

Künstliches Lernen: Trainingsdaten aus dem virtuellen Fahrversuch für Deep Learning Algorithmen

Thesis Subtitle

Author Name

A thesis presented for the degree of
Master of Science



Department Name

University Name

Country

Date

Abstract

Abstract Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV) goes Test (T) here
[**einstein**]. test mit Ö, ä und ß ...

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere wahrheitsgemäß, die Arbeit selbstständig verfasst, alle benutzten Hilfsmittel vollständig und genau angegeben und alles kenntlich gemacht zu haben, was aus Arbeiten anderer unverändert oder mit Abänderungen entnommen wurde sowie die Satzung des KIT zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis in der jeweils gültigen Fassung beachtet zu haben.

Karlsruhe, 23. Dezember 2018

Manuel Kaiser

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Motivation	1
1.2	Zielsetzung	1
2	Grundlagen	3
2.1	Hochautomatisiertes Fahren	3
2.1.1	Entwicklung von Fahrerassistenzfunktionen	4
2.1.2	Klassifizierung von Fahrszenarien	8
2.2	Künstliche Neuronale Netze	8
2.2.1	Maschinelles Lernen	8
2.2.2	Convolutional Neural Network	9
2.2.3	Recurrent Neural Network	9
2.2.4	Training mit synthetischen Daten	9
3	Konzept	11
3.1	Struktur	11
3.2	Methodik	11
4	Umsetzung	13
4.1	Datenvorbereitung	13
4.1.1	Definition von Fahrszenarien	13
4.1.2	Simulation mit CarMaker	13
4.1.3	Daten Labeling	14
4.2	Training	14
4.2.1	Inputdaten	14

4.2.2	Architektur des neuronalen Netzes	14
4.2.3	Experimente	14
4.3	Evaluation	15
4.3.1	Simulierte Daten	15
4.3.2	Reale Daten	15
5	Zusammenfassung	17
5.1	Ergebnis und Diskussion	17
5.2	Ausblick	17
	Literaturverzeichnis	xii
	Abkürzungsverzeichnis	xiii
	Tabellenverzeichnis	xv
	Abbildungsverzeichnis	xvii
A	Appendix Title	xix
A.1	Teil 1 des Anhangs	xix

1. Einleitung

1.1 Problemstellung und Motivation

Hochautomatisierte Fahrerassistenzsysteme werden zunehmend komplexer. Herkömmliche Testmethoden sind durch die Vielzahl an möglichen Szenarien nicht mehr praktisch testbar. Heutzutage wird schon vieles in Simulation getestet. Dabei gibt es aktuell noch Probleme..

Autonomes Fahren - kaum ein Trend ist aktuell ein stärkerer Treiber in der Automobilindustrie. Dabei spielt der Einsatz von Verfahren des maschinellen Lernens eine bedeutende Rolle. Eine große Herausforderung für diese Algorithmen ist, dass Trainingsdaten, sofern sie auf realen, aufgezeichneten Daten beruhen, manuell annotiert werden müssen, was diesen Prozess sehr aufwändig macht. Ein weiteres Problem von realen Daten ist ihre geringe Varianz. Während Standardsituationen sehr häufig vorkommen und damit auch mit einem neuronalen Netz erlernt werden können, gibt es einige Situationen die selten auftreten, allerdings sehr kritisch sind. Es ist daher schwieriger ein neuronales Netz für diese Situationen, wie z.B. das „schneiden“ eines anderen Fahrzeugs beim Spurwechsel, zu trainieren.

Genau hier soll diese Arbeit ansetzen. Es soll ein Konzept entwickelt und umgesetzt werden, wie eine bereits existierende Simulationsumgebung eingesetzt werden kann, um neuronale Netze zu trainieren und zu testen.

