

Entwicklung und prototypische Umsetzung von automatisierten Testverfahren nach AFGBV

Trautmann, Toralf¹; Mendt, Franziskus²; Irrasch, Tom¹; Blenz, Konstantin³

¹ University of Applied Sciences Dresden (HTW), Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden, Germany
toralf.trautmann@htw-dresden.de

² ZAFT e.V. an der HTW Dresden, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden, Germany
franziskus.mendt@htw-dresden.de

³ TraceTronic GmbH, Stuttgarter Str. 3, 01189 Dresden, Germany
konstantin.blenz@tracetronic.de

Kurzfassung: Mit der „Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung – AFGBV“ sind die Randbedingungen für die Typzulassung und den täglichen Betrieb autonomer Fahrzeuge geregelt. Das Problem besteht aktuell in der technischen Umsetzung der Verordnung für ausgewählte Nutzungsszenarien. Eine besondere Herausforderung stellt hierbei die Durchführung der in §13 Absatz 7 geforderten täglichen erweiterten Abfahrkontrolle dar. An der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTWD) erfolgt in Zusammenarbeit mit der tracetronic GmbH die technische Umsetzung dieser Abfahrkontrolle anhand ausgewählter Einsatzszenarien. Ziel ist es, einen Handlungsleitfaden für Hersteller, Prüforganisationen und Dienstleister zu entwickeln. Besonderes Augenmerk gilt dabei der zeitsynchronen Aufzeichnung und dauerhaften Speicherung der erhobenen Daten. Diese unterscheiden sich je nach Anwendungsfall erheblich und sind besonders für die Klärung der Schuldfrage im Falle eines Unfalls von grundlegender Bedeutung. Auf Basis eines prototypischen Aufbaus des Testfeldes und der Laboreinrichtung an der HTWD erfolgt die Bewertung der Praxistauglichkeit dieses Handlungsleitfadens in den Bereichen Planung des Testablaufs, Steuerung der Testdurchführung und Protokollierung sowie die Identifikation fehlender Komponenten.

1 Einleitung

Autonome Fahrzeuge werden in den nächsten Jahren in unterschiedlichen Ausprägungen die individualisierte Mobilität dramatisch ändern. In Deutschland sind solche Fahrzeuge seit dem 24.06.2022 zulassungsfähig ([SVG24] und [AFG24]). Die entsprechende Verordnung (Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs- und- Betriebs-Verordnung - AFGBV) regelt dabei sowohl die Zulassung der Fahrzeuge als auch die Anforderungen an den täglichen Betrieb. Solche Fahrzeuge stellen die aktuell höchste Stufe der Automatisierung dar (Stufe 5) und sind ohne Präsenzfahrende im Zulassungsbereich nutzbar. In der Verordnung sind zahlreiche Vorgaben sowohl für die Typzulassung als auch den sicheren Fahrbetrieb vorgegeben. Die HTWD verfügt mit dem Prüffeld für automatisierte Fahrfunktionen über eine technische Einrichtung, die eine Entwicklung und den Test entsprechender Fahrfunktionen in einem realen Versuchsfahrzeug ermöglicht.

Im Projekt ist zunächst die Realisierung einer prototypischen täglichen Betriebskontrolle für ein umgebautes Versuchsfahrzeug (BMW i3) vorgesehen. Nachdem diese für ausgewählte Funktionen realisiert wurde, ist der Testbetrieb für einen Shuttle-Service vorgesehen. Hierfür soll in Kooperation mit der FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH entweder für dieses Fahrzeug oder ein anderes Fahrzeug die Zulassung nach AFGBV für einen eingeschränkten Betriebsbereich erfolgen. Auf Grund der Lage der HTWD bietet sich hierfür eine Fahrt vom Prüffeld zum Dresdner Hauptbahnhof an. Damit kann ein praxisrelevanter Test auch im Rahmen von Lehrveranstaltungen erfolgen.

