

# Bewerten der Verkehrssicherheit von autonomen Fahrzeugen

Felix Müller\* , Philipp Nenninger\*, Eric Sax\*\*

\*Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM), Hochschule Karlsruhe;

\*\*Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV),  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Felix.Mueller@h-ka.de, Philipp.Nenninger@h-ka.de, Eric.Sax@kit.edu

**Abstract:** Mit der UN-Regelung Nr. 157 für die Bedingungen zur Genehmigung von automatischen Spurhalteassistenzsystemen ist der Weg für die ersten hochautomatisierten Fahrzeuge im regulären Einsatz auf öffentlichen Straßen frei. Um die Verkehrssicherheit von Fahrzeugen über deren gesamte Lebensdauer sicherzustellen, steht mit der Hauptuntersuchung ein etabliertes Instrument zur Verfügung, um einen technischen Mindeststandard zu sichern. Mit der Einführung von hochautomatisierten Fahrfunktionen ist es erforderlich, die Hauptuntersuchung auf diese Systeme zu erweitern und deren Technik in die Bewertung der Verkehrssicherheit mit einzubeziehen. Auch Softwareupdates over the Air und künstliche Intelligenz liefern in diesem Zusammenhang neue Herausforderungen. Der Beitrag gibt eine Übersicht über einen neuen Ansatz, wie Fahrzeuge in Zukunft auf die Funktionsfähigkeit der autonomen Fahrsysteme überprüft werden können und welche Voraussetzungen dazu notwendig sind. Ein Ziel ist dabei einen Ansatz zu finden, der sich in möglichst vielen bestehenden Örtlichkeiten für die technische Überprüfung von Fahrzeugen integrieren lässt. Das Prozedere ist dabei geteilt und setzt auf den Einsatz eines Prüfstandes zur Evaluation der Umgebungssensorik der Fahrzeuge, auf eine Überprüfung der Softwareversionen in den Fahrzeugen und ergänzt die Untersuchung der Aktorik der Fahrzeuge um Merkmale, die aufgrund der Fahrsysteme im Vergleich zu Fahrzeugen ohne automatisierte Fahrfunktionen an Relevanz gewonnen haben.

## 1 Einleitung

Der Wunsch mehr Komfort in Fahrzeuge zu bringen und gleichzeitig die Zahl der Verletzten im Straßenverkehr zu reduzieren hat über die vergangenen Jahre zu einer immer größeren Zahl an Fahrerassistenzsystemen geführt, die bei der Fahrzeugführung unterstützen. Das große Ziel dabei: autonome Fahrzeuge, sodass der Faktor Mensch, der in Baden-Württemberg im Jahr 2021 in 87% der Unfälle als Ursache festgehalten wurde [Sta22], aus den Unfallstatistiken entfällt. Darüber hinaus treibt die Intention, die Fahrzeit wirtschaftlich nutzbar zu machen, die Entwicklung von automatisierten Fahrfunktionen. Mit Verabschiedung der UN-Regelung 157 im Jahr 2021 wurden „einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen hinsichtlich des automatischen Spurhalteassistenzsystems“ [UNE21b] festgelegt, was den Weg frei macht für die ersten automatisiert fahrenden Fahrzeuge im öffentlichen Straßenverkehr (Level 3 nach [SAE21]). Fahrzeuge nach Level 3 zeichnen sich dadurch aus, dass die Fahrfunktion situationsabhängig die ge-

samte Fahrzeugführung übernimmt und damit vollständig für die Verkehrssicherheit des entsprechenden Fahrzeugs relevant wird. Für den Kontext dieser Veröffentlichung wird als Ausgangssituation ein Fahrzeug der Klasse  $M_1$  angenommen, was einem PKW zur Personenbeförderung entspricht. Des Weiteren wird eine Untersuchung in Deutschland zugrunde gelegt. Dies soll die weiteren Ausführungen fokussieren, der beschriebene Ansatz ist aber explizit nicht auf diese Fahrzeugklasse beschränkt, sondern für die Anwendung über alle relevanten Fahrzeugklassen vorgesehen.