1.2 Zielsetzung

Das Ergebnis der Arbeit soll eine Methodik sein bisher unbekannte Testfälle zu finden. Dabei sollen Videodaten mit CarMaker erzeugt und mit diesen Daten ein neuronales Netz

trainiert werden um Fahrszenarien zu klassifizieren. Mit einem trainierten neuronalen Netz sollen auch Fahrszenarien mit realen Daten erkannt und klassifiziert werden.

Die oben genannten Probleme sollen mit der Verwendung von simulierten Trainingsdaten adressiert und weiter untersucht werden:

- Trainingsdaten müssen nicht mehr aufwendig manuell annotiert werden.
- Die Umgebung ist bei der Simulation der Daten vollständig kontrollierbar und die Datenerfassung wird effizienter.
- Bisher unbekannte Testfälle können gefunden werden.

Diese Arbeit soll einen theoretischen und praktischen Beitrag zum automatisierten Training von neuronalen Netzen im Bereich automatisiertem Fahren liefern. Der Fokus liegt dabei auf den Möglichkeiten und Herausforderungen, die sich durch die Verwendung von simulierten Trainingsdaten ergeben.

2. Grundlagen

In diesem Kapitel werden die zum Verständnis nötigen Grundlagen für diese Arbeit erklärt. Dabei wird im Abschnitt 2.1 der Stand der Technik von automatisierten Fahrfunktionen und deren Entwicklung beschrieben. Im Abschnitt 2.2 wird maschinelles Lernen im Allgemeinen und im Speziellen künstliche neuronale Netze, die für die Umsetzung dieser Arbeit nötig sind, beschrieben.

2.1 Hochautomatisiertes Fahren

Hochautomatisiertes Fahren wird in den vergangenen Jahren zunehmend von der Automobilindustrie vorangetrieben. Aktuelle Fahrerassistenzsysteme (FAS) wie der Spurhalteassistent oder die Abstandsregelung sind nach der Norm SAE J3016 (Abbildung 2.1) bei Level 2 des autonomen Fahrens eingeordnet. Mit neuen Technologien werden immer mehr Funktionen für automatisiertes Fahren entwickelt und verknüpft. Es entstehen zunehmend komplexe Fahrfunktionen mit einer steigenden Anzahl möglicher Fahrsituationen und Szenarien [Kin17]. Das stellt Automobilhersteller und Automobilzulieferer vor eine große Herausforderung, da die Systemkomplexität wächst. Das schließt sowohl die Entwicklung von FAS als auch die dazu benötigten Testszenarien ein [PL16].

In den folgenden Abschnitten wird erläutert wie aktuell diesen Herausforderungen begegnet wird. In Abschnitt 2.1.1 wird ein allgemeiner Überblick über die aktuellen Entwicklungsmethodiken für FAS gegeben. Dabei wird besonders auf das Konzept Vehicle-in-the-Loop (ViL) eingegangen. Danach werden in Abschnitt 2.1.2 bisherige Ansätze für die Klassifizierung von Fahrszenarien vorgestellt.

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Copyright © 2014 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed provided SAE International and J3016 are acknowledged as the source and must be reproduced AS-IS.

Abbildung 2.1: Norm SAE J3016 für die Level des autonomen Fahrens, entnommen aus [Com14]

2.1.1 Entwicklung von Fahrerassistenzfunktionen

FAS sind Funktionen im Kraftfahrzeug, die den Fahrer unterstützen. Diese Systeme nutzen Sensordaten, wie Radar-, Ultraschall-, oder Kameradaten, aus dem Fahrzeug um den Fahrer dann auf Basis der abgeleiteten Informationen zu unterstützen. Beispielsweise erkennt ein Spurhalteassistent wenn das Fahrzeug die Spur verlässt und kann die Fahrspur korrigieren.

FAS werden in der Automobilindustrie mit dem V-Modell entwickelt. Das V-Modell ist ein chronologischer Entwicklungsprozess und aus der Softwareentwicklung adaptiert [Bun05]. Das V-Modell kann in einen linken absteigenden und einen rechten aufsteigenden Ast unterteilt werden. Der linke Ast enthält die Funktionsanforderungen, die nach unten weiter detailliert und aufgeschlüsselt werden. Der rechte Ast umfasst aufsteigend Funktionstests auf dem jeweiligen Detaillierungsgrad [HK15]. Das V-Modell ist schematisch in Abbildung 2.2 dargestellt.

