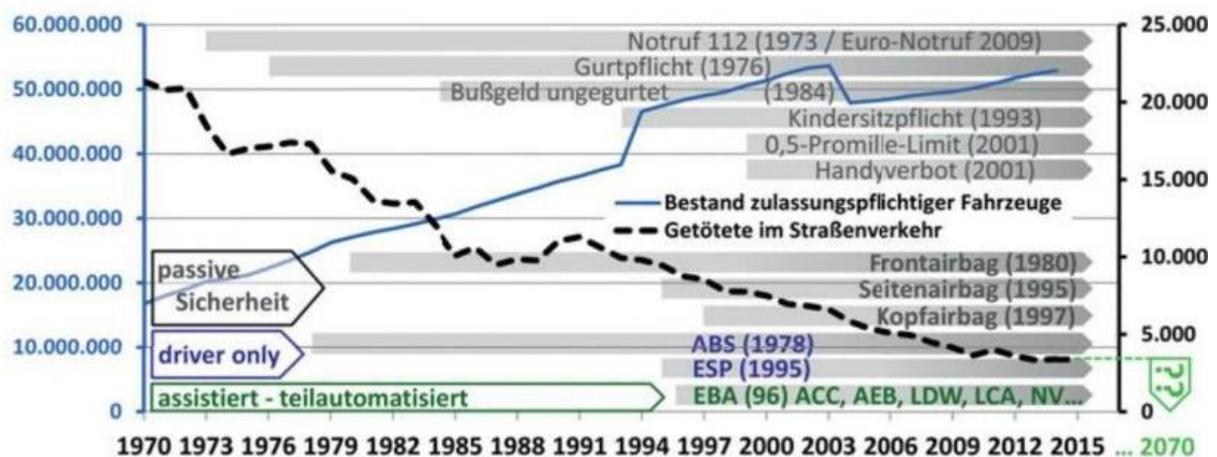


Abb. 6 Rückgang der Verkehrstoten durch sicherheitserhöhende Maßnahmen trotz Zunahme der Anzahl zugelassener Fahrzeuge in Deutschland (Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

Wie der obigen Grafik zu entnehmen ist, sinkt trotz größer werdenden Anzahl von zugelassenen Fahrzeugen in Deutschland die Zahl der Verkehrstoten von zirka 22.000 im Jahr 1970 in den folgenden 35 Jahren bis 2015 um zirka 19.000 auf etwa 3.000, das entspricht einer Verringerung um zirka 86 Prozent - während in diesem Zeitraum die Zahl der zugelassenen Fahrzeuge von zirka 17.000.000 auf ungefähr 52.000.000 angestiegen ist und sich mehr als verdreifacht hat.

Im Jahr 1970 sind mit einer Zahl von zirka 18.000.000 zugelassenen Fahrzeugen etwa 22.000 Verkehrstote zu verzeichnen. Diese Zahl beginnt sich zu verringern, als 1973 der telefonische Notruf 112 eingerichtet wird, und sinkt in den folgenden Jahren annähernd kontinuierlich. Die Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge steigt bis auf zwei Ausreißer in den Jahren 1994 und 2003 scheinbar linear. Die Einführung der Gurtpflicht 1976 lässt keine Verminderung der Zahl an Verkehrstoten aufweisen. Als 1984 damit begonnen wird, für den Verstoß gegen die Gurtpflicht Bußgeld zu verlangen, sinkt die Zahl der Verkehrstoten um zirka 3.000. Die in den

² Maurer, 2015, S. 309

folgenden 17 Jahren eingeführten weiteren, passiven Sicherheitsmaßnahmen, wie der Einbau von Front- (1980), Seiten- (1995) und Kopfairbag (1997) in Fahrzeugen, zeigen den größten Rückgang bezüglich der Zahl der Toten verursacht durch Verkehrsunfälle. Wobei vom Zeitpunkt des Einbaus des Frontairbags bis zum Einbau des Seitenairbags zwischen den Jahren 1980 und 1995 die größte Verringerung, nämlich eine um ungefähr 40 Prozent, der Anzahl der Verkehrstoten von 15.000 auf 9.000 stattgefunden hat.