## **2 Hauptuntersuchung in Deutschland – Stand der Technik**

Das Werkzeug zur Sicherstellung der Verkehrssicherheit von im Betrieb befindlichen Fahrzeugen ist die periodisch wiederkehrende Hauptuntersuchung. In deren Verlauf werden die vorgeführten Fahrzeuge nach [StV21] Anlage VIIIa überprüft. Diese geht zurück auf EU-Richtlinien und Verordnungen, wie beispielsweise 2014/45/EU, die eine einheitliche Basis für die Mindestanforderungen im Geltungsraum schaffen sollen und in das jeweilige nationale Recht überführt und dort gegebenenfalls an lokale Systeme angepasst bzw. ergänzt werden. Hierbei werden die Fahrerassistenzsysteme zurzeit nur bedingt in geringem Umfang berücksichtigt [MNS20] und autonome Fahrfunktionen derzeit aufgrund von bisher fehlenden Fahrzeugen im freien Verkauf noch gar nicht. Die Untersuchung der Fahrerassistenzsysteme erstreckt sich dabei aktuell auf die Frage, ob die zugehörige Sensorik vorhanden und augenscheinlich unbeschädigt ist. Die Hauptuntersuchung ist als eine fabrikatsübergreifende Reihenuntersuchung angelegt, das heißt, die genaue Implementierung einer Funktion durch den jeweiligen Hersteller spielt keine Rolle bei der Untersuchung der betreffenden Funktion. Für die Betrachtung der Verkehrssicherheit wird das Fahrzeug im Bezug auf die Ausführung, den Zustand, die Funktion und die Wirkung seiner Bauteile und Systeme untersucht [StV21, Anlage VIIIa, 4]. Die Untersuchung hat dabei „zerstörungsfrei und ohne Ausbau von Fahrzeugeinrichtungen und -teilen zu erfolgen“ [StV21, Anlage VIIIa, 5].

## **3 Stand der Forschung**

Die Frage, wie eine Hauptuntersuchung aussehen kann, die eine Einschätzung über die Sensorsysteme eines automatisiert fahrenden Fahrzeugs gibt, wurde zwischenzeitlich auch an weiterer Stelle aufgegriffen. Das „ErVast“-Projekt schlägt dabei einen mehrstufigen Ablauf mit Erprobungsfahrten auf einem Prüfgelände vor. Beginnend mit einem Fahrmanöver, welches das zu untersuchende Fahrzeug ausführen muss, wird das automatische Bremsen vor einem Hindernis überprüft. Der zweite Teil der Untersuchung sieht anschließend vor, dass ein mobiles Ziel auf einem Prüfgelände um das zu untersuchende Fahrzeug herum fährt, um die Sensorik des Fahrzeugs zu vermessen. Abschließend wird noch mit einer gesteuerten Lichtsignalanlage die Erkennung von Ampelphasen überprüft [ErV21]. Hierbei ist ein hoher Platzbedarf genauso eine Herausforderung, wie es die Witterungseinflüsse auf einem offenen Testgelände sind. Dies führt dazu, dass einheitliche Voraussetzungen für die Untersuchung praktisch nicht erreichbar sind.

## 4 Erweiterung der Hauptuntersuchung für automatisierte / autonome Fahrzeuge

Um die Aussage über die Verkehrssicherheit, die heute aus der Hauptuntersuchung bereits abgeleitet wird, auf hochautomatisierte Fahrzeuge zu übertragen, ist es nach [GMK<sup>+</sup>21] erforderlich, den Umfang der Hauptuntersuchung zu erweitern. Als notwendige Überprüfungskriterien für die Erweiterung wurden dort ermittelt: für die Umgebungserfassung erforderliche Sensoren, für die Fahrfunktion erforderliche Aktoren sowie die Steuergeräte der Fahrfunktion und deren ausgeführte Software. Daher kann für die Betrachtung im Rahmen einer Hauptuntersuchung ein hochautomatisiertes Fahrsystem wie in Abbildung 1 gezeigt zugrunde gelegt werden.