Die Schritte auf dem absteigenden und aufsteigenden Ast haben jeweils eine Be-

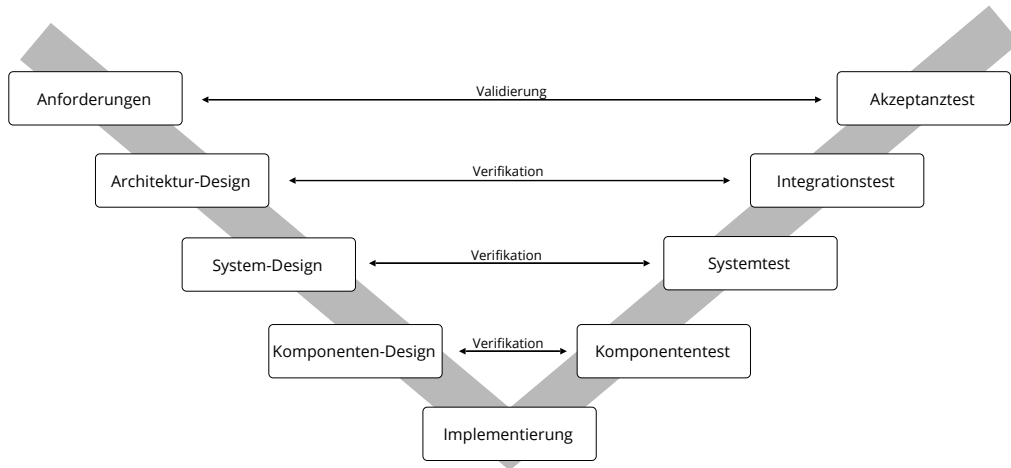


Abbildung 2.2: V-Modell, adaptiert aus [HK15]

ziehung. Jeder Test auf dem aufsteigenden Ast verifiziert bzw. validiert den dazugehörigen Entwicklungsschritt auf dem absteigenden Ast. Dementsprechend werden oben im V-Modell die Kundenanforderungen auf dem absteigenden Ast erfasst und auf dem aufsteigenden Ast validiert. Unten im V-Modell werden einzelne Hardware- oder Softwarekomponenten entwickelt, die die entsprechenden Kundenanforderungen von oben lösen sollen, und auf dem aufsteigenden Ast verifiziert [HK15].

Mit steigender Komplexität in der Entwicklung, bedingt durch hochautomatisierte Funktionen, werden für die Validierung und Verifikation von FAS neue Testmethoden benötigt [Bac17]. Besonders FAS die kritische Situationen unterstützen, wie zum Beispiel eine automatische Notbremsung, können nicht mehr mit lange etablierten Methoden getestet werden [Boc08]. Die Lösung hierfür, die sich in den vergangenen Jahren in der Praxis durchgesetzt hat, ist der virtuelle Fahrversuch. Die Idee ist eine stufenweise Digitalisierung von Komponenten aus dem realen Fahrversuch mit den Zielen die Reproduzierbarkeit zu steigern, den Aufwand zu reduzieren und insgesamt flexibler zu werden. Im virtuellen Fahrversuch werden in der frühen Konzeptphase alle Komponenten virtuell getestet, dann schrittweise durch Hardwarekomponenten ersetzt. Schließlich werden alle Komponenten im realen Fahrversuch auf der Straße mit realen Fahrer und anderen Verkehrsteilnehmern getestet [HK15].

HiL, ViL, SiL,

– Warum virtuelle Testmethoden? For early assessment, a common approach is to set up vehicles with additional prototyping hardware and perform real world testing.