Dabei ist zu beachten, dass nach Einführung eines Systems, wie zum Beispiel des ABS (Anti-blockiersystem), nur die neuen Fahrzeuge dieses eingebaut haben. In der Graphik werden jedoch alle zugelassenen Fahrzeuge aufgezeigt. Die Wirkung solcher Sicherheitssysteme ist über längere Zeitperioden hinweg zu sehen, da ein immer größerer Anteil an Fahrzeugen diese Systeme innehat.

In dem Schaubild wird die Zahl der Verkehrstoten dargestellt, es wird weder die Zahl der Verletzten noch jene der Verkehrsunfälle generell aufgezeigt. Weiters ist festzustellen, dass die Fahrzeuge über die Jahre des beobachteten Zeitraums hinweg in Bezug auf Beschleunigungsvermögen und Maximalgeschwindigkeit schneller geworden sind.

4.4.1.4 *A-priori-Prognosen von Unfalldaten*

„A-priori-Prognosen sind an Hypothesen und Schlussfolgerungen geknüpft. So können assistierte und teilautomatisierte Funktionen den Fahrer durch optische, akustische oder haptische Hinweise bzw. kurze Eingriffe mit Warncharakter vor einer drohenden Gefahr bewahren. Voraussetzung für eine erfolgreiche Gefahrenabwehr ist jedoch die Annahme einer rechtzeitigen und der Verkehrssituation angepassten Reaktion des Fahrers. Aus technischer Sicht ermöglicht diese fortgeschrittene Automatisierungsstufe – mit erweiterter Computer- und Sensortechnik zur Umfeldwahrnehmung – zunehmend leistungsfähigere Assistenzsysteme.“ (Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

4.4.2 *Drei Unfallanalysen mit selbstfahrenden Autos*

4.4.2.1 *Tesla Model S und weißer Sattelschlepper*

Bei diesem Unfall kam es zu einer Kollision zwischen einem Tesla Model S und einem weißen Sattelschlepper. Das Tesla Model S fuhr mittels Auto-Pilot selbst und verursachte den Unfall.

Zu dem Zeitpunkt war der Tesla Auto-Pilot ungefähr zwischen den Stufen des autonomen Fahrens Level 2 und Level 3. Das hatte rechtliche Gründe und damit hat sich der Fahrer dazu verpflichtet, aufmerksam zu sein, das System zu überwachen und seine Hände immer am Lenkrad zu behalten. Sobald das Auto bemerkt, dass die Hände nicht am Steuer sind, warnt es nach kurzer Zeit mithilfe von auditiven und visuellen Signalen die Fahrerin bzw. den Fahrer, damit

sie bzw. er das Steuer wieder ergreift. Wenn dies nicht passiert, verringert das Auto das Tempo, bis es zum Stehen kommt. Da Tesla Fahrzeuge jede gemessene Einzelheit speichern, ist sehr viel über den Ablauf des Unfalles bekannt.

Der Fahrer setzte den Tempomaten für den Auto-Piloten auf 74 mph (ca. 119 km/h). Das ist über dem erlaubten Geschwindigkeitslimit von 65 mph (ca. 105 km/h). Aufgrund der Daten ist bekannt, dass seine Fahrt bis zum Unfall 37 Minuten gedauert hat. Während dieser Zeit hatte er seine Hände für 25 Sekunden auf dem Lenkrad. Vor dem Unfall gab das Auto sechs Warn-töne ab, da der Fahrer zu viel Zeit ohne Hände am Lenkrad verbracht hat.

Der Autopilot sah den Sattelschlepper wegen der Lichtverhältnisse nicht. Der Himmel war wol-kig und die Seite des weißen Trucks erschien bzw. war für die Kameras unsichtbar. Die Radar-Sensoren erkannten das Objekt ebenfalls nicht, da die Oberfläche schlecht reflektierte.

Das Auto hat den Zusammenprall nicht als Unfall erkannt und fuhr weiter, kam von der Fahr-bahn ab, fuhr neben einem Teich entlang und raste in ein kleines Wäldchen. Durch die Kollisi-on mit einem Baum kam das Fahrzeug zum Stillstand und die Airbags entfalteteten sich.