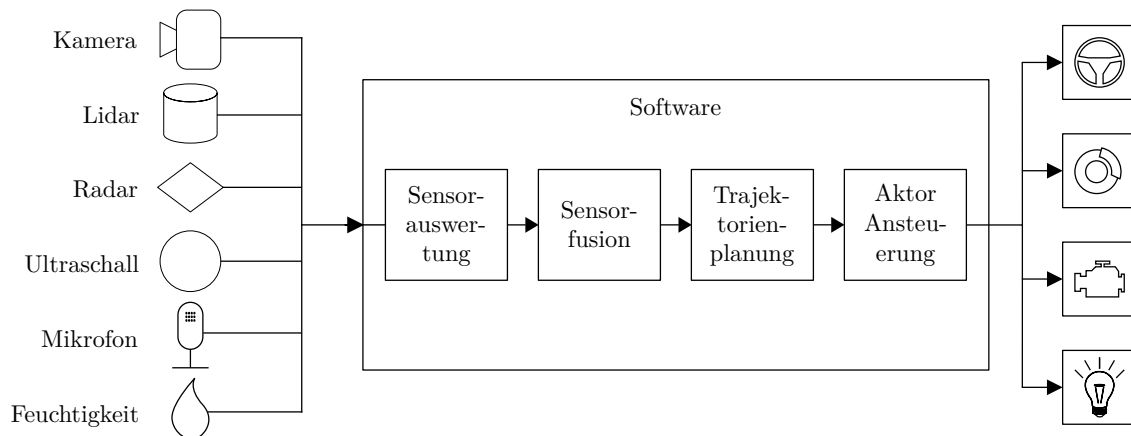


Abbildung 1: Reduzierte Darstellung eines automatisierten Fahrsystems.

Von Interesse im Rahmen einer Hauptuntersuchung ist dabei vor allem der Zustand der jeweiligen Bestandteile [StV21, Anlage VIIIa, 4 und vgl. 6]. Dabei unterscheiden sich zwischen zwei sonst identischen Fahrzeugen die physisch vorhandenen Komponenten der Systeme, und hier besonders deren exponiert montierte Untermenge, sowie die Komponenten, die einer normalen Abnutzung auch im regulären Gebrauch unterliegen. Geschuldet ist dies den Umwelteinflüssen, der individuellen Fahrweise, Qualität und Art der durchgeführten Reparaturarbeiten und weiteren Ereignissen, die im Fahrzeugleben individuell auftreten. So können beispielsweise nicht sachgerechte Reparaturen am Wärmetauscher der Klimaanlage dazu führen, dass der Radarsensor in der Front des Fahrzeugs nicht mehr kalibriert ist, wenn dieser an der Frontschürze montiert war und mit abgebaut wurde. Das führt zur weiteren Überlegung, dass auch andere externe Einflüsse wie Steinschläge oder Unfälle die Problematik verschärfen können. Daher ist davon auszugehen, dass diese Sensorik besonders relevant ist für die Frage, ob ein Fahrzeug verkehrssicher ist.

### 4.1 Überprüfung der Sensorik zur Umgebungserfassung

Besonders Kamera, Radar und Lidar bilden die Basis für die Erfassung der Umwelt. Damit ist deren korrekte Funktion Voraussetzung für den unfallfreien Betrieb. Dazu müssen diese Systeme korrekt kalibriert sein, sodass erkannte Objekte und Hindernisse richtig in der Fahrfunktion berücksichtigt werden. Ein Überprüfen der Kalibrierung deckt dabei die

Wirkkette bis hin zur Softwareschnittstelle in den verarbeitenden Systemen ab, sodass eine Funktion bis zum Baustein „Sensorauswertung“ (vgl. Abbildung 1) in einem Prüfschritt untersucht werden kann.