While this approach is essential to assess the look-and-feel of newly developed concepts, its drawbacks are reduced reproducibility and high expenses to achieve a sufficient and balanced sample. To overcome these drawbacks, new flexible, realistic and preferably automated virtual test methods to complement real world verification and validation are especially required during early development phases [Bac17].

– XiL While real world validation is indispensable, it hampers reproducibility. The preliminary development phase is characterized by tight resources, frequent changes in design and an iterative modus operandi. Scant experience with the system properties leads to regular realignments and refactorings. To achieve satisfying results within an appropriate time span, besides the RP approach further stimuli for iterative test of control systems are required. These range from test vectors modelling certain interesting waveforms and replay of recorded data to more sophisticated approaches such as Time Partition Testing (TPT) [2], which facilitates systematic testing of embedded systems with continuous behavior, or X-in-the-loop (XiL) simulation [3-5]. XiL represents a simulation based methodology for the test of embedded systems over all development stages of the automotive industry. The selection of the appropriate stimuli depends on the specific characteristics of the System under Test (SuT). As shown in Figure 1, closed-loop control systems require stimulation by methods such as XiL, RP or TPT, which offer a sufficient degree of reactivity. Unfortunately, these elaborate methods require significant resources for deployment and maintenance. [Bac17]

Der Ansatz des Prüfaufbaus Vehicle in the Loop (VIL) von Audi liegt daher in der Kopplung des realen Testfahrzeugs mit einer virtuellen Verkehrsumgebung, um die Vorteile beider Verfahren zu vereinen, Bild 4. [Boc08]

Insbesondere die Fahrzeugentwicklung ist von vielen Innovationen geprägt, die den Komfort, die Effizienz sowie die Sicherheit verbessern und optimieren sollen. Um ein globales Optimum zu erreichen, darf das System Fahrzeug nicht losgelöst von den Systemen Umwelt und Fahrer betrachtet werden. [Alb10]

Car-to-X-(beziehungsweise Car2X)-Technologien sorgen für die notwendige Vernetzung. Reale Fahrversuche sind aber mit einem enormen Kosten- und Zeitaufwand verbunden. Um diese durchzuführen und Szenarien abzubilden, müssen geeignete Testgelände sowie eine ausreichende Anzahl an Fahrzeugen mit prototypischen Car2X-Systemen vorhanden sein. Zudem bieten Tests in der realen Welt oft ein geringes Maß an Reproduzierbarkeit [2]. Aktuell beschränken sich Simulationen im Bereich Car2X auf Applikations- und Protokolltests [2]. [Alb10]

Das X-in-the-Loop-Framework beschreibt eine durchgängige und integrierte Entwick-

lungsumgebung für Antriebssysteme. Abgeleitet wurde dieser Ansatz vom klassischen Hardware-in-the-Loop-Ansatz (HiL). Dieser bezieht sich ausschließlich auf das Testen von Steuergeräten und Steuergerätefunktionen, integriert aber bereits „die Akteure“ Fahrer und Umwelt konsequent. Beim X-in-the-Loop-Framework steht das „X“ jeweils für den zu untersuchenden Prüfling, die Unit Under Test (UUT). Diese kann eine einzelne Antriebsstrangkomponente, zum Beispiel eine Kupplung, ein Steuergeräte-Code oder ein komplettes Fahrzeug sein – jeweils real oder virtuell. Auf jedem Systemdetaillierungslayer (XiL-Layer) wird das Restfahrzeug simuliert. Mit dem Ziel, realitätsnahe Wechselwirkungen und Belastungen für die UUT zu gewährleisten.[Alb10]

Der Simulationsfortschritt wird getriggert, durch diskrete Ereignisse. Je größer das betrachtete Szenario und je mehr Kommunikationsknoten oder Fahrzeuginstanzen simuliert werden, desto mehr Ereignisse werden pro Simulationsschritt ausgelöst und desto höher sind folglich die Anforderungen an die Rechenleistung. Daher ist insbesondere hier die Wahl des richtigen Abstraktions- oder Genauigkeitsgrades wichtig. Die Technik, die dabei angewendet wird, ist das sogenannte Multi Resolution Modeling (MRM). Dabei werden komplexe Modelle, zum Beispiel das Umwelt- oder Verkehrsmodell parameterabhängig im Detaillierungsgrad beziehungsweise der Performance variiert. [Alb10]