Die Aufzeichnungen des Autos zeigen, dass der Fahrer vor der Kollision mit dem Sattelschlep-per weder die Bremsen noch das Lenkrad betätigte. Experten nehmen an, dass der Fahrer nach der Kollision mit dem LKW sofort tot war. (vgl. Corfield, 2017)



Abb. 7 The trailer that Brown's Tesla Model S hit, with impact damage circled (Pic: US NTSB); Übersetzt: Der Sattelschlepper mit dem Browns Tesla Model S kollidierte, mit einem roten Kreis markiert ist zu sehen, wo das Fahrzeug durchgefahen ist (Bild: US NTSB)

4.4.2.2 *Tesla Model 3 und weißer Sattelschlepper*

Dieser Unfall ist jenem in Punkt 4.4.2.1 beschriebenen sehr ähnlich. Es handelt sich um ein Tesla Model 3, in dem ein um Generationen neueres System implementiert worden ist. Trotz der Verwendung anderer Sensoren kam es zu einem ähnlichen Unfall.

Bei diesem Unfall handelt es sich um eine Kollision zwischen einem Tesla Model 3 und einem weißen Sattelschlepper. Das Tesla Model 3 fuhr mittels Auto-Pilot selbst und verursachte den Unfall. Der Auto-Pilot wurde zehn Sekunden vor dem Crash vom Fahrer aktiviert. Da Tesla Autos alle möglichen Daten sammeln, ist bekannt, dass der Fahrer acht Sekunden vor dem Crash die Hände vom Lenkrad genommen hatte. Es wird spekuliert, dass er von etwas anderem abgelenkt worden war.

Die Kollision passierte, als der weiße Truck in einer Linkskurve auf die Autobahn auffuhr. Das Auto war zu jener Zeit mit 110 km/h unterwegs, fuhr unter dem Anhänger durch und das Dach wurde abgeschabt. Dadurch wurde der Fahrer getötet. 500 Meter nach dem Aufprall kam das Auto zum Stillstand. (vgl. Lee, 2019)



Abb. 9 National Transportation Safety Board

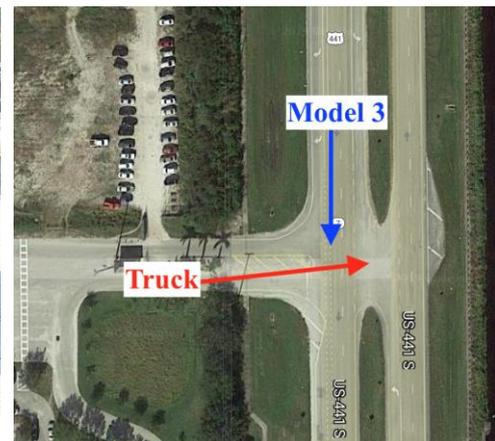


Abb. 8 Google Maps; ergänzt von Timothy B. Lee

4.4.2.3 Selbstfahrender Uber-Unfall

Bei diesem Unfall war ein Testfahrzeug des internationalen Taxi-Unternehmens Uber und eine Frau mit einem Rad beteiligt. Das Testfahrzeug war ein Volvo, der von dem Unternehmen Uber umgebaut wurde, um selbst fahren zu können. Dieses hatte sowohl Kamera und Radar-Sensoren als auch einen Lidar-Sensor. Da das Alleinefahren noch nicht erlaubt war, musste ein Fahrer hinter dem Steuer sitzen und das Verhalten des Autos überwachen. (vgl. Gartenberg, 2018)

Der Unfall trug sich bei Nacht zu, als das Kraftfahrzeug mit 63 km/h von einer Brücke abfuhr und die Fahrradfahrerin ihr Fahrzeug über die Straße schob. Zu diesem Zeitpunkt zeigt das Video des Interieurs, dass der Fahrer, der für das Fahrzeug verantwortlich war, *The Voice* auf *Hulu* (Videoplattform) auf seinem Handy gestreamt und nicht auf die Straße geachtet hatte. (vgl. Gartenberg, 2018)

Das Auto hat die Frau, die ihr Fahrrad über die Straße geschoben hat, niedergefahren, sodass diese verstorben ist.

Die Kameras haben das Hindernis (Frau zu Fuß mit Fahrrad) zu spät wahrgenommen. Eigentlich hätten die Lidar- und Radar-Sensoren die Person erkennen müssen. Ob das ein Fehler der Sensoren, des Computers oder der Software war, ist bis heute nicht geklärt. Die folgenden Bilder stammen aus den Videos, die von den Kameras des Autos aufgenommen worden sind.



Abb. 11 Guardian News, Uber dashcam footage shows lead up to fatal self-driving crash, YouTube, 21. 03. 2018, <https://youtu.be/RASBcc4yOOo>, zugegriffen: 03. 11. 2019, in: 0:06, bearbeitet

Abb. 10 Guardian News, Uber dashcam footage shows lead up to fatal self-driving crash, YouTube, 21. 03. 2018, <https://youtu.be/RASBcc4yOOo>, zugegriffen: 03. 11. 2019, in: 0:07, bearbeitet

5 Neue Mobilitätskonzepte

5.1 *Car-Sharing*

Das gewerbliche „Car-Sharing“ (Autoverleih) gibt es bereits seit den 1980er-Jahren. Bei den herkömmlichen Konzepten handelt es sich meistens um „Stationsbasiertes Carsharing“. Dabei gibt es einen „Sammelpunkt“, an dem die Fahrzeuge bereitgestellt und zu dem diese wieder zurückgebracht werden sollen. Der Zeitraum, in dem das Fahrzeug ausgeliehen wird, kann einige Stunden bis mehrere Tage umfassen und wird im Vorhinein festgelegt. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

5.2 *One-Way Carsharing*

„One-Way Carsharing“ ist eine neue Form des Autoverleihs. Dabei geht es um mehr Flexibilität, denn die Benutzer brauchen davor weder anzugeben, wie lange sie das Auto fahren, noch an welchem Ort sie es zurückbringen. Die Standorte verfügbarer Fahrzeuge werden den Nutzern meist über eine Smartphone-App bereitgestellt. Die Nutzer wählen das nächstgelegene Fahrzeug aus, registrieren sich durch eine Karte oder die Smartphone-App im Fahrzeug und können dann im Geschäftsgebiet des Anbieters fahren. Meist zahlen die Benutzer eine Anfangsgebühr plus einen Betrag pro Minute für das entliehene Fahrzeug. Ein Beispiel für solch ein Car-Sharing-Unternehmen wäre Car2Go vom Daimler-Konzern. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

5.3 *Peer-to-Peer Carsharing*

Das „Peer-to-Peer Carsharing“ beschreibt das Verleihen eines Privatautos unter Privatpersonen. Dabei werden ein Zeitpunkt und ein Ort vereinbart, an dem das Auto zurückgebracht werden soll. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

5.4 *Car as a service*

Beim „Car as a service“ oder „Vehicle-on-Demand“-Konzept werden sämtliche in dieser Arbeit zuvor genannten Komponenten benötigt, unter anderem ein selbstfahrendes und selbstparkendes System, wie es in 4.2.1 Sicherer Zustand in Bezug auf die Situation erläutert ist. Dabei sind die Kunden Mitfahrerinnen bzw. Mitfahrer und können in das Verhalten des selbstfahrenden Autos nicht eingreifen.

6 Weitere Einsatzgebiete

6.1 Schienenfahrzeuge

Der automatische Betrieb von Schienenfahrzeugen ist seit Jahren Standard. Im Personenverkehr ist meist noch ein Zugführer vorhanden, der das Verhalten überwacht. Hierbei wird der Begriff „automatisch“ und nicht „autonom“ verwendet, da die meisten Sicherheitsfunktionen von der integrierten Infrastruktur betrieben werden, anstatt von dem Zug selbst. Beispielsweise sind überwachende Komponenten in die Gleise, beziehungsweise das Schienennetz, integriert und die Gleisbelegung wird in Steuerzentralen koordiniert. Um Kollisionen zu vermeiden, werden Strecken in Abschnitte unterteilt, in denen sich aus Sicherheitsgründen immer nur ein Zug befinden darf. Systeme, wie „*waysidecentric*“ verwenden Sensoren in den Gleisen, welche die Achsen zählen, um den Ein- und Ausgang eines Zuges in einen Streckenabschnitt zu registrieren. Im Gegensatz dazu wird im System des Zuges lokal die Geschwindigkeit mit Bezug auf erlaubte Maximalgeschwindigkeit, Umgebungsbedingungen, Anhalteweg und Entgleisungsgefahr bestimmt. Dieses System heißt dann „*vehiclecentric*“. Die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Steuerzentrale erfolgt über Funktechnologie. Ein Beispiel dafür ist die Kommunikation zwischen fahrerloser U-Bahn und Bahnsteig. Die Sensorik am Bahnsteig übermittelt an die U-Bahn wann sie die Türen schließen kann. Dieses System wird „*CBTC*“ (Communication Based Train Control) genannt. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

Zusammengefasst werden in Zugnetzen die Logistik von den Steuerzentralen geregelt (*waysidecentric*) und die Geschwindigkeitsbestimmung wird von den Zügen selbst geregelt (*vehiclecentric*).

6.2 Boing 777-Passagierflugzeug

Ein Beispiel für ein dreifach-redundantes Steuerungssystem ist das Passagierflugzeug Boing 777. Die Architekturmuster in Hard- und Software sind ebenso auf autonome Straßenfahrzeuge anwendbar. Dazu ist zu bedenken, dass die Kosten eines solchen Systems bei einem Flugzeug im Vergleich zum Gesamtpreis lediglich einen relativ geringen Betrag ausmachen. (vgl. Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

„Jede sicherheitsrelevante Komponente des Flugzeugkontrollsystems wird auf drei unterschiedliche Arten redundant umgesetzt, um eine hohe Verfügbarkeit der Ansteuerung durch einen Piloten oder den Autopiloten zu realisieren. Aufgrund der Kritikalität der Flugzeugführung sind in Passagierflugzeugen neben dem Autopiloten zwei menschliche Piloten an Bord vorgeschrieben [...]. [...] Ein Autopilot im Flugzeug lässt sich mit einem teilautomatisierten Fahrerassistenzsystem vergleichen, da die Piloten die Aufgabe haben, das System zu überwachen. In unbemannten Flugzeugen entfällt diese Überwachung durch Piloten, und die Anforderungen an

das Flugzeugführungssystem steigen. Durch Flugrouten, die nur über dünnbesiedelte Gebiete gelegt werden, sollen Risiken reduziert werden. Da keine Personen an Bord sind, ist ein Absturz im freien Feld durchaus möglich, da niemand dabei verletzt wird [34].“ (Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015)

7 Fazit

Zu den traditionellen Sicherheitsvorkehrungen, wie Airbag, Knautschzone und Gurt, kommen die autonomen Systeme hinzu, welche unabhängig vom Menschen das Fahrzeug steuern können. In Bezug auf die Sicherheit gibt es bei autonomen Autos zahlreiche Diskussionspunkte, wie die technischen Aspekte: das Versagen eines Sensors oder Aktuators, der fehlerhafte Zusammenbau von Komponenten oder die Sicherheitsaspekte bezüglich der Konnektivität der Autos (Stichwort Hacking). Bei der Bewertung der Minimierung eines Schadens spielen ethische und kulturelle Aspekte ebenso eine Rolle.

In manchen Bereichen sind autonome oder teilautonome Systeme schon aktueller Stand der Technik, zum Beispiel in Zügen, U-Bahnen und Flugzeugen. Im Straßenverkehr ist die Entwicklung von autonomen Fahrzeugen ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt. Sowohl Fahrzeuge mit teilautonomen Systemen als auch Testfahrzeuge befinden sich bereits im Einsatz.

Wie anhand der Unfälle mit dem Tesla Model S, dem Tesla Model 3 und dem Uber-Testfahrzeug beschrieben, welche mit verschiedenen Systemen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien verursacht wurden, ist abzuleiten, dass bei den Fahrzeugen noch ein deutlicher Entwicklungsbedarf in Richtung Sicherheit im Straßenverkehr besteht.

Zurzeit wird in der Forschung diskutiert, wie viele und welche Sensoren für das beste Sicherheitsergebnis notwendig sind. Speziell beim Lidar-Sensor ist nicht klar, ob dieser zu einer führenden Technologie werden wird. Da die Meinungen innerhalb der technischen Gesellschaft geteilt sind, präsentiere ich meine eigene Schlussfolgerung und keine „richtige“: Da das Straßennetz für humane Fahrer ausgelegt ist und Menschen mit zwei Augen Fahrzeuge navigieren, sollte das System eines selbstfahrenden Autos hauptsächlich auf Kameras basieren. Ultraschall- sowie Radar-Sensoren sind ebenfalls notwendig, um für Redundanz zu sorgen und genaue Entfernungs- und relative Geschwindigkeitsmessungen durchführen zu können. Elon Musk, CEO und einstiger CTO von Tesla, hat bei der Entwicklung der Fahrzeuge ähnlich argumentiert.

Beim Recherchieren über die Zukunftstechnik in der Autoindustrie sind zahlreiche Zeitungsartikel und Webseiten von Autoherstellern und Forschungsinstituten zu finden, jedoch ist deren Informationsgehalt gering. In der wissenschaftlichen Fachliteratur sowie in Artikeln sind die autonomen Systeme für selbstfahrende Autos oft genau erklärt und bewertet. Empfehlenswert ist das Buch „Autonomes Fahren - Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte“ der AutorInnen und HerausgeberInnen Markus Maurer, J. Christian Gerdes, Barbara Lenz und Hermann Winner, in welchem auf 726 Seiten sowohl Grafiken und Diagramme als auch genaue Beschreibungen zu finden sind.

Diese Arbeit konzentriert sich auf die technischen Aspekte der Fahrsicherheit sowie der Unfallprävention selbstfahrender Autos. Weitere Themen, wie ethische und kulturelle Aspekte der Sicherheitsbewertung, Programmierung (Stichwort Ai) und Sicherheit betreffend möglicher Hackerangriffe sind prüfenswert, können jedoch in dieser Arbeit aufgrund ihres Umfangs nicht behandelt werden.

8 Literaturverzeichnis

- Bundesministerium für Verkehr, I. u.-1. (2019). *bmvit - Hintergrundinformationen zum automatisierten Fahren*. Abgerufen am 27. 08 2019 von <https://www.bmvit.gv.at/verkehr/automatisiertesFahren/faq/hintergrundinfos.html>
- Corfield, G. (20. 06 2017). *The Register*. Abgerufen am 13. 09 2019 von https://www.theregister.co.uk/2017/06/20/tesla_death_crash_accident_report_ntsb/
- Elon Musk. (2019). Tesla Autonomy Day. Abgerufen am 29. 08 2019 von <https://youtu.be/Ucp0TTmvqOE>
- Fluhr, D. (17. 07 2012). *Was ist Lidar? | Technik für Autonome Fahrzeuge | Autonomes Fahren & Co*. Abgerufen am 29. 08 2019 von <https://www.autonomes-fahren.de/lidar-licht-radar/>
- Gartenberg, C. (22. 06 2018). Safety driver of fatal self-driving Uber crash was reportedly watching Hulu at time of accident. *THE VERGE*, 1. Abgerufen am 03. 11 2019 von <https://www.theverge.com/2018/6/22/17492320/safety-driver-self-driving-uber-crash-hulu-police-report>
- Lee, T. B. (16. 05 2019). *arstechnica*. Abgerufen am 13. 09 2019 von <https://arstechnica.com/cars/2019/05/feds-autopilot-was-active-during-deadly-march-tesla-crash/>
- Maurer, M., Gerdes, J. C., Lenz, B., & Winner, H. (. (2015). *Autonomes Fahren - Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. (Springer-Verlag, Hrsg.) doi: 10.1007/978-3-662-45854-9
- Nica, G. (18. 04 2019). *BMW Blog*. Abgerufen am 16. 09 2019 von <https://www.bmwblog.com/2019/04/18/video-bmw-explains-how-surround-view-cameras-can-be-used/>
- Pionier (Hrsg.). (1. 1 1949). Pionier. S. 226.
- Tesla. (2016, 09 19). *Tesla Blog*. (Tesla, Editor) Retrieved 09 16, 2019, from https://www.tesla.com/de_AT/blog/all-tesla-cars-being-produced-now-have-full-self-driving-hardware
- Unfallforschung & Autonomes Fahren | Autonomes Fahren & Co*. (05. 05 2016). Abgerufen am 23. 01 2019 von <https://www.autonomes-fahren.de/unfallforschung-autonomes-fahren/>
- VW. (16. 09 2019). *Volkswagen Newsroom*. Von <https://www.volkswagen-newsroom.com/de/umgebungsansicht-area-view-3665> abgerufen
- Weber, H. (2018). *FUNKTIONSWEISE UND VARIANTEN VON LiDAR-SENSOREN*. Waldkirchen/Deutschland: Sick AG. Von

https://cdn.sick.com/media/docs/5/25/425/Whitepaper_LiDAR_de_IM0079425.PDF
abgerufen

Winner, H. (2015). *Handbuch Fahrerassistenzsysteme : Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (3. Ausg.). Wiesbaden [Germany] : Springer Vieweg. Abgerufen am 25. 01 2020

X-by-Wire - *Wikipedia*. (16. Mai 2008). Abgerufen am 23. 12 2019 von <https://de.wikipedia.org/wiki/X-by-Wire>

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Kategorien der Automatisierung nach BAST/NHTSA/SAE (Maurer, et al., 2015, s. 304)	3
Abb. 2 Kristoffer Tripplaar/Almy, Inhalt: autonomes Google Waymo Auto mit gut erkennbarem Lidar-Sensor auf dem Dach und Radar-Sensoren vorne in der Mitte und auf der Seite über dem Vorderrad	7
Abb. 3 ein Schnappschuss, wie ein Lidar-System die Umwelt auf dem Dach eines Autos wahrnimmt.	8
Abb. 4 Alphabet's erstes Prototyp Auto, bearbeitet	8
Abb. 5 Tesla, Tesla Autonomy Day, YouTube, 22. 04. 2019, https://youtu.be/Ucp0TTmvqOE , zugegriffen: 29. 08. 2019, in: 2:16:59, bearbeitet.....	10
Abb. 6 Rückgang der Verkehrstoten durch sicherheitserhöhende Maßnahmen trotz Zunahme der Anzahl zugelassener Fahrzeuge in Deutschland (Lenz, Maurer, Gerdes, & Winner, 2015).....	16
Abb. 7 The trailer that Brown's Tesla Model S hit, with impact damage circled (Pic: US NTSB); Übersetzt: Der Sattelschlepper mit dem Browns Tesla Model S kollidierte, mit einem roten Kreis markiert ist zu sehen, wo das Fahrzeug durchgefahen ist (Bild: US NTSB)	18
Abb. 8 Google Maps; ergänzt von Timothy B. Lee	19
Abb. 9 National Transportation Safety Board	19
Abb. 10 Guardian News, Uber dashcam footage shows lead up to fatal self-driving crash, YouTube, 21. 03. 2018, https://youtu.be/RASBcc4yOOo , zugegriffen: 03. 11. 2019, in: 0:07, bearbeitet	20
Abb. 11 Guardian News, Uber dashcam footage shows lead up to fatal self-driving crash, YouTube, 21. 03. 2018, https://youtu.be/RASBcc4yOOo , zugegriffen: 03. 11. 2019, in: 0:06, bearbeitet	20

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die Vorwissenschaftliche Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alles aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommene Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien für wissenschaftliche Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauen Quellenangaben kenntlich gemacht habe.

Baden bei Wien, 11. 02. 2020

.....
Ort, Datum



.....
Unterschrift des Schülers