2 Anforderungen der AFGBV

In der Verordnung werden alle Bereiche des Betriebes von autonomen Fahrzeugen geregelt. Dies beginnt bei der Typzulassung, die jetzt auch die festgelegten Betriebsbereiche umfasst, und endet bei den Anforderungen und Pflichten von Hersteller, Halter und Technischer Aufsicht. Besonders die umfangreichen Anforderungen an den Halter (§ 13) sind für den sicheren Betrieb von großer Bedeutung. Dort heißt es beispielsweise (Zitat):

- (7) *Die erweiterte Abfahrkontrolle im Sinne des Absatzes 1 Nummer 2 beginnt mit einer Probefahrt, um die Systeme zu aktivieren. Im Anschluss an die Probefahrt werden folgende Bereiche überprüft:*
 - 1. *Bremsanlage,*
 - 2. *Lenkanlage,*
 - 3. *Lichtanlage,*
 - 4. *Reifen/Räder,*
 - 5. *Fahrwerk,*
 - 6. *sicherheitsrelevante elektronisch geregelte Fahrzeugsysteme sowie die Sensorik zur Erfassung externer und interner Parameter und*
 - 7. *mechanische Fahrzeugsysteme für die aktive und passive Sicherheit.*

Es gibt keine weiteren Aussagen zur Parametrierung der jeweiligen Systeme, beispielsweise eine Mindestfahrgeschwindigkeit oder eine Objektkonstellation für Umfeldbedingungen. Im Rahmen des Projektes sollen daher an verschiedenen Beispielsituationen der technische und zeitliche Aufwand sowie die Mindestmenge an dauerhaft zu speichernden Informationen ermittelt werden. Mit der Erweiterung der Software *ecu.test* der Firma tracetronic GmbH soll dann ein Werkzeug zur Planung, Durchführung und Verwaltung für den professionellen Einsatz zur Verfügung gestellt werden.

3 Konzeption

Bei der Konzeption des Projektes war zu berücksichtigen, dass nicht allein der Forschungsgegenstand (AFGBV-Vorgaben) betrachtet werden muss, sondern die neuen Testfälle- und verfahren auch für aktuelle Serienentwicklungen direkt eingesetzt werden können. Zudem ist eine Nutzung in der Lehre seitens der HTWD erforderlich, da nur so ausreichend Zeiten für die praktische Erprobung zur Verfügung stehen. Der grundlegende Ablauf wurde daher in dieser Weise in Absprache mit den Projektpartnern festgelegt:

- Start im Werkstattbereich des Fahrzeug-Technikums,
- Durchführung einer oder mehrerer Versuche auf dem HTWD-Prüffeld,
- Rückfahrt ins Technikum zur Durchführung der weiteren Tests.

Als eine besonders gut geeignete Funktion hat sich dabei eine automatische Notbremsung auf ein stehendes oder bewegliches Zielobjekt (Person) herausgestellt. Eine ausführliche Darstellung zur Relevanz im Bereich automatisierter Shuttle-Busse (Projekt RABus) und zur systematischen Bewertung solcher Funktionen findet sich in [GAO23]. Insbesondere in Verbindung mit einem Fußgängerüberweg gibt es hier verschiedene Szenarien mit hoher praktischer Relevanz. Bei der Kollision mit einem Cruise-Robotertaxi im Jahr 2023 war eine ähnliche Situation letztlich der Auslöser für die nachfolgende Einstellung der Erprobungsfahrten [KOO24]. Im Projekt sollen daher 4 Varianten realisiert und detailliert untersucht werden. Diese sind in Abb. 1 dargestellt.

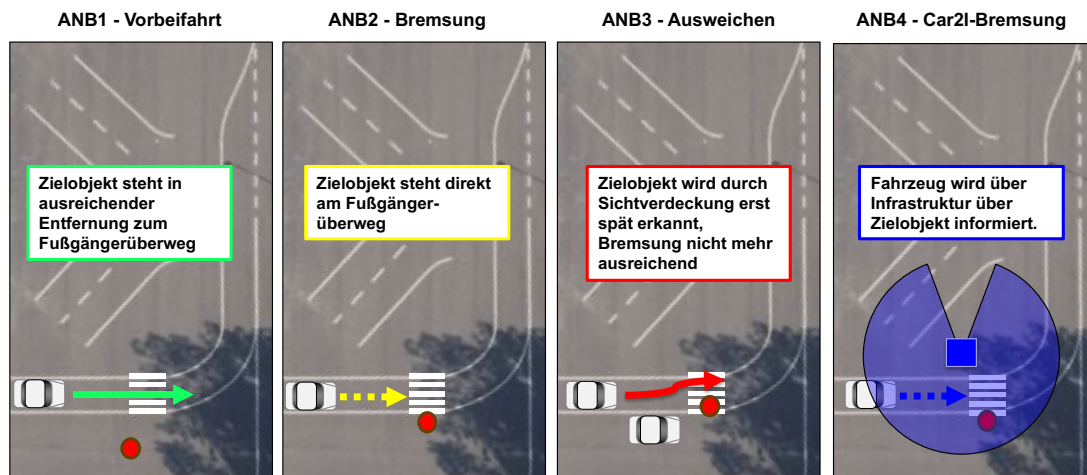


Abbildung 1: Ausgewählte Testfälle für die Funktion Automatische Notbremse (ANB)

An einem Fußgängerüberweg kommt es dabei nicht nur auf die Kollisionsvermeidung an, sondern ebenso auf die sichere Interpretation der Fußgängerintention. Autonome Fahrzeuge werden auf Sicherheit hin optimiert werden. Dabei kann die Situation entstehen, dass ein Fußgänger zwar direkt am Überweg steht, trotzdem aber nicht losläuft. Hierfür müssen sichere Lösungen gefunden werden, z.B. eine langsame Weiterfahrt mit Sicherheitsabstand (seitliches Ausweichen bei Möglichkeit) oder eine eindeutige Signalisierung für den Fußgänger. Zusätzlich zu diesen fahrzeugautarken Auslösungen ist eine Veh2I-Kommunikation mit einer Verkehrsüberwachung vorgesehen. Hierzu ist eine mobile Einheit der Firma NewSense Engineering GmbH (München) vorhanden, die zukünftig über ein WLANp-Netzwerk relevante Objektdaten an das Versuchsfahrzeug übermitteln wird.

4 Technische Umsetzung

Die Basis des Prototyps bildet ein umgebauter BMWi3. Durch einen Zusatzmotor am Lenkgetriebe erfolgt die Querführung des Fahrzeugs. Für die Längsführung im Komfortbereich wurde das Fahrpedal elektronisch manipuliert. Durch Rekuperation sind so Beschleunigungen bis etwas $a_L = -2,0 \text{ m/s}^2$ möglich. Eine Notbremsung kann durch einen Manipulator am Parkbremsshalter erfolgen. Dieser Aufbau bietet im Gegensatz zur Busmanipulation die Möglichkeit der Nutzung in anderen Serienfahrzeugen. Der Signalflussplan inklusive des verwendeten Lidars (für ANB und Lokalisierung) ist in Abb. 2 dargestellt.

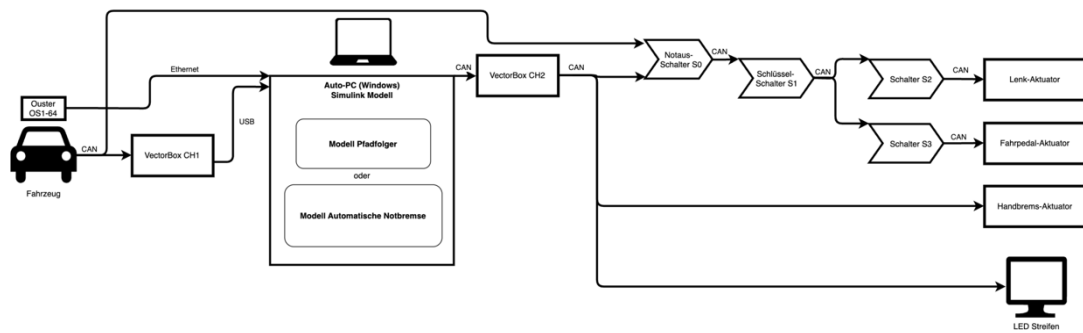


Abbildung 2: Signalflussplan des Versuchsträgers (BMW i3, IRR24)

Da das Fahrzeug eine Ausnahmegenehmigung für Stufe 3 und 4 für Sachsen besitzt, ist eine Notabschaltung integriert. Ein zusätzlicher LED-Leuchtbalken kann sowohl für die Insassen oder auch für umgebende Personen zur Information genutzt werden. Verschiedene Ausprägungen werden vor allem im Rahmen der Veranstaltungen im Lehrgebiet Kfz-Mechatronik (Prof. Toralf Trautmann) implementiert und im Realversuch getestet. Verschiedene Beispiele für bereits erfolgte Realisierungen finden sich auf dem youtube-Kanal des Instituts (youtube: MechLabDE).