Um die funktionale Sicherheit neuer Fahrerassistenzsysteme (FAS) abzusichern, kommen bei OEMs und Zulieferern je nach Entwicklungsphase unterschiedliche Test- und Bewertungsverfahren zum Einsatz. Simulationsmethoden wie Model-in-the-Loop (MiL) und Software-in-the-Loop (SiL) werden vor allem in einer frühen, Hardware-in-the-Loop (HiL) in einer späteren Entwicklungsphase eingesetzt. Die Systeme werden in ein virtuelles Fahrzeug integriert und im virtuellen Fahrversuch geprüft. Auf diese Weise können in sehr kurzer Zeit zahlreiche Tests unter beliebig konfigurierbaren und reproduzierbaren Bedingungen durchgeführt werden [1]. Diese simulativen Methoden sind allerdings kein Ersatz für den realen Fahrversuch. Auch wenn die aktuellen Modelle sehr gut sind, besteht die Unsicherheit, dass die Ergebnisse nicht exakt auf das reale Fahrzeugverhalten übertragbar sind. Darüber hinaus ist eine subjektive Bewertung im Fahrversuch unerlässlich, um die Akzeptanz des Fahrers zu gewährleisten. Das Testen von FAS im klassischen Fahrversuch auf Straßen wird jedoch mit zunehmender Komplexität der Systeme immer aufwendiger. Während bei Einparkassistenten hauptsächlich nur stehende Objekte variiert werden müssen, um verschiedene Parkszenarien darzustellen, wird bei Systemen zur Unfallvermeidung wie dem Notbremsassistenten mindestens ein potenzieller Unfallgegner benötigt. In derzeit eingesetzten Verfahren

werden hierfür sogenannte Dummy-Targets eingesetzt (zum Beispiel in [2]). Diese Ziele sind hauptsächlich für Auffahrszenarien im Längsverkehr ausgelegt. Weitere relevante Verkehrssituationen, wie etwa Querverkehr an einer Kreuzung, plötzlich einscherende Fahrzeuge oder die Kollisionsgefahr mit Fußgängern oder Radfahrern können nur eingeschränkt beziehungsweise mit erheblichem Aufwand untersucht werden. [Sch14]

Die neue Vehicle-in-the-Loop-Simulation (ViL) ist nach HiL und SiL eine innovative Methode, um die Komplexität bei der funktionalen Absicherung von Fahrerassistenzsystemen beherrschbar zu machen und gleichzeitig den Testaufwand zu reduzieren. Diese Methode kombiniert die Vorteile des Fahrversuchs und der Simulation, indem ein reales Fahrzeug in eine virtuelle Verkehrsumgebung eingebunden wird. [Sch14]

Dieses Testkonzept bietet folgende Vorteile: : reale Fahrdynamik : weniger materieller Aufwand als im rein realen Fahrversuch : reproduzierbare Testbedingungen : beliebig konfigurierbare Szenarien.

Weitere Anwendungsfelder für ViL sind unter anderem das Testen von Spurwechselassistenten, Notbremsassistenten mit und ohne Fußgängerbeziehungsweise Radfahrererkennung, Ausweichassistenten sowie die Untersuchung komplexer, autonomer Fahrfunktionen im virtuell fließenden Verkehr. [Sch14]

2.1.2 Klassifizierung von Fahrszenarien

- Terminologie, Unterscheidung Szene, Szenario, ... - Tabelle + Erklärung

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi.

2.2 Künstliche Neuronale Netze

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis.

2.2.1 Maschinelles Lernen

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi.

2.2.2 Convolutional Neural Network

A	B	C
1	2	3
4	5	6

Tabelle 2.1: very basic table

2.2.3 Recurrent Neural Network

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat [latexcompanion].