Das größte Gefahrenpotential im Falle einer Fehlfunktion für Insassen und andere Verkehrsteilnehmer geht dabei von den Systemen zur Überwachung des Bereichs vor dem Fahrzeug aus. Je nach Fahrzeugtrajektorie ist aber auch der restliche Bereich um das Fahrzeug von Interesse für die Frage der Verkehrssicherheit. Für die Überprüfung der Sensoren kommen dabei Zielobjekte zum Einsatz, um über deren Lokalisierung relativ zum Fahrzeug sowie dem Abgleich mit der bekannten, korrekten Position eine Aussage über die Funktionsfähigkeit und die Kalibrierung des Systems zu erhalten. Spezielle Ziele, abgestimmt auf die Eigenschaften der jeweiligen Sensoren, erlauben eine eindeutige Identifizierung im Umfeld des Prüfstandes und sollen die Wiederholgenauigkeit der Messungen erhöhen. Gleichzeitig wird durch die unterschiedlichen Zielobjekte erreicht, dass die Sensorsysteme einzeln auf Funktion und Kalibrierung geprüft werden können um auszuschließen, dass eine falsche Kalibrierung in einem Sensorsystem durch ein anderes ausgeglichen werden kann.

## 4.2 Aktorik

Um den Umfang der Hauptuntersuchung in einem angemessenen Rahmen zu halten, bietet es sich an, die einzelnen Kategorien näher zu analysieren.

**Verzögerung:** Die Möglichkeit, das Fahrzeug zu verzögern, stellt die wichtigste Funktion in Sachen Verkehrssicherheit dar. Daher ist neben der optischen Inspektion des Bremsystems auch ein Abbremsversuch vorgesehen, in dem die Verzögerung des Fahrzeugs messtechnisch erfasst wird [StV21, Anlage VIIIa, 6.1].

Dies geschieht bei aktuellen Fahrzeugen, indem Messwerte im Fahrversuch oder auf einem Bremsprüfstand ermittelt werden. Für eine automatisierte Fahrfunktion ist, über die manuelle Verzögerung per Bremspedal hinaus, die digitale Ansteuerung der Systeme von Relevanz, um die Möglichkeit des Bremsengriffs über das System zu evaluieren. Unter Einsatz der aktuell verwendeten Messtechnik und eines Steuerbefehls über eine Diagnosefunktion kann ein Abgleich der digital angeforderten und tatsächlich aufgebrachten Bremswirkung erfolgen, um eine Mangelbewertung zu erreichen.

**Lenkung:** Der technische Zustand der Lenkanlage wird heute bereits bei der Hauptuntersuchung berücksichtigt. Nicht untersucht dagegen wird die Ansteuerung der Lenkung auf einen bestimmten Lenkansschlag hin. Dies würde eine Aussage über den Grad der Funktionserfüllung der Lenkung erlauben, was auch die digitale Ansteuerung mit in die Betrachtung einschließt.

**Antrieb:** Zum aktuellen Zeitpunkt ist der Antrieb eines Fahrzeugs nur in untergeordneter Rolle Bestandteil der Hauptuntersuchung und wird nur in Bezug auf Auffälligkeiten des Zustandes hin betrachtet [StV21, Anlage VIIIa, 6.6]. Dies können visuelle Auffälligkeiten sein, aber auch Besonderheiten, die im Rahmen der kurzen Prüf- und Konditionierungsfahrt auffallen. Sie treffen in selbem Umfang auch auf hochautomatisierte Fahrzeuge zu. Besonders im Hinblick auf die zunehmende Elektrifizierung der Antriebe ist davon auszugehen, dass die Charakteristiken der Antriebe, wie aktuell auch, von weiteren Fak-

toren wie dem Ladestand der Traktionsakkumulatoren abhängt, was bei einer Untersuchung anhand von Messungen zu Resultaten mit nur schwacher Aussagekraft über den tatsächlichen technischen Zustand spricht. Für den Antrieb im Bezug auf automatisierte Fahrfunktionen von Interesse ist daher die Ansteuerung und Fahrtrichtungswahl, welche im Rahmen der Konditionierungsfahrt bzw. beim Manövrieren in die Prüfstelle mit überprüft werden kann.

**Externe Beleuchtung und Signale:** Bei der externen Beleuchtung muss zwischen zwei Gruppen unterschieden werden. Im ersten Fall handelt es sich um die unabhängig des Automatisierungsgrades vorgeschriebene Beleuchtung eines Fahrzeuges wie die Positionsluchten, die Fahrtrichtungsanzeiger, Bremsleuchten und die Leuchten für die Beleuchtung des in Fahrtrichtung liegenden Streckenabschnitts. Diese sind heute bereits Bestandteil der Hauptuntersuchung [StV21, Anlage VIIIa, 6.4], und deren konkrete Untersuchung muss natürlich auch hier dem technischen Fortschritt weiter angepasst werden, um zukünftige Funktionen mit Relevanz für die Verkehrssicherheit zu betrachten. Hierfür ist neben der Funktion der Beleuchtungseinrichtungen auch zwingend eine Aktivierung über die digitale Schnittstelle zu betrachten, da im autonomen Fahrmodus die entsprechende Beleuchtung ebenfalls auf diesem Weg anzusteuern ist.

Im zweiten Fall sind hier eventuell zukünftig einzuführende Techniken mit aufzunehmen, die im Rahmen von hochautomatisiert fahrenden Fahrzeugen bei höherer Automatisierung zum Einsatz kommen könnten, um den Fahrzeugzustand zu signalisieren. Dies erstreckt sich dabei auch auf Signalisierungssysteme für die Kommunikation zum Beispiel mit Fußgängern in gemischten Verkehrssituationen, wie diese etwa in Städten anzutreffen sind. So muss beispielsweise die Intention des Fahrzeugs an die Passanten weiter gegeben werden, um diesen ein sicheres Queren von Straßen zu ermöglichen; dies erfolgt zwischen menschlichen Fahrern und Passanten im aktuellen Fall nonverbal. Entsprechende Systeme sind bei Fahrzeugherstellern in Entwicklung [Gün15].

### 4.3 Software

Neben der Hardware hat vor allem die Software einen großen Einfluss auf die Verkehrssicherheit der automatisierten Fahrfunktion des individuellen Fahrzeugs. Dabei ergibt sich die Besonderheit, dass es bei der Software des automatisierten Fahrsystems, im Gegensatz zur Hardware, nicht zu Verschleiß und Beschädigungen durch die Fahrzeugnutzung kommt. Vielmehr ist der Zustand der Software insofern von Interesse, weil eine veraltete Version Sicherheitslücken, Fehler oder auch veraltete Verkehrsregeln beinhalten kann. Entsprechend ist für eine Hauptuntersuchung die Aktualität der jeweiligen Software zu prüfen, um eine Aussage über die Verkehrssicherheit des betroffenen Fahrzeugs zu erhalten. Darüber hinaus ist die Frage nach der Integrität der aufgespielten Software von Interesse, um auszuschließen, dass sich das Fahrverhalten aufgrund unzulässiger Änderungen verändert.

Im Rahmen der Entwicklung und Freigabe der Software wird deren Qualität in verschiedenen Stufen getestet. Dabei kommen Prüfdurchläufe in unterschiedlichen Integrationsstufen zum Einsatz. Neben Model-in-the-Loop (MiL), Software-in-the-Loop (SiL), Hardware-in-the-Loop (HiL) und Vehicle-in-the-Loop (ViL), in denen besonders die Reaktion auf bestimmte Situationen erprobt werden, müssen sich die Systeme auch in Fahr-

versuchen auf Teststrecken und öffentlichen Straßen beweisen. Am Schluss dieser Tests steht eine Freigabe durch den Hersteller bzw. durch einen Technischen Dienst im Rahmen einer Typgenehmigung durch eine Behörde, wenn genehmigungspflichtige Systeme betroffen sind, bevor ein Einsatz in Serienfahrzeugen erfolgt. Für spätere Änderungen an der Software ist daher ein Mechanismus erforderlich, der im Rahmen der Freigabe von Softwareupdates die Übereinstimmung mit den geltenden Vorgaben sicherstellt. Anschließend kann mit Hilfe einer eindeutigen Kennung für den Softwarestand eine Nachverfolgbarkeit erreicht werden. UN Regulierung Nr. 156 bietet hierfür einen Rahmen [UNE21a].

Zusätzlich zur Überprüfung der konkreten Softwareversion auf die grundsätzlich korrekte Funktion spielt auch die Interaktion der einzelnen Softwarekomponenten miteinander eine Rolle. Dies wird zusätzlich verkompliziert, durch die vielen verschiedenen Varianten, in denen Fahrzeuge aktuell verkauft werden. Für einen 3er BMW sind beispielsweise über 20.000 verschiedene Varianten während der Produktion möglich [BMW22]. Hierdurch gibt es verschiedene Hardwareausstattungen und Softwarefunktionen, die durch die aktualisierte Software korrekt angesprochen und behandelt werden müssen. Dieser Variantenreichtum wird weiter vergrößert, wenn durch die Diversifikation der Zulieferketten oder durch aktualisierte Revisionen von einzelnen Hardwarekomponenten verschiedene Ausführungen im Laufe der Produktion oder durch den Austausch einzelner Komponenten aufgrund von Reparaturen im Lebenszyklus der Fahrzeuge entstehen. Dies erfordert auf Seiten der Hersteller und für die Überprüfung im Rahmen der Zulässigkeit der Software für die einzelnen Fahrzeuge eine gesonderte Berücksichtigung und eine fahrzeugindividuelle Überprüfung der Kombination von den verschiedenen Softwarekomponenten sowie der individuellen Hardwarekonfiguration.

Werden nun die Informationen über die verschiedenen Softwareversionen und -ausführungen zu den kompatiblen Fahrzeugen nebst Integritätsinformationen für die einzelnen Softwarekomponenten zur Verfügung gestellt und in Form einer Datenbank für den Abruf im Rahmen der Hauptuntersuchung vorgehalten, so ist es möglich, die individuelle Überprüfung der Fahrzeuge auf einen Abgleich der installierten Software auf deren Zulässigkeit für das vorliegende Fahrzeug sowie deren Integrität zu reduzieren, da die Software und deren einzelne Funktionen bereits im Vorfeld entsprechende Tests absolviert hat. Da die betreffende Software trotz der Variationen ohne Änderungen auf einer Vielzahl an Fahrzeugen zum Einsatz kommt, ist es effizienter, die Software zentral zu testen und abzugleichen.<sup>1</sup> In diesem Szenario lässt sich eine ungleich höhere Testabdeckung erreichen, als es an einem einzelnen Fahrzeug beispielsweise mit einem ViL-Prüfstand erreichbar wäre [Goo16]<sup>2</sup>. Vor allem, da die zu untersuchenden Fahrzeuge nur für eine kurze Zeit dem täglichen Gebrauch entzogen werden können und damit keine vergleichbare Versuchsabdeckung zu erreichen ist, wie sie bei MiL-, SiL- und HiL-Prüfständen durch parallelisierte Prüfung möglich wäre. Daneben muss eine Überprüfung von Funktion und Kompatibilität der Software bereits erfolgen, bevor diese für die jeweiligen Fahrzeuge ausgerollt und dort installiert wird. Die Einbindung der Freigabeprozesse einzelner Updates erlaubt dabei den erforderlichen Detailgrad für eine Bewertung der individuellen Fahrzeuge im Bezug auf die Zulässigkeit der installierten Software.

---

<sup>1</sup>Da der Variantenreichtum eine Folge der möglichen Kombinationen an Ausstattungsmerkmalen ist, verfügt ein spezielles Fahrzeug zwar über eine individuelle Zusammenstellung an Softwarekomponenten, im einzelnen sind diese Komponenten aber nicht exklusiv nur auf diesem einen Fahrzeug installiert.

<sup>2</sup>Google vermeldete im Januar 2016 drei Millionen Kilometer simulierter Fahrt pro Tag.

#### 4.4 Zusätzlich erforderliche Informationen über das Fahrzeug

Bereits heute werden die sogenannten Systemdaten über einzelne Fahrzeuge erhoben, um die Hauptuntersuchung ausführen zu können. Diese umfassen bereits Informationen wie die Konfiguration individueller Fahrzeuge, den Verbau bestimmter Systeme, Softwarestände im Rahmen von Rückrufen und auch Kommunikationsanweisungen für die Durchführung der elektronischen Abfragen. Für die hier vorgestellte Überprüfung werden dabei die folgenden Informationen zusätzlich benötigt:

**Fahrzeug allgemein:** Um das Fahrzeugkoordinatensystem auf dem Prüfstand ermitteln und damit den Abgleich mit den Sensorzielen zur Systembewertung durchführen zu können, ist es erforderlich, dass gewisse genauere Daten über die Geometrie des Fahrzeugs vorliegen. Besonders die Position des Fahrzeugkoordinatensystems in Relation zu Bezugspunkten am Fahrzeug ist hier erforderlich.

**Sensorik:** Für die Auswahl und Positionierung der Ziele um das Fahrzeug müssen die Art, Ausführung, Position und Blickwinkel der Sensoren in Relation zu dem Koordinatensystem bekannt sein.

**Aktorik:** Für die Verzögerung werden die im Design vorgesehenen Grenzwerte, wie etwa die Mindestverzögerung, für die Fahrfunktionen benötigt, um diese im Rahmen der Messung abzugleichen. Für die Lenkung sind die durch die Fahrsysteme vorgesehenen Lenkwinkel hierzu von Interesse. Zu den eventuell in Zukunft erforderlichen zusätzlichen Signaleinrichtungen zur Kommunikation von Fahrzuständen können aktuell mangels möglicher Charakteristika noch keine Einschätzungen getroffen werden.

**Software und Steuergeräte:** Für den Abgleich der Softwarestände müssen die freigegebenen Versionen zusammen mit den Merkmalen zur Integritätsüberprüfung und der dazugehörige Zeitpunkt, an dem die Software für die Verteilung an das Fahrzeug freigegeben wurde, durch den Hersteller bereitgestellt werden. So kann, neben der Zulässigkeit für das aktuelle Fahrzeug, auch die Aktualität des Softwarestandes bei gestaffelter Verteilung an die betreffenden Fahrzeuge beurteilt werden. Darüber hinaus kann in diesem Zusammenhang auch die Zulässigkeit im Zusammenspiel mit weiteren Softwarebausteinen überprüft werden. Um sicherzustellen, dass die verbauten Steuergeräte den vorgesehenen Ausführungen entsprechen, müssen auch hier Merkmale zur konkreten Ausführung und Zulässigkeit für einen Abgleich vorliegen.

#### 5 Zusammenfassung

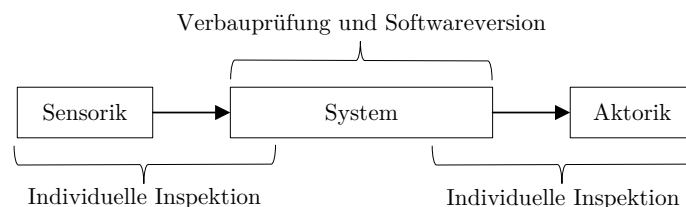


Abbildung 2: Testabdeckung für eine Hauptuntersuchung autonomer Fahrsysteme.

Über die vorgestellten einzelnen Prüfschritte lässt sich eine konkrete Aussage über den Zustand des automatisierten Fahrsystems bezüglich der Verkehrssicherheit treffen. Die

konzentrierte Überprüfung der einzelnen Merkmale, welche über die Verwendungszeit eines Fahrzeugs prädestiniert dafür sind, Abweichungen vom Sollzustand zu erfahren, erlaubt eine Aussage über den Zustand des autonomen Fahrsystems und damit über die Verkehrssicherheit des Fahrzeugs. Mit dem hier vorgestellten Prüfkonzept kann der Aufwand für die Bewertung der Verkehrssicherheit minimiert werden, während die Aussagekraft über den Gesamtzustand belastbar mit den Untersuchungsergebnissen belegt wird. Die Kombination von freigegebenen Versionen der eingesetzten Software und der individuellen Überprüfung der verbauten Sensoren und Aktoren decken zusammen die gesamte Wirkkette des autonomen Fahrsystems ab (vgl. Abbildung 2) und lassen damit einen Rückschluss zu, ob das Fahrsystem innerhalb der definierten Parameter arbeitet. Durch eine Überprüfung mittels Prüfstand kann der Platzbedarf auf ein Minimum reduziert werden, sodass ein Einsatz in bestehende Prüfzentren denkbar ist, was einer breiten Adaption hilfreich ist.

## Anmerkungen

Diese Arbeit wurde finanziert durch die GTÜ Gesellschaft für Technische Überwachung mbH, Stuttgart. Die Autoren bedanken sich besonders bei Peter Neugebauer und Mario Schnäbele für ihre Beiträge zu diesem Forschungsprojekt.

## Literatur

- [BMW22] BMW Group. Fahrzeugproduktion. Der Produktionsprozess in vier Schritten. <https://www.bmwgroup-werke.com/de/produktion/fahrzeugproduktion.html>, abgerufen am 23.08.2022, 2022.
- [ErV21] Projekt ErVast. <https://www.ervast-projekt.de/projekt.html>, abgerufen am 23.08.2022, 2021.
- [GMK<sup>+</sup>21] Mona Gierl, Felix Müller, Reiner Kriesten, Philipp Nenninger und Eric Sax. Challenges for Periodical Technical Inspections of Intelligent Cars. In *Reports on Energy Efficient Mobility – Volume 1*, Seiten 9–14. 2021.
- [Goo16] Google.com. Google Self-Driving Car Project Monthly Report, January 2016.
- [Gün15] Thomas Günnel. Mercedes-Benz F 015: Vision des autonomen Fahrens. *Automobil Industrie*, 07.01.2015.
- [MNS20] Felix Müller, Philipp Nenninger und Eric Sax. Analysis of Requirements for Autonomous Driving Systems. In *2020 11th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, Seiten 87–93. 2020.
- [SAE21] SAE. J3016-202104 Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, 2021.
- [Sta22] Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Straßenverkehrsunfälle seit 1977 nach Ursache, Lage und Typen. <https://www.statistik-bw.de/Verkehr/Unfaelle/10025137.tab?R=LA>, abgerufen am 23.08.2022, 2022.
- [StV21] 2. Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), Fassung mit Änderungen bis einschließlich Juli 2021.
- [UNE21a] UNECE. Regulation No. 156 – Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regards to software update and software updates management system, Mar 2021.
- [UNE21b] UNECE. Regulation No. 157 – Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to Automated Lane Keeping Systems, Mar 2021.