Für die erste Stufe der Realisierung wurde zur Querführung ein Pfadfolge-Regler genutzt. Da aktuell noch keine echtzeitfähige Positionierung über den Lidar erfolgen kann, wird die aktuelle Position nur auf Grund der Fahrzeug-Eigenbewegungssensorik ermittelt. Dies reicht aber aus, um die in Abb. 3 dargestellte Runde auf dem HTWD-Prüffeld mit $v < 10 \text{ km/h}$ abzufahren. Voraussetzung ist aber hierfür eine exakte Startpositionierung im Garagenbereich und eine genau bekannte Beladung.

Nach der Einfahrt in den Garagenbereich sind verschiedene automatische Tests vorgesehen, die einen besonderen Bezug zur periodischen Hauptuntersuchung haben. Für die FSD Fahrzeugsystemdaten GmbH (Dresden) wurde beispielsweise eine Methode entwickelt, um bei der Einfahrt eines zu prüfenden Fahrzeugs die Scheinwerfereinstellung effektiv zu ermitteln [DEG20]. Solche Testverfahren eignen sich sehr gut zur Integration in den vorgesehenen Ablauf.



Abbildung 3: Beispiel für eine automatisierte Testfahrt (IRR24).

5 Erweiterte Untersuchungen und Einbindung der Steuerungssoftware

Neben dem BMW i3 als autonomem Fahrzeug soll die konzipierte Steuerungssoftware auch für automatisierte Tests an anderen Versuchsfahrzeugen eingesetzt werden. Daher wurde die ANB-Eigenentwicklung auf Basis von Lidar-Sensorik in einem modularen Aufbau mit der Software Matlab/Simulink erstellt. Hierdurch ist es sehr einfach möglich, Algorithmen je nach Anwendungsfall zu wechseln (z.B. eine einfache Erfassung für Praktikumsversuche) und die Steuerung über *ecu.test* auszuführen. Die Vernetzung ist in Abb. 4 dargestellt.

Die umfangreiche Vorverarbeitung der Lidar-Daten erfolgt dabei auf einem zusätzlichen CAR-PC. Für bestimmte Modell (Velodyne oder Ouster) können dabei die in Matlab implementierten Treiber genutzt werden. Für andere Modelle erfolgt die Vorverarbeitung in einem ROS2-Knoten. Die Anbindung an ein Simulink-Modell ist dann ebenfalls durch die ROS2-Unterstützung möglich.

Ein wichtiger Untersuchungsschwerpunkt im Bereich der Lidar-Sensorik ist das Verhalten bei schlechten Witterungsverhältnissen. Bedingt durch das Funktionsprinzip kann es zu funktionalen Einschränkungen kommen. Erste systematische Untersuchungen haben aber zumindest für statische Situationen keine gravierende Änderung aufgezeigt [TRA24]. Mit dem neuen Versuchsaufbau sind solche Untersuchungen nun auch dynamisch möglich. Aus den Ergebnissen kann dann abgeleitet werden, ob eine aufwendige Witterungssimulation (z.B. Regen) für eine tägliche Abfahrkontrolle zwingend notwendig sein wird.

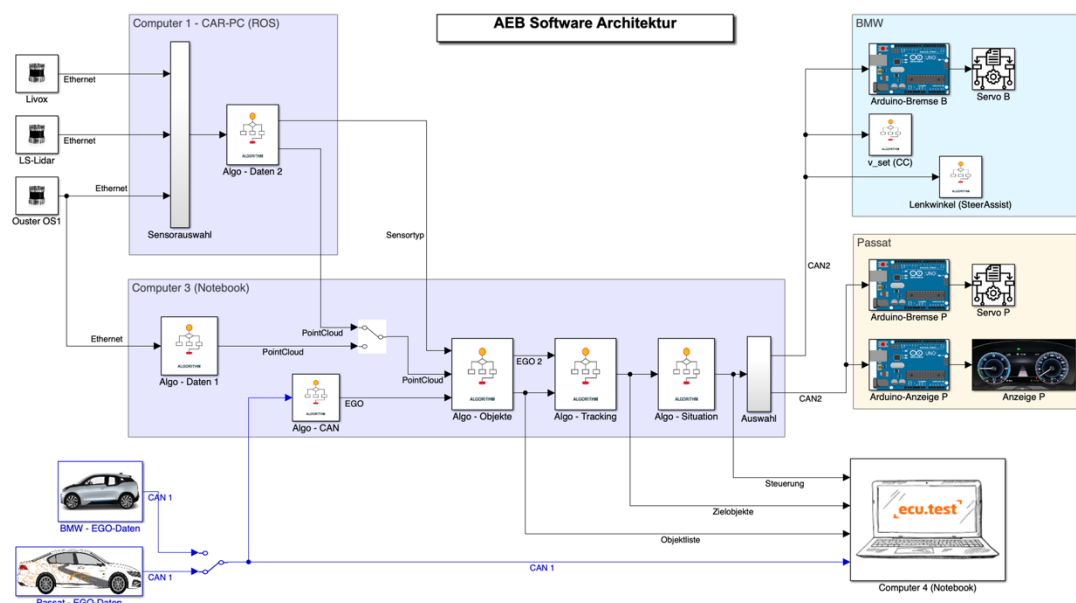


Abbildung 4: Signalflussplan des modularen Prototyps.

Der grundlegende Ablauf für einzelne Tests ist folgendermaßen geplant:

- 3D-Simulation des Ablaufs inklusive Umfeldsensorik zur Ermittlung der notwendige Parametrierung,
- Durchführung der Versuchsfahrten mit Messdatenaufzeichnung,
- Auswertung und Protokollierung,
- Abgesicherte Ablage der relevanten Daten.

Besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang die passende Auswahl der für die jeweilige Situation relevanten Daten. Gerade beim Einsatz von umfangreicher Umfeldsensorik treten sehr große Datenmengen auf. Es muss daher eine selektive Auswahl erfolgen, um bei möglichst geringem Speicherbedarf die sichere Funktionalität der sicherheitskritischen Systemen bei Bedarf nachweisen zu können. Neben den Entwicklungsbereichen der Fahrzeughersteller ist für die Ausgestaltung der Entwicklung auch die Mitarbeit von Kfz-Sachverständigen vorgesehen.

In der gegenwärtigen Startphase ist immer die Anwesenheit einer Präsenzperson vorgesehen. Im weiteren Projektverlauf wird diese durch teleoperierte Eingriffe ersetzt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

An der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTWD) entsteht in enger Zusammenarbeit mit der tracetronic GmbH ein Testfeld für autonome Fahrzeuge. Im Fokus steht dabei die Ableitung praxisrelevanter Abläufe für die vorgeschriebene tägliche Abfahrkontrolle. Ein modularer Aufbau erlaubt dabei auch die Nutzung einzelner Testelemente für Fahrzeuge mit geringerer Automatisierungsstufe.

7 Literaturverzeichnis

- [SVG24] <https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/StVG.pdf> (Abruf: 01.09.2024)
- [AFG24] https://www.gesetze-im-internet.de/afgbv/___1.html (Abruf: 01.09.2024)
- [GAO23] Gao, K., Weinrich, U., Riemer, T., and Reuss, H.-C., “Technical Evaluation of the Obstacle Detection for Automated Shuttle Buses” SAE Technical Paper 2023-01-1227, 2023
- [KOO24] Philip Koopman, “Lessons from the Cruise Robotaxi Pedestrian Dragging Mishap” Preprint: Accepted by IEEE Reliability Magazine, 2024
- [IRR24] Tom Irrasch, “Entwicklung eines Funktions-Prototypen für die erweiterte Abfahrkontrolle autonomer Fahrzeuge laut AFGBV” Diplomarbeit HTW Dresden, 2024
- [DEG20] Degenkolbe, Marcus; Trautmann, Toralf, “Prüfsystem zum Prüfen eines Scheinwerfers eines Fahrzeugs und Verfahren davon” Deutsche Patentanmeldung DE102019111210A1, 2020
- [TRA24] Trautmann, Toralf, “Prüfsystem zum Prüfen eines Scheinwerfers eines Fahrzeugs und Verfahren davon” Deutsche Patentanmeldung DE102019111210A1, 2020
- [NSE24] <https://www.newsense-engineering.de> (Abruf: 01.09.2024)