2.2.4 Training mit synthetischen Daten

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat [latexcompanion].

3. Konzept

In diesem Kapitel wird das gesamte Konzept für die Klassifizierung von Fahrszenarien erklärt.

In Abschnitt 3.2 wird die Auswahl der Werkzeuge etc. beschrieben

3.1 Struktur

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

3.2 Methodik

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

4. Umsetzung

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua.

4.1 Datenvorbereitung

At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

4.1.1 Definition von Fahrszenarien

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

4.1.2 Simulation mit CarMaker

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur adipiscing elit, sed diam nonumy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

4.1.3 Daten Labeling

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

4.2 Training

Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat.

4.2.1 Inputdaten

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi.

4.2.2 Architektur des neuronalen Netzes

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi.

4.2.3 Experimente

Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, At accusam aliquyam diam diam dolore dolores duo eirmod eos erat, et nonumy sed tempor et et invidunt justo

labore Stet clita ea et gubergren, kasd magna no rebum. sanctus sea sed takimata ut vero voluptua. est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur

4.3 Evaluation

Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat.

4.3.1 Simulierte Daten

Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat.

4.3.2 Reale Daten

Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat.

5. Zusammenfassung

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum.

5.1 Ergebnis und Diskussion

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

5.2 Ausblick

Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis.

Literaturverzeichnis

- [Alb10] Albert Albers u. a. “X-in-the-Loop-Framework für Fahrzeuge, Steuergeräte und Kommunikationssysteme”. In: *ATZelektronik* (2010).
- [Bac17] Johannes Bach u. a. “Reactive-replay approach for verification and validation of closed-loop control systems in early development”. In: *SAE World Congress* (2017).
- [Boc08] Thomas Bock u. a. “Vehicle in the Loop: Ein innovativer Ansatz zur Kopplung virtueller mit realer Erprobung”. In: *ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift* (2008).
- [Bun05] Der Beauftragte der Bundesregierung für Informationstechnik. *V-Modell XT*. 2005. URL: https://www.cio.bund.de/Web/DE/Architekturen-und-Standards/V-Modell-XT/vmodell_xt_node.html (besucht am 19. 10. 2018).
- [Com14] SAE On-Road Automated Vehicle Standards Committee u. a. “Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems”. In: *SAE Standard* (2014).
- [HK15] Stephan Hakuli und Markus Krug. “virtuelle Integration”. In: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. 2015.
- [Kin17] Christian King u. a. “Identifikation von Fahrszenarien während einer virtuellen Testfahrt”. In: *INFORMATIK 2017*. 2017.
- [PL16] Raphael Pfeffer und Tobias Leichsenring. “Continuous development of highly automated driving functions with vehicle-in-the-loop using the example of Euro NCAP scenarios”. In: *Simulation and Testing for Vehicle Technology*. 2016.

- [Sch14] Sebastian Schwab u. a. “Durchgängige Testmethode für Assistenzsysteme”. In:
ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift (2014).

Abkürzungsverzeichnis

FAS Fahrerassistenzsysteme. 3–5

ITIV Institut für Technik der Informationsverarbeitung. iii

T Test. iii

ViL Vehicle-in-the-Loop. 3

Tabellenverzeichnis

2.1	very basic table	9
-----	----------------------------	---

Abbildungsverzeichnis

2.1	Norm SAE J3016 für die Level des autonomen Fahrens, entnommen aus [Com14]	4
2.2	V-Modell, adaptiert aus [HK15]	5

A. Appendix Title

A.1 Teil 1 des Anhangs

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur adipiscing elit, sed diam nonumy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat.

Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi.

Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id

quod mazim placerat facer possim assum. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat.

Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis.

At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, At accusam aliquyam diam diam dolore dolores duo eirmod eos erat, et nonumy sed tempor et et invidunt justo labore Stet clita ea et gubergren, kasd magna no rebum. sanctus sea sed takimata ut vero voluptua. est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur