

Schlussbericht gem. Nr. 8.2 NKBF 98

Vorhabenbezeichnung:

Verbundvorhaben SafeWahr

Sichere Freigabe und zuverlässiger Serienbetrieb durch kontinuierliches echtzeitfähiges Monitoring der Umgebungswahrnehmung autonomer Fahrzeuge

Teilvorhaben: Entwicklung der Perzeptions-Komponenten,
Integration und Weiterentwicklung des Sicherheitskonzeptes

Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

Laufzeit des Vorhabens:

01.06.2021 – 30.09.2024

Berichtszeitraum:

Schlussbericht

Erstellt am:

30.06.2025

Organisation:

STTech GmbH

Förderkennzeichen:

19A21026D

Gefördert von:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Technische Projektleitung
i.A. Gereon Hinz

Administrative Projektleitung
i.A. Gereon Hinz

Inhaltsübersicht

I	KURZE DARSTELLUNG ZU	3
1.	Aufgabenstellung	3
2.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	6
3.	Planung und Ablauf des Vorhabens	7
4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn	8
5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen oder Firmen außerhalb des Verbundprojektes	8
II	EINGEHENDE DARSTELLUNG.....	9
1.	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegeben Ziele	9
2.	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	20
3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	20
4.	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans.....	21
	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten.....	21
	Wissenschaftliche und/oder wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	21
5.	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen	22
6.	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	22

I KURZE DARSTELLUNG ZU

1. Aufgabenstellung

Ziel der Arbeiten der STTech im Projekt SAFEWAHR war es einen Beitrag zur Harmonisierung von Absicherungs- und KI-Konzepten bei hochautomatisierten Fahrfunktionen und autonomen Fahrzeugen, sowie zu zugehörigem Tooling zu leisten. Dies Ziel wurde im Projekt kontinuierlich verfolgt und erreicht. Mit Abschluss des Projekts besteht ein forschungstechnisch vertieftes Verständnis der zugehörigen Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten, welches auch in Form von Demonstratoren evaluiert und vorgeführt wurde.

AP0: Projektmanagement

Das Arbeitspaket AP0 hatte die zentrale Aufgabe, das Projektmanagement im gesamten Projektverlauf zu übernehmen und sicherzustellen, dass alle Projektpartner synchronisiert und auf die finale Demonstration abgestimmt sind. Die Hauptaufgaben umfassten die Koordination der geleiteten Arbeitspakete, die umfassende Dokumentation des Projektverlaufs und der Projektergebnisse sowie die aktive Beteiligung an Projektmeetings und -workshops. Dabei wurden geeignete Kommunikationsinfrastrukturen eingerichtet, um eine effektive Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern zu gewährleisten. Zudem beinhaltete die Aufgabenstellung die Organisation von regelmäßigen Konsortialtreffen zur Abstimmung der Projektziele und die kontinuierliche Evaluierung aktueller Arbeitszyklen (Sprints), um den Projektfortschritt zu überwachen und bei Bedarf Anpassungen vorzunehmen.

AP1: Definition Erprobungsszenarien (Anwendungsfälle) und Gesamtarchitektur

Das Arbeitspaket AP1 wurde von der STTech GmbH geleitet und fokussierte sich auf die Definition der Anwendungsszenarien sowie der Schnittstellen der Monitore. Die Hauptaufgaben umfassten die systematische Definition von Anwendungsfällen, die Erstellung eines Katalogs anwendungsspezifischer Szenarien sowie die Ableitung spezifischer Anforderungen aus den ermittelten Szenarien. Darüber hinaus beinhaltete die Aufgabenstellung die Übertragung dieser Anforderungen auf die Gesamtarchitektur des Systems und die Definition von Kriterien für die experimentelle und simulative Datenerhebung. Ziel war es, eine fundierte Grundlage für die Weiterentwicklung der modularen Architektur zu schaffen und sicherzustellen, dass die Monitore optimal in das Gesamtsystem integriert werden können. Die strukturierte Vorgehensweise ermöglichte eine präzise Anpassung der Systemkomponenten an die identifizierten Anwendungsszenarien und förderte die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des Systems.

AP2: Ableitung von Safety Requirements und der Function Monitore

Das Arbeitspaket AP2 konzentrierte sich auf die Ableitung und Formalisierung von Sicherheitsanforderungen für die Umgebungswahrnehmung sowie die Definition und Implementierung der Function Monitore. Die Hauptaufgaben umfassten die systematische Ableitung und Formalisierung von Sicherheitsanforderungen, basierend auf spezifischen Anwendungsfällen und einem Katalog anwendungsspezifischer Szenarien. Weiterhin wurden

modellierende Untersuchungen durchgeführt, um hardware- und softwarebedingte False Negatives und False Positives zu analysieren und entsprechende Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Untersuchung von Restriktionsverfahren für die Operational Design Domain (ODD), um die Sicherheit im realen Einsatz zu gewährleisten.

Zusätzlich umfasste die Aufgabenstellung die Einrichtung einer virtuellen Fahrzeugtestumgebung sowie die Implementierung einer Testkette für Fusionsalgorithmen, die eine effiziente Datenfusion und Validierung der Systemkomponenten ermöglicht. Die Entwicklung einer Methode zur Ableitung der funktionalen Monitore aus den formalisierten Sicherheitsanforderungen, unter Berücksichtigung der Anwendungsfälle in der Laborumgebung, war ebenfalls ein zentraler Bestandteil. Diese strukturierte Vorgehensweise diente der Sicherstellung einer robusten und anpassungsfähigen Systemarchitektur, die den hohen Sicherheitsanforderungen gerecht wird und eine kontinuierliche Überwachung der Systemintegrität ermöglicht.

AP3: Ableitung von Validity Monitor aus Machine Learning Verfahren

Im Arbeitspaket AP3 konzentrierte sich die STTech GmbH auf die Ableitung von Validity-Monitoren aus Machine Learning Verfahren. Die zentrale Aufgabe umfasste die Entwicklung von Konzepten für Validity-Monitore, basierend auf einer detaillierten Analyse des aktuellen Stands der Technik hinsichtlich der Schnittstellen und Anforderungen. Dabei wurden bestehende Lösungen und Standards untersucht, um spezifische Anforderungen zu identifizieren und zu dokumentieren, die als Grundlage für die Weiterentwicklung der Monitor-Konzepte dienen. Zudem beinhaltete die Aufgabenstellung die Untersuchung zur Erzeugung von Referenz-Modul-Templates für Validity-Monitore, um standardisierte Module zu entwickeln, die eine konsistente Implementierung und Anpassung der Monitore an unterschiedliche Einsatzszenarien ermöglichen. Ergänzend dazu wurden innovative Ansätze zur Verbesserung der Effizienz und Zuverlässigkeit der Validity-Monitore implementiert, einschließlich der Optimierung der Schnittstellen zur Datenerfassung und -verarbeitung sowie der Integration fortschrittlicher Kommunikationsprotokolle. Darüber hinaus umfasste die Aufgabenstellung praxisnahe Tests und Validierungen der entwickelten Konzepte mittels simulationsbasierter Methoden und realer Fahrzeugtests, um die Funktionalität und Robustheit der Validity-Monitore unter verschiedenen Betriebsbedingungen zu überprüfen und kontinuierlich zu verbessern.

AP4: Ableitung des KI-basierten Situation-Monitors aus KI-Trainingsdaten

Im Arbeitspaket AP4 konzentrierte sich die STTech GmbH auf die Ableitung des KI-basierten Situation-Monitors aus KI-Trainingsdaten. Die zentrale Aufgabe umfasste die detaillierte Analyse und Entwicklung von Anforderungen sowie geeigneten Schnittstellenkonzepten für Situationsmonitore. Dabei wurde der aktuelle Stand der Technik hinsichtlich der Schnittstellen und Anforderungen für Situationsmonitore umfassend untersucht, um spezifische Anforderungen zu identifizieren und zu dokumentieren. Diese Erkenntnisse dienten als Grundlage für die Entwicklung effizienter und interoperabler Monitor-Konzepte, die eine nahtlose Integration mit anderen Systemkomponenten gewährleisten.

Ein wesentlicher Bestandteil der Aufgabenstellung war die Untersuchung zur Erzeugung von Referenzarchitekturen für Situationsmonitore. Ziel war es, standardisierte Architekturen zu entwickeln, die eine konsistente Implementierung und Anpassung der Monitore an

unterschiedliche Einsatzszenarien ermöglichen. Zusätzlich wurde ein geeignetes Schnittstellenkonzept für Situationsmonitore entwickelt, das die Kommunikation und Datenintegration zwischen den verschiedenen Systemkomponenten optimiert. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Entwicklung und Integration moderner Large Language Models (LLM) sowie hybrider Modelle, um die Leistungsfähigkeit der Situationsmonitore in der Echtzeitanalyse komplexer Verkehrsszenarien zu erhöhen. Die Durchführung praxisnaher Tests und Validierungen mittels simulationsbasierter Methoden und realer Fahrzeugtests rundete die Aufgabenstellung ab, um die Funktionalität und Robustheit der entwickelten Konzepte sicherzustellen.

AP5: Verfahren zur sicheren Freigabe von KI-basierten Systemen

Im Rahmen des Arbeitspakets AP5 konzentriert sich die STTech GmbH auf die Entwicklung und Optimierung hochkomplexer Testmethoden für autonome Fahrzeuge, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf die Freigabeverfahren und -tools für KI-Module gelegt wird. Die Aufgabenstellung umfasst zunächst eine tiefgehende Analyse des aktuellen Standes der Technik im Bereich der Freigabeverfahren, einschließlich der Evaluierung bestehender Validierungs- und Verifikationsprozesse für KI-gestützte Systeme. Hierbei kommen fortschrittliche Methoden wie modellbasierte Systementwicklung (MBSE) und formale Verifikationsverfahren zum Einsatz, um die Zuverlässigkeit und Sicherheit der Freigabeprozesse zu gewährleisten.

Des Weiteren beinhaltet die Aufgabenstellung die Entwicklung von Referenzarchitekturen für Freigabetools, die eine standardisierte und skalierbare Integration von KI-Modulen ermöglichen. Dies umfasst die Definition von Schnittstellenstandards, Datenformaten und Sicherheitsprotokollen, die eine nahtlose Kommunikation zwischen den verschiedenen Komponenten autonomer Systeme sicherstellen. Zusätzlich wird eine modulare Architektur entworfen, die eine flexible Anpassung an unterschiedliche Anwendungsszenarien und regulatorische Anforderungen erlaubt.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Aufgabenstellung ist die Implementierung von automatisierten Testframeworks, die kontinuierliche Integration und Bereitstellung (CI/CD) von KI-Modulen unterstützen. Diese Frameworks nutzen Containerisierungstechnologien wie Docker und Virtualisierungslösungen, um Testumgebungen zu standardisieren und die Reproduzierbarkeit von Testergebnissen zu gewährleisten. Ferner werden fortschrittliche Analysetools eingesetzt, um die Leistungsfähigkeit und Robustheit der KI-Module unter verschiedenen Betriebsbedingungen zu überprüfen und Schwachstellen frühzeitig zu identifizieren.

AP6: Konzeption der Komponente zur Fehlerkorrektur und Fail-Operational-Mode und Integration des Gesamtsystems im Demonstrator

Im Rahmen des Arbeitspakets AP6 konzentriert sich die STTech GmbH auf die Konzeption und Implementierung von Komponenten zur Fehlerkorrektur sowie die Entwicklung eines Fail-Operational-Mode für autonome Fahrzeuge. Die zentrale Aufgabenstellung umfasst die Erforschung und Entwicklung effektiver Kompensationsstrategien zur Handhabung von Fehlalarmen (false-positives) und verpassten Erkennungen (false-negatives). Hierbei werden

fortschrittliche Algorithmen und maschinelle Lernverfahren eingesetzt, um die Präzision der Fehlererkennung und -korrektur zu verbessern. Zusätzlich beinhaltet die Aufgabenstellung die Erstellung von Referenzarchitekturen für Kompensationsmodule, die eine standardisierte und skalierbare Integration in bestehende Systemarchitekturen ermöglichen. Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Untersuchung strategiespezifischer algorithmischer Grenzfälle, um potenzielle Schwachstellen in den Algorithmen zu identifizieren und gezielte Optimierungen vorzunehmen. Die Integration des Gesamtsystems in den Demonstrator erfordert die Entwicklung einer intelligenten Umschaltlogik, die einen Fail-Operational-Mode implementiert. Dieser Modus gewährleistet die kontinuierliche Funktionsfähigkeit des Systems auch bei Auftreten von Fehlern, wodurch die Sicherheit und Zuverlässigkeit autonomer Fahrzeuge unter realen Betriebsbedingungen erhöht werden.

AP7: Erprobung der Anwendungsfälle im Feld und Evaluation

Im Rahmen des Arbeitspakets AP7 fokussiert sich die STTech GmbH auf die umfassende Erprobung der entwickelten Architekturkonzepte in realen Anwendungsfällen sowie auf die detaillierte Evaluation der daraus resultierenden Testergebnisse. Die zentrale Aufgabenstellung umfasst die systematische Bewertung der entwickelten Monitor- und Kompensationsstrategien durch die Analyse umfangreicher Messdaten, die in verschiedensten Testumgebungen unter realen Betriebsbedingungen erhoben wurden. Ziel ist es, die Effektivität und Zuverlässigkeit dieser Strategien zu validieren und Optimierungspotenziale zu identifizieren. Des Weiteren beinhaltet die Aufgabenstellung den Abgleich der erstellten Referenzarchitekturen mit den empirischen Testergebnissen, um sicherzustellen, dass die theoretischen Modelle den praktischen Anforderungen entsprechen. Ein weiterer wesentlicher Bestandteil ist die ausführliche Auswertung der gesammelten Testdaten, um die Stabilität und Leistungsfähigkeit der gesamten Systemarchitektur zu bewerten. Zudem wird die Integration von Echtzeit-Feedback-Mechanismen untersucht, um eine dynamische Anpassung und kontinuierliche Verbesserung der Kompensationsstrategien zu ermöglichen. Langzeitstudien spielen dabei eine entscheidende Rolle, um die Beständigkeit und Zuverlässigkeit der entwickelten Lösungen unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen und über längere Zeiträume hinweg zu verifizieren. Die abschließende Phase umfasst die Durchführung von Probeläufen und Bewertungen, die sicherstellen sollen, dass das System für die abschließende Demonstration optimal vorbereitet ist.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Für SAFEWAHR und Arbeiten zur Absicherung von KI im Bereich des autonomen Fahrens, die in Deutschland durchgeführt wurden, sind mehrere Voraussetzungen und Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Diese betreffen sowohl technologische als auch regulatorische und gesellschaftliche Aspekte.

Eine wesentliche Voraussetzung ist die technologische Infrastruktur. Autonomes Fahren erfordert umfangreiche Datensätze für das Training und die Validierung von KI-Modellen. Deutschland hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte bei der Erfassung und Verarbeitung von Verkehrsdaten gemacht. Zudem ist die Verfügbarkeit von leistungsfähigen

Rechenzentren und Cloud-Infrastrukturen entscheidend, um die Entwicklung und Absicherung von KI-Systemen zu ermöglichen.

Regulatorische Rahmenbedingungen spielen ebenfalls eine zentrale Rolle. Deutschland hat sich aktiv mit der Regulierung von autonomen Fahrzeugen auseinandergesetzt, einschließlich der Anpassung von Straßenverkehrsgesetzen und der Schaffung von Testumgebungen. Strenge Sicherheits- und Datenschutzstandards müssen eingehalten werden, um die Akzeptanz von KI im autonomen Fahren zu gewährleisten.

Forschungs- und Entwicklungsförderung ist ein weiterer wichtiger Aspekt. Die Bundesregierung hat verschiedene Programme zur Förderung von KI und autonomem Fahren ins Leben gerufen, um Innovationen zu unterstützen und die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in diesem Bereich zu stärken. Die Zusammenarbeit zwischen Universitäten, Forschungseinrichtungen und der Industrie ist entscheidend, um die Entwicklung von sicheren und zuverlässigen KI-Systemen zu fördern.

Innerhalb der Branche sind technologische Trends von großer Bedeutung. Fortschritte in der KI-Technologie, insbesondere im Bereich des maschinellen Lernens und der Bildverarbeitung, haben die Möglichkeiten für autonomes Fahren erheblich erweitert. Verbesserungen in der Sensorik und der Fahrzeugvernetzung sind entscheidend für die Echtzeit-Datenverarbeitung und die Entscheidungsfindung autonomer Systeme.

Der Markt für autonome Fahrzeuge wächst stetig, mit zunehmendem Interesse von Automobilherstellern und Technologieunternehmen. Die Akzeptanz von autonomen Fahrzeugen durch die Öffentlichkeit ist ein wichtiger Faktor, der durch Sicherheitsnachweise und erfolgreiche Pilotprojekte gefördert wird.

Förderpolitische Ziele umfassen Nachhaltigkeit und Innovationsförderung. Autonomes Fahren wird als Möglichkeit gesehen, den Verkehr effizienter und umweltfreundlicher zu gestalten, was mit den Zielen der deutschen Verkehrspolitik übereinstimmt. Die Förderung von KI und autonomem Fahren ist Teil der Strategie, Deutschland als führenden Standort für technologische Innovationen zu etablieren.

Insgesamt bietet die Kombination aus technologischen Fortschritten, regulatorischen Anpassungen und gezielter Förderung eine solide Grundlage für die Durchführung eines Projekts zur Absicherung von KI im autonomen Fahren in Deutschland.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeitsplanung im Berichtszeitraum stimmt nach wie vor im Wesentlichen mit der geleisteten Arbeit überein. Es gab somit keinerlei Abweichungen vom bestehenden Plan. Eine Projektverlängerung wurde durchgeführt, um die Partner insbesondere bei Demointegrationen zu unterstützen, dies hat aber zu keiner Wesentlichen Abweichung bei der STTech geführt.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn

Zu Beginn des Projekts SAFEWAHR war der wissenschaftliche und technische Stand im Bereich der Absicherung von KI für hochautomatisierte Fahrfunktionen und autonome Fahrzeuge bereits gut entwickelt, jedoch noch nicht vollständig harmonisiert. Es gab bereits etablierte Konzepte und Verfahren zur Entwicklung und Validierung von KI-Systemen, die jedoch oft fragmentiert und nicht ausreichend integriert waren, um die komplexen Anforderungen des autonomen Fahrens vollständig zu erfüllen.

Bekannte Konstruktionen und Verfahren, die für die Durchführung des Vorhabens genutzt wurden, umfassten unter anderem bestehende Ansätze zur maschinellen Lernverfahren, insbesondere im Bereich der Bildverarbeitung und Sensorfusion. Diese Technologien waren bereits in der Lage, grundlegende Fahrfunktionen zu unterstützen, jedoch war ihre Anwendung in sicherheitskritischen Szenarien noch nicht umfassend abgesichert. Schutzrechte und Patente im Bereich der KI-Entwicklung und Fahrzeugautomatisierung wurden berücksichtigt, um sicherzustellen, dass die Projektarbeiten auf bestehenden Technologien aufbauen und gleichzeitig innovative Lösungen entwickeln konnten.

Ein weiterer wichtiger Aspekt war die Nutzung von Simulationsumgebungen und Testfeldern, die bereits für die Erprobung von autonomen Fahrzeugen existierten. Diese Umgebungen ermöglichten es, die entwickelten Konzepte unter kontrollierten Bedingungen zu testen und zu verfeinern. Die Integration von Sicherheitsanforderungen und die Entwicklung von Monitoring-Systemen waren ebenfalls zentrale Bestandteile des Projekts, die auf bestehenden wissenschaftlichen Erkenntnissen aufbauten.

Insgesamt wurde das Projekt SAFEWAHR auf einem soliden Fundament bestehender Technologien und wissenschaftlicher Erkenntnisse gestartet, mit dem Ziel, diese weiter zu harmonisieren und zu integrieren, um die Absicherung von KI im autonomen Fahren zu verbessern und die förderpolitischen Ziele zu unterstützen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen oder Firmen außerhalb des Verbundprojektes

Über die Laufzeit des Förderprojektes wurden keine Drittfirmen beauftragt.

II EINGEHENDE DARSTELLUNG

6. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegeben Ziele

Die Zuwendung wurde gezielt eingesetzt, um die Projektziele zu erreichen, insbesondere die Harmonisierung von Absicherungs- und KI-Konzepten für hochautomatisierte Fahrfunktionen und autonome Fahrzeuge. Die Mittel wurden verwendet, um die Entwicklung und Validierung von Sicherheitsanforderungen, die Implementierung von Monitoring-Systemen und die Integration der verschiedenen Komponenten in den Demonstrator zu finanzieren. Im Vergleich zu den vorgegebenen Zielen wurden alle Hauptziele erreicht, und es konnten zusätzliche Nebenergebnisse erzielt werden, wie die Verbesserung der Zuverlässigkeit von KI-basierten Systemen und die Entwicklung neuer Validity Monitore.

AP0 Projektmanagement

Die Durchführung von AP0 konzentrierte sich auf die präzise Koordination der gesteuerten Arbeitspakete, die systematische Erstellung und Pflege der Dokumentation sowie die aktive Teilnahme an Besprechungen und Workshops. Durch gezielte Koordinationsmaßnahmen wurde eine nahtlose Abstimmung der Arbeitspakete erreicht, wodurch ein effizienter Ablauf im Einklang mit den Projektzielen sichergestellt wurde. Die Dokumentation des Projektverlaufs und der Ergebnisse wurde methodisch strukturiert und kontinuierlich aktualisiert, was die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Projektergebnisse erheblich steigerte.

Die Teilnahme an Projektmeetings und -workshops umfasste sowohl die Organisation als auch die aktive Mitgestaltung von Konsortialtreffen. Diese Vorgehensweise förderte eine enge Zusammenarbeit mit den Projektpartnern und ermöglichte die effektive Integration der gewonnenen Erkenntnisse in die jeweiligen Arbeitspakete. Darüber hinaus wurden regelmäßige Bewertungen der laufenden Sprints durchgeführt, und die daraus resultierenden Erkenntnisse wurden systematisch in die Projektplanung integriert. Dies ermöglichte eine flexible Anpassung der Projektaktivitäten an aktuelle Anforderungen und gewährleistete eine kontinuierliche Optimierung der Arbeitsprozesse.

Die implementierten Projektmanagementmaßnahmen zur Steuerung und Überwachung trugen maßgeblich zur übergeordneten Steuerung des Projekts bei. Die koordinierte Durchführung der Arbeitspakete, die umfassende Dokumentation sowie die strukturierte Beteiligung an Meetings und Workshops führten zu einer effektiven Synchronisation der Projektpartner und einer transparenten Darstellung der Fortschritte. Zudem wurde die Vorbereitung und Durchführung der finalen Demonstration erfolgreich umgesetzt, wodurch die Projektergebnisse anschaulich präsentiert und validiert werden konnten. Durch die strukturierte und detailorientierte Umsetzung der Maßnahmen wurde eine solide Grundlage

für den erfolgreichen Abschluss des Projekts geschaffen. Das Ziel dieses Arbeitspakets lag im Bereich des Projektmanagements, einschließlich der Koordination der geleiteten Arbeitspakete, der Dokumentation des Projektverlaufs und der Projektergebnisse sowie der Teilnahme an Projektmeetings und -workshops und der Abstimmung mit den Projektpartnern. Diese Ziele wurden während der Projektlaufzeit erfolgreich erreicht.

AP1 Definition Erprobungsszenarien (Anwendungsfälle) und Gesamtarchitektur

Im Rahmen der Entwicklung von Anwendungsfällen wurden systematisch verschiedene Nutzungsszenarien erarbeitet, die den praktischen Einsatz der Monitore unter realistischen Bedingungen simulierten. Aufbauend darauf wurde ein detaillierter Katalog anwendungsspezifischer Szenarien erstellt, der als Grundlage für weiterführende Analysen diente. Aus diesen Szenarien wurden spezifische Anforderungen abgeleitet, die für die Gesamtarchitektur des Systems von entscheidender Bedeutung waren. Diese Anforderungen wurden nahtlos in die bestehende Architektur integriert, wodurch eine kohärente und anpassungsfähige Systemstruktur gewährleistet wurde.

Zudem wurden Kriterien für die experimentelle und simulative Datenerhebung definiert, die eine fundierte Validierung und Verifikation der entwickelten Systemkomponenten ermöglichten. Durch die Weiterentwicklung modularer Ansätze und die kontinuierliche Verfeinerung der Szenarien konnte die Flexibilität des Systems signifikant erhöht werden. Die Integration innovativer Konzepte, insbesondere im Bereich der automatisierten Anwendbarkeit von Anforderungen im Verifikations- und Validierungsprozess, führte zur Entwicklung zusätzlicher Szenarien, beispielsweise in Autobahnszenarien, die den Einsatz der entwickelten Systemkomponenten unter realistischen Bedingungen demonstrierten und die Optimierung der Systemlösungen maßgeblich unterstützten.

Die implementierten Maßnahmen zur Definition von Anwendungsfällen und zur Erstellung des Szenariokatalogs legten eine solide Grundlage für die anschließenden Systementwicklungen. Die abgeleiteten Anforderungen wurden effektiv in die Gesamtarchitektur überführt, was zu einer robusten und adaptiven Systemstruktur führte. Darüber hinaus wurden die definierten Kriterien für die Datenerhebung erfolgreich umgesetzt, wodurch eine präzise und verlässliche Validierung der Systemkomponenten sichergestellt wurde. Durch die strukturierte und detaillierte Durchführung dieser Maßnahmen wurde nicht nur das Erreichen der vorgegebenen Ziele sichergestellt, sondern auch die Grundlage für eine erfolgreiche Weiterentwicklung und Implementierung der Monitoring-Systeme geschaffen. Das Ziel dieses Arbeitspakets war die Definition der Anwendungsszenarien und Schnittstellen der Monitore. Im Rahmen des Projekts wurden die Anwendungsfälle definiert, ein Katalog anwendungsspezifischer Szenarien erstellt, Anforderungen aus den ermittelten Szenarien abgeleitet, diese Anforderungen auf die Gesamtarchitektur übertragen sowie Kriterien für die experimentelle und simulative Datenerhebung festgelegt. Alle diese Ziele wurden während der Projektlaufzeit erfolgreich erreicht.

AP2 Ableitung von Safety Requirements und der Function Monitore

Bei der Ableitung und Formalisierung von Sicherheitsanforderungen wurden spezifische Sicherheitskriterien für die Umgebungswahrnehmung entwickelt, die eine präzisere Anpassung der Systeme an die jeweiligen Einsatzszenarien ermöglichen. Durch detaillierte modellierende Untersuchungen konnten sowohl hardware- als auch softwarebedingte False Negatives und False Positives analysiert werden, was zur Entwicklung effektiver Gegenmaßnahmen führte und die Zuverlässigkeit der Sicherheitsmechanismen signifikant erhöhte.

Die Untersuchung von Restriktionsverfahren für die Operational Design Domain (ODD) wurde erfolgreich umgesetzt, wodurch sichergestellt wurde, dass das System innerhalb klar definierter Betriebsparameter operiert. Dies trägt maßgeblich zur Erhöhung der Sicherheit im realen Einsatz bei. Zusätzlich wurde ein flexibles Konfigurationsframework entwickelt, das eine detaillierte Anpassung der Überwachungsparameter ermöglicht, basierend auf kontinuierlich aktualisierten Sicherheitsanforderungen. Die Einrichtung einer virtuellen Fahrzeugtestumgebung und die Implementierung einer Testkette für Fusionsalgorithmen ermöglichten die realistische Simulation von Szenarien und die effiziente Validierung der Systemkomponenten, was die Gesamtleistung des Wahrnehmungssystems weiter optimierte.

Die Entwicklung einer Methode zur Ableitung der funktionalen Monitore aus den formalisierten Sicherheitsanforderungen unter Berücksichtigung der Anwendungsfälle in der Laborumgebung wurde erfolgreich abgeschlossen. Diese Methode gewährleistet eine praxisnahe Implementierung und eine kontinuierliche Überwachung der Systemintegrität, wodurch die Betriebssicherheit erheblich gesteigert wird. Zudem wurden umfassende Testverfahren implementiert, die durch den parallelen Einsatz von Laborsimulationen und Feldtests die Zuverlässigkeit und Robustheit der Function Monitore signifikant verbesserten. Die Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) in die Sicherheitsanalysen ermöglichte eine präzisere ASIL-Klassifizierung und führte zu genaueren Handlungsempfehlungen, was die Anpassungsfähigkeit der Systeme an veränderte Bedingungen verbesserte.

Die Erweiterung des Konfigurationsframeworks ermöglichte eine flexible Anpassung der Überwachungsparameter, basierend auf kontinuierlich aktualisierten Sicherheitsanforderungen. Durch die umfassenden Testverfahren, die Laborsimulationen und Feldtests parallel einsetzen, konnte die Zuverlässigkeit und Robustheit der Function Monitore signifikant verbessert werden. Die KI-Integration in die Sicherheitsanalysen führte zu einer präziseren ASIL-Klassifizierung und ermöglichte genauere Handlungsempfehlungen, was die Systeme adaptiver und widerstandsfähiger gegenüber veränderten Bedingungen machte. Das Ziel dieses Arbeitspakets war die Ableitung von Sicherheitsanforderungen sowie die Definition und Implementierung des Function Monitors. Im Rahmen des Projekts wurden Sicherheitsanforderungen für die Umgebungswahrnehmung abgeleitet und formalisiert, hardware- und softwarebedingte false negatives und false positives modelliert untersucht sowie Restriktionsverfahren für die operational design domain untersucht. Darüber hinaus wurde eine virtuelle Fahrzeugtestumgebung eingerichtet, eine Testkette für Fusionsalgorithmen aufgesetzt und die Methode zur Ableitung der funktionalen Monitore aus den formalisierten Sicherheitsanforderungen unter Berücksichtigung der Anwendungsfälle in

der Laborumgebung unterstützt entwickelt. Alle diese Ziele wurden während der Projektlaufzeit erfolgreich erreicht.

AP3 Ableitung von Validity Monitor aus Machine Learning Verfahren

Eine umfassende Analyse des aktuellen Technikstands hinsichtlich Schnittstellen und Anforderungen, unter Berücksichtigung internationaler Standards wie ISO 26262 für funktionale Sicherheit und AUTOSAR für Fahrzeugsoftwarearchitekturen, bildete die Grundlage. Diese Untersuchung ermöglichte die Identifikation spezifischer Anforderungen und die Sicherstellung der Interoperabilität mit Systemkomponenten wie Sensorfusionseinheiten und Steuergeräten.

Ein zentraler Bestandteil war die Entwicklung modularer Referenz-Modul-Templates für Validity Monitore. Basierend auf flexiblen Softwarearchitekturen und Design Patterns wie Observer und Strategy, erlaubten diese Templates eine skalierbare Anpassung an verschiedene Fahrzeugplattformen und eine konsistente Erweiterung der Monitor-Funktionalitäten gemäß spezifischen Sicherheitsanforderungen. Standardisierte API-Schnittstellen gewährleisteten zudem eine nahtlose Kommunikation zwischen den Monitorsystemen und den übrigen Fahrzeugkomponenten.

Die Weiterentwicklung der ML-Algorithmen konzentrierte sich auf die Optimierung von Convolutional Neural Networks (CNNs) und Recurrent Neural Networks (RNNs). Durch den Ausbau und die Diversifizierung der Trainingsdaten aus realen Verkehrsszenarien und simulierten Testumgebungen wurde die Generalisierungsfähigkeit der Modelle verbessert und Overfitting reduziert. Techniken wie Dropout, Batch Normalization und Regularisierungsmethoden erhöhten die Robustheit der Modelle, während Mechanismen zur Unsicherheitsabschätzung die Vertrauenswürdigkeit der Monitore bei der Bewertung von Systementscheidungen verbesserten.

Die Schnittstellen zur Datenerfassung und -verarbeitung wurden durch den Einsatz fortschrittlicher Kommunikationsprotokolle wie CAN-FD (Controller Area Network Flexible Data-Rate) und Ethernet-basierter Netzwerke optimiert, was die Echtzeitfähigkeit der Validity Monitore erheblich steigerte. Eine effiziente Datenpipeline ermöglichte die schnelle Verarbeitung und Analyse der eingehenden Datenströme.

Die Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) in die Sicherheitsanalysen ermöglichte eine ASIL-Klassifizierung (Automotive Safety Integrity Level). AI-gestützte Entscheidungsmodelle erlaubten eine genauere Analyse und Bewertung sicherheitsrelevanter Parameter, was die Anpassungsfähigkeit der Systeme an veränderte Betriebsbedingungen und die Gesamtsicherheit des Fahrzeugsystems erhöhte.

Umfassende Testverfahren, die sowohl Laborsimulationen als auch reale Feldtests umfassten, prüften die Robustheit und Zuverlässigkeit der Validity Monitore unter unterschiedlichen

Bedingungen. Diese duale Teststrategie verbesserte die Zuverlässigkeit und Robustheit der Monitore signifikant. Zudem wurde die Qualität und Diversität der Trainingsdaten durch die Integration von Daten aus verschiedenen geografischen Regionen, Wetterbedingungen und Verkehrsdichten erweitert, was die Fähigkeit der Modelle, unter vielfältigen Bedingungen präzise und verlässliche Entscheidungen zu treffen, erheblich steigerte.

Das Ziel dieses Arbeitspakets war die Entwicklung von Konzepten für Validity-Monitore. Im Rahmen des Projekts wurden eine detaillierte Analyse des Stands der Technik zu Schnittstellen und Anforderungen für Validity-Monitore durchgeführt sowie Untersuchungen zur Erzeugung von Referenz-Modul-Templates für Validity-Monitore vorgenommen. Alle diese Ziele wurden während der Projektlaufzeit erfolgreich erreicht.

AP4 Ableitung des KI-basierten Situation-Monitors aus KI-Trainingsdaten

Eine gründliche Analyse des aktuellen Standes der Technik hinsichtlich Schnittstellen und Anforderungen, unter Berücksichtigung internationaler Standards wie ISO 26262 für funktionale Sicherheit und AUTOSAR für Fahrzeugsoftwarearchitekturen, bildete die Grundlage dieses Arbeitspakets. Diese Untersuchung ermöglichte die Identifikation spezifischer Anforderungen und die Sicherstellung der Interoperabilität mit Systemkomponenten wie Sensorkombinationen und Steuergeräten.

Ein wesentlicher Bestandteil war die Entwicklung und Implementierung modularer und skalierbarer Referenzarchitekturen für Situationsmonitore. Durch den Einsatz von Design Patterns wie Adapter und Facade sowie die Nutzung standardisierter APIs konnten flexible Architekturvorlagen erstellt werden, die eine konsistente Implementierung und einfache Erweiterung der Monitor-Funktionalitäten gemäß spezifischer Sicherheitsanforderungen gewährleisten. Diese modularen Architekturen ermöglichen eine Anpassung an verschiedene Fahrzeugplattformen und Einsatzszenarien, wodurch hohe Skalierbarkeit und Wiederverwendbarkeit der Lösungen sichergestellt werden.

Ein bedeutender Fortschritt war die Integration moderner Large Language Models (LLM) in die Situations-Monitore. Diese fortschrittlichen Modelle, kombiniert mit Techniken wie Reinforcement Learning und Ensemble Learning, ermöglichten die präzise Erfassung und Interpretation komplexer und dynamischer Verkehrsszenarien in Echtzeit. Hybride Modelle verbesserten die Fähigkeit der Monitore, adaptiv auf sich verändernde Verkehrssituationen zu reagieren und dadurch die Gesamtsicherheit des Systems zu erhöhen.

Ein weiterer kritischer Aspekt war die Optimierung der Datenpipeline durch die Implementierung von Echtzeit-Datenströmen und parallelen Verarbeitungsarchitekturen wie Apache Kafka und Spark Streaming. Diese Verbesserungen erhöhten die Verarbeitungsgeschwindigkeit und -effizienz der Monitor-Daten erheblich, was die Reaktionsfähigkeit und Sicherheit des Fahrzeugbetriebs signifikant verbesserte. Zusätzlich

wurden Mechanismen zur Datenvalidierung und Fehlererkennung implementiert, um die Integrität und Zuverlässigkeit der übertragenen Daten zu maximieren.

Die Entwicklung fortschrittlicher Kommunikationsprotokolle wie MQTT für leichte Nachrichtenübertragung und Protobuf für effiziente Datenserialisierung, ergänzt durch robuste Sicherheitsmechanismen, sicherte eine zuverlässige und sichere Datenübertragung. Diese Protokolle optimierten die nahtlose Kommunikation und Datenintegration zwischen den Systemkomponenten, was die Interoperabilität und Echtzeitfähigkeit der Situationsmonitore weiter verbesserte.

Ein entscheidender Erfolgsfaktor war die Qualität und Diversität der Trainingsdaten. Durch den Ausbau und die Diversifizierung der Datensätze, einschließlich Daten aus unterschiedlichen geografischen Regionen, Wetterbedingungen und Verkehrsdichten, wurde eine umfassende Abdeckung realer Verkehrsszenarien erreicht. Zusätzlich wurden fortschrittliche Validierungsmethoden implementiert, einschließlich Cross-Validation-Techniken und umfangreicher Sensitivitätsanalysen. Diese Methoden ermöglichten ein tiefgehendes Verständnis der Auswirkungen verschiedener Parameter auf die Monitorleistung und trugen zur kontinuierlichen Optimierung der Modelle bei. Dadurch wurde sichergestellt, dass die Monitore unter allen relevanten Bedingungen zuverlässig funktionieren.

Das Ziel dieses Arbeitspakets war die Bearbeitung von Anforderungen und Schnittstellen. Im Rahmen des Projekts wurden eine detaillierte Analyse des Stands der Technik zu Schnittstellen und Anforderungen für Situation Monitore durchgeführt, Untersuchungen zur Erzeugung von Referenzarchitekturen für Situation Monitore vorgenommen sowie geeignete Schnittstellenkonzepte für Situation Monitore entwickelt. Alle diese Ziele wurden während der Projektlaufzeit erfolgreich erreicht.

AP5 Verfahren zur sicheren Freigabe von KI-basierten Systemen

Zunächst erfolgte die Durchführung einer detaillierten Technik-Analyse, bei der bestehende Freigabeverfahren mittels quantitativer und qualitativer Methoden bewertet wurden. Hierbei kamen Model-Based Systems Engineering (MBSE) und formale Verifikationsverfahren zum Einsatz, um präzise Schwachstellen in den bestehenden Prozessen zu identifizieren. MBSE ermöglichte eine systematische Modellierung der Freigabeprozesse, während formale Verifikationsmethoden wie Model Checking und Theorem Proving eingesetzt wurden, um die Korrektheit und Sicherheit der Verfahren mathematisch zu verifizieren. Durch diese kombinierten Ansätze konnten innovative Lösungsansätze entwickelt werden, die die Sicherheit und Effizienz der Freigabeprozesse signifikant verbessern.

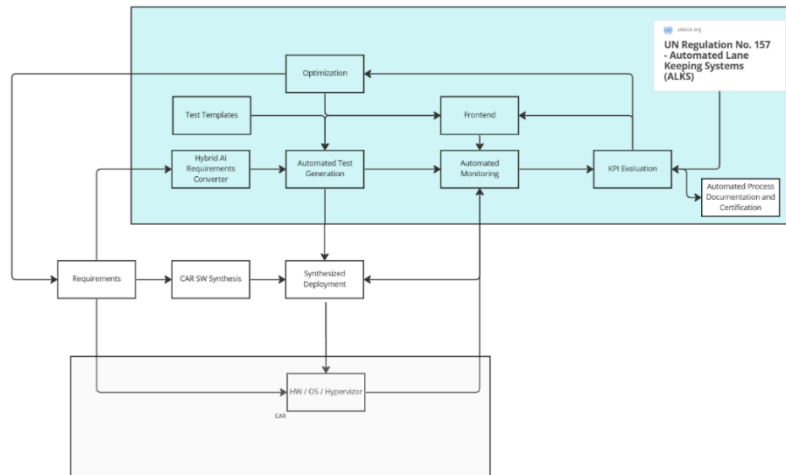
Ein wesentlicher Bestandteil von AP5 war die Entwicklung der Referenzarchitekturen für Freigabetools. Diese Architekturen wurden unter Berücksichtigung internationaler Standards wie ISO 26262 für funktionale Sicherheit und ISO/IEC 27001 für Informationssicherheitsmanagement realisiert. Die Referenzarchitekturen basieren auf modularen Softwaredesigns und nutzen Design Patterns wie Microservices und Service-

Oriented Architecture (SOA), um eine einheitliche Integration von KI-Modulen zu gewährleisten. Durch die Definition standardisierter API-Schnittstellen und Sicherheitsprotokolle wurde die Interoperabilität zwischen den Freigabertools und anderen Systemkomponenten sichergestellt. Die modularisierte Struktur der Architekturen erlaubt zudem eine flexible Anpassung an zukünftige technologische Entwicklungen und sich ändernde gesetzliche Anforderungen, wodurch eine langfristige Nachhaltigkeit der Freigabeprozesse gewährleistet wird.

Im Bereich der automatisierten Testframeworks wurden Continuous Integration/Continuous Deployment (CI/CD)-Pipelines implementiert, die den gesamten Lebenszyklus der KI-Module abdecken. Durch den Einsatz von Docker-Containern und Kubernetes-Orchestrierung konnte eine skalierbare und reproduzierbare Testumgebung geschaffen werden. Diese Umgebung unterstützt die kontinuierliche Integration und Bereitstellung von Softwareupdates, indem sie automatisierte Tests, Unit Tests, Integrationstests und Systemtests durchführt. Darüber hinaus wurden Infrastructure as Code (IaC)-Ansätze verwendet, um die Testumgebungen konsistent und versioniert bereitzustellen. Diese Maßnahmen tragen wesentlich zur Erhöhung der Entwicklungsagilität und zur Reduktion von Fehlerquellen bei, wodurch die Qualität der freigegebenen KI-Module nachhaltig verbessert wird.

Ein weiteres zentrales Ergebnis von AP5 ist die Sicherheitsprüfung und Nachqualifizierung der KI-Module. Neue Konzepte zur nachträglichen Qualifizierung von KI-Modulen wurden implementiert, um den kontinuierlichen Sicherheitsanforderungen gerecht zu werden. Dies umfasst Penetrationstests, Vulnerability Assessments und Code Reviews, die regelmäßig durchgeführt werden, um potenzielle Sicherheitslücken frühzeitig zu erkennen und zu beheben. Zudem wurden Security Information and Event Management (SIEM)-Systeme integriert, die eine Echtzeitüberwachung und -analyse sicherheitsrelevanter Ereignisse ermöglichen.

Die Anpassung an gesetzliche Vorgaben spielte ebenfalls eine wesentliche Rolle. Die Verfahren wurden unter Berücksichtigung des European AI-Acts und direkter Ableitungen aus relevanten Gesetzestexten weiterentwickelt. Im Rahmen des Projekts wurde ein automatisierter Prozess zur Ableitung von Anforderungen aus bestehenden Regularien entwickelt und implementiert. Dieser Prozess nutzt fortschrittliche KI-Technologien, um sicherzustellen, dass autonome Fahrzeugsysteme den komplexen und sich ständig weiterentwickelnden gesetzlichen Vorgaben entsprechen. Durch die Automatisierung der Anforderungsableitung wird der Entwicklungsprozess effizienter gestaltet, indem er die manuelle Analyse reduziert und die Genauigkeit der Implementierung erhöht. Die Anwendung dieser Technologie im Projekt zeigt, wie KI dazu beitragen kann, die Einhaltung von Regularien zu optimieren und die Sicherheit und Zuverlässigkeit autonomer Fahrzeuge zu verbessern.



Das Ziel dieses Arbeitspakets war die Entwicklung von Testmethoden für autonome Fahrzeuge. Im Rahmen des Projekts wurden eine detaillierte Analyse des Stands der Technik zu Freigabeverfahren und –tools für KI-Module durchgeführt sowie Untersuchungen zur Erzeugung von Referenzarchitekturen für Freigabetools für KI-Module vorgenommen. Alle diese Ziele wurden während der Projektlaufzeit erfolgreich erreicht.

AP6 Konzeption der Komponente zur Fehlerkorrektur und Fail-Operational-Mode und Integration des Gesamtsystems im Demonstrator

Im Rahmen von AP6 wurden verschiedene Kompensationsstrategien für falsch-positive und falsch-negative Ergebnisse systematisch untersucht und bewertet. Durch den Einsatz von LLM-basierten Methoden konnten adaptive Korrekturschleifen geschaffen werden, die das System befähigen, dynamisch auf unerwartete Störungen zu reagieren. Diese robusten Fehlerkorrekturkomponenten führten zu einer deutlichen Verringerung der Fehlerraten und verbesserten die Leistungsfähigkeit der autonomen Systeme unter realen Einsatzbedingungen erheblich.

Zusätzlich wurden Referenzarchitekturen für Kompensationsmodule entwickelt, die internationale Standards wie ISO 26262 für funktionale Sicherheit und ISO/IEC 27001 für Informationssicherheitsmanagement berücksichtigen. Diese standardisierten Strukturen sorgen für eine einheitliche Umsetzung und ermöglichen eine modulare Erweiterung der Systeme, was hohe Skalierbarkeit und Wiederverwendbarkeit der entwickelten Lösungen gewährleistet. Die entwickelten Kompensationsstrategien und Referenzarchitekturen bieten eine solide Grundlage für die kontinuierliche Qualitätssicherung und die Skalierung der Freigabeprozesse. Diese robusten Strukturen unterstützen nicht nur die aktuelle Implementierung, sondern auch zukünftige Erweiterungen und Anpassungen, wodurch eine nachhaltige Weiterentwicklung der autonomen Systeme sichergestellt wird.

Die Analyse spezifischer algorithmischer Grenzfälle ermöglichte das Identifizieren und Bewerten potenzieller Schwachstellen in den bestehenden Algorithmen. Durch gezielte Optimierungen konnten die Algorithmen robuster und widerstandsfähiger gegenüber extremen

oder unerwarteten Betriebsbedingungen gestaltet werden, was die Zuverlässigkeit der autonomen Fahrzeuge weiter steigerte.

Bei der Bewertung der Zuverlässigkeit von algorithmischen Detektionen hat es sich bei zahlreichen Experimenten bewährt, direkt über die phänomenologischen Ursachen der Degradation von Erkennungsleistung zu gehen. Im Beispiel erkennt das System eindeutig die Ursachen, die aus der Fachliteratur bekannt sind, in der auftretenden Live-Situation. Hier vorgeführt anhand der normativen und im Straßenverkehr weniger üblichen Körperhaltung von Personen. Eine seltene vorkommende Haltung kann zu einem Verlust der Erkennungsleistung führen, was insbesondere bei liegenden Personen kritisch sein kann. Deshalb ist es hilfreich die logischen Zusammenhänge des Szenarios in der Live-Situation besser automatisch bewerten zu können.



[Task]

Estimate the risk of a false detection from 0 to 1, where 1 is perfect detection, and 0 is false.

[Situation]

Image 1: Person standing on the road

Image 2: Person lying on the road.

[Solution]

- Image 1:
Risk of False Detection for Image 1: Low (close to 1)
- Image 2:
Risk of False Detection for Image 2: Moderate to High (≤ 0.5)

Die automatisierte Ableitung von Sicherheitsanforderungen und deren Formalisierung wurde untersucht, wobei ein Fokus auf die Umgebungswahrnehmung gelegt wurde. Insbesondere wurde die automatisierte Ableitung solcher Anforderungen aus aktuellen, für die Entwicklung von Fahrzeugfunktionen relevanten Sicherheitsstandards durchgeführt. Mittels KI-basierter Monitoringkonzepte wurden hardwarebedingten false-negatives und falsepositives untersucht. Die Ergebnisse zeigen positive Beiträge der KI zur Erkennung. Insbesondere konnten KI-Ansätze für Restriktionsverfahren für die operational design domain genutzt werden, die in von AP1 definierten Szenarien Anwendung fanden. Die Ansätze wurden dabei in virtuellen Umgebungen bzw. mit synthetischen und realitätsnahen Daten getestet. Die Entwicklung der Methode zur Ableitung der funktionalen Monitore aus den formalisierten Sicherheitsanforderungen mit der Berücksichtigung der Anwendungsfälle in der Laborumgebung kam entsprechend gut voran und zeigt positive Ergebnisse.

Der Fail-Operational-Mode wurde erfolgreich in das Gesamtsystem integriert. Die entwickelte intelligente Umschaltlogik stellt sicher, dass das System auch bei Auftreten von Fehlern funktionsfähig bleibt, wodurch ein hohes Maß an Sicherheit und Betriebskontinuität gewährleistet wird. Diese intelligente Umschaltlogik ist ein entscheidender Faktor für die Sicherheit autonomer Fahrzeuge und trägt maßgeblich zur Zuverlässigkeit des Gesamtsystems bei. Die Implementierung des Fail-Operational-Modus erfüllt somit die ursprünglichen Ziele von AP6, robuste Fehlerkorrekturkomponenten und einen zuverlässigen Fail-Operational-Modus zu entwickeln.

Das Ziel dieses Arbeitspakets war die Entwicklung von Ansätzen für Kompensationsstrategien und Referenzmodelle. Im Rahmen des Projekts wurden Kompensationsstrategien für false positives und false negatives untersucht, Referenzarchitekturen für Kompensationsmodule entwickelt sowie strategiespezifische algorithmische Grenzfälle analysiert.

AP7 Erprobung der Anwendungsfälle im Feld und Evaluation

Im Rahmen von AP7 wurden die entwickelten Monitor- und Kompensationsstrategien anhand umfangreicher Messdaten aus Feldtests in realen Szenarien (urban, Autobahn, diverse Wetterlagen) evaluiert. Durch den Einsatz fortschrittlicher Datenanalysetechniken und statistischer Methoden bewertete die STTech GmbH die Leistungsfähigkeit der Kompensationsmechanismen, was eine signifikante Reduktion von false positives und false negatives zur Folge hatte und die Zuverlässigkeit der autonomen Systeme maßgeblich erhöhte.

Ein systematischer Abgleich der Referenzarchitekturen mit den Testergebnissen identifizierte Abweichungen zwischen den theoretischen Modellen und den empirischen Daten. Diese Erkenntnisse ermöglichten gezielte Anpassungen und Weiterentwicklungen der Architekturen, um eine höhere Übereinstimmung mit den praktischen Anforderungen zu erreichen.

Die Integration von Echtzeit-Feedback-Mechanismen spielte eine entscheidende Rolle, indem sie eine kontinuierliche Rückführung der Testergebnisse in den Entwicklungsprozess ermöglichte. Insbesondere die automatisierte Videoverarbeitung erwies sich als zukunftssträchtiger Ansatz und wurde entsprechend optimiert.

Im Rahmen des Projekts wurden KI-basierte Function-Monitor-Konzepte erfolgreich im Straßenverkehr angewendet. Diese Konzepte ermöglichen eine kontinuierliche Überwachung und Bewertung der Fahrzeugfunktionen, um die Sicherheit und Zuverlässigkeit autonomer Fahrzeugsysteme zu gewährleisten. Durch die Implementierung dieser Technologien konnten autonome Fahrzeuge ihre Entscheidungsprozesse optimieren und auf unerwartete Verkehrssituationen effektiv reagieren. Die praktische Anwendung im Straßenverkehr demonstriert die Leistungsfähigkeit und den Mehrwert der entwickelten Function-Monitor-Konzepte, die einen wesentlichen Beitrag zur Absicherung von KI-Systemen leisten.

[Task] A car on the road is blocked by two conflicting requirements in a traffic situation. What should the car do?

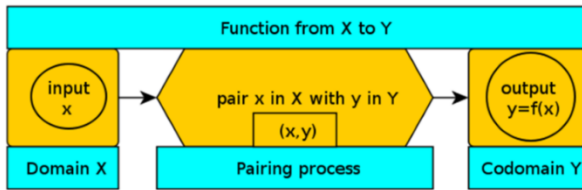
[Situation] The car in urban traffic congestion next to fire hydrant trying to plan paths for rescue alley evasion so a police car can pass through the rescue alley.

[Constraint 1]: The car should maintain a minimum distance of 3 meters from fire hydrants, emphasizing the importance of safety and accessibility for emergency services.

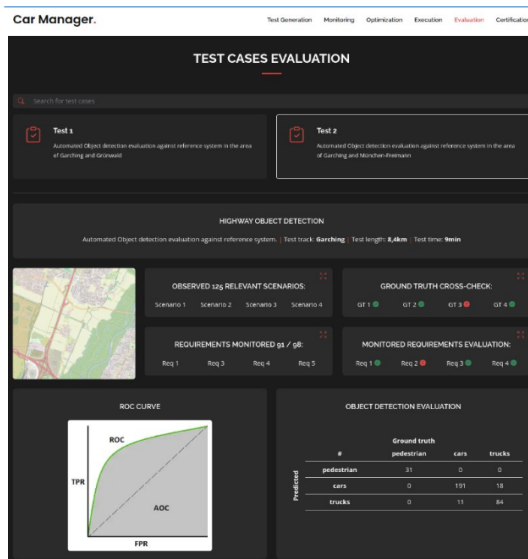
[Constraint 2]: The car should maintain a distance of less than 2 meters from surrounding objects during traffic congestion.

[Solution]

1. **Assess the situation:** Dependant of the urgency the police car needs immediate passage, this takes precedence.
2. **Slowly approach the fire hydrant:** The car should carefully approach the fire hydrant.
3. **Create the rescue alley:** Temporarily move closer to the fire hydrant to create a passage wide enough for the police car to go through.
4. **Proceed with caution:** Once the police car has safely passed, the car can then move away from the fire hydrant and continue driving.



Im Rahmen des Projekts wurden die Ansätze der STTech GmbH erfolgreich in automatisierten Testverfahren im Straßenverkehr angewendet. Diese Tests demonstrierten die praktische Umsetzung und Effektivität der entwickelten Konzepte zur Absicherung von KI-Systemen in realen Verkehrsszenarien. Durch die Integration der STTech-Technologien konnten autonome Fahrzeuge ihre Entscheidungsfindung optimieren und die Sicherheit im Straßenverkehr erhöhen. Die Ergebnisse dieser Tests unterstreichen die Innovationskraft und den praktischen Nutzen der im Projekt entwickelten Lösungen.



Goal: offer a customizable and easy-to-deploy test automation solution



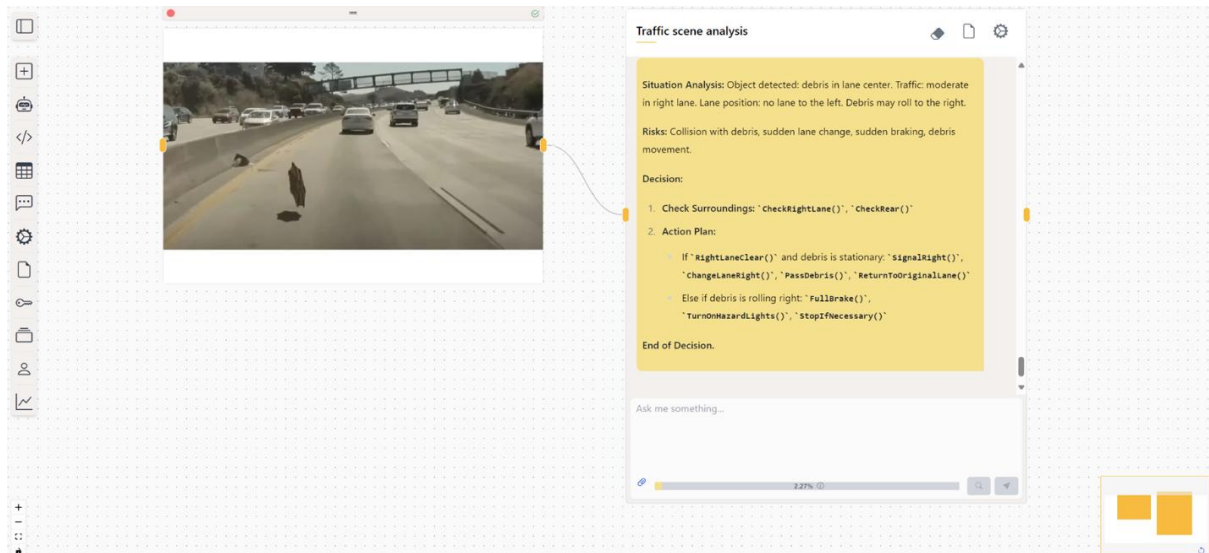
List of requirements

Test execution summary

Key benefits:

- Automated test cases generation & execution
- Constant execution monitoring
- Parameters optimization
- Test performance & KPI evaluation
- Certification and documentation

Während der Abschlussdemonstration wurden die Projektergebnisse vorgestellt und die Integration in die KI Systeme erläutert. Die Abbildung zeigt die Demonstration der Mechanismen anhand eines Verkehrsszenarios in den USA, bei dem die Entscheidungsfindung eines autonomen Fahrzeugs durch die entwickelten KI- und Absicherungsmethoden unterstützt wird.



Das Ziel dieses Arbeitspakets war die Evaluation und der Abgleich der Architekturkonzepte mit den Testergebnissen. Im Rahmen des Projekts wurden Monitore und Kompensationsstrategien anhand von Messdaten evaluiert, die Konzepte für die Referenzarchitekturen mit den Testergebnissen abgeglichen sowie die Testdaten ausgewertet. Alle diese Ziele wurden während der Projektlaufzeit erfolgreich erreicht.

7. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises können dem beigefügten Erfolgskontrollbericht entnommen werden.

8. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit war notwendig und angemessen, um die komplexen Anforderungen des Projekts zu erfüllen. Die Erfolgsaussichten nach Projektende sind vielversprechend, mit einem Zeithorizont von etwa zwei bis fünf Jahren für die vollständige Integration der Ergebnisse in kommerzielle Anwendungen. Die geplanten Ergebnisse können durch Zusammenarbeit und Know-how-Transfer mit anderen Einrichtungen, in Arbeitskreisen und auf Tagungen weiter genutzt und verbreitet werden.

9. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Projektergebnisse und Verwertung bei STTech GmbH

Die Projektergebnisse bieten einen erheblichen Nutzen, insbesondere in der Verbesserung der Sicherheit und Zuverlässigkeit von autonomen Fahrzeugsystemen. Die entwickelten Technologien und Konzepte zur Absicherung von KI-Systemen sind indirekt in die Produktlinien der STTech GmbH integrierbar und bieten Potenzial für Lizenzierung und Partnerschaften mit anderen Unternehmen in der Automobilindustrie. Der fortgeschriebene Verwertungsplan sieht vor, die Ergebnisse sowohl in bestehenden als auch in neuen Märkten zu nutzen, um die Wettbewerbsfähigkeit der STTech GmbH zu stärken und die Innovationsführerschaft im Bereich der autonomen Fahrtechnologien zu sichern. Die Ergebnisse leisten u.a. für die STTech einen Beitrag zur globalen, internationalen Wettbewerbsfähigkeit.

Die STTech GmbH plant, die im Projekt entwickelten Technologien in ihre bestehenden Produkte zu integrieren und neue Lösungen für die Automobilindustrie zu entwickeln. Die Verwertung umfasst die Anwendung der Absicherungskonzepte in kommerziellen autonomen Fahrzeugsystemen und die Weiterentwicklung der Monitoring-Technologien für den Einsatz in verschiedenen Verkehrsszenarien. Durch die Verwertung der Projektergebnisse wird die STTech GmbH ihre Position als führender Anbieter von Unterstützungswerkzeugen für sichere und zuverlässige autonome Fahrtechnologien weiter ausbauen.

Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Die wissenschaftlichen und technischen Erfolgsaussichten sind hoch, da das Projekt innovative Ansätze zur KI-Absicherung entwickelt hat, die in der Branche als wegweisend angesehen werden. Die Ergebnisse bieten eine solide Grundlage für weitere Forschung und Entwicklung in diesem Bereich, insbesondere in der Verbesserung der Robustheit und Zuverlässigkeit von KI-Systemen für autonome Fahrzeuge.

Wissenschaftliche und/oder wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die Anschlussfähigkeit ist sowohl wissenschaftlich als auch wirtschaftlich gegeben. Wissenschaftlich können die Ergebnisse in weiteren Forschungsprojekten vertieft werden, während wirtschaftlich die indirekte Integration in bestehende und neue Produkte der STTech GmbH und ihrer Partner möglich ist. Die entwickelten Technologien bieten Potenzial für Kooperationen mit anderen Forschungseinrichtungen und Unternehmen, um die Anwendung und Weiterentwicklung der Konzepte zu fördern.

10. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Während der Projektdurchführung wurden Fortschritte bei verwandten Förderprojekten und Forschungsgebieten beobachtet, insbesondere in den Bereichen KI-Entwicklung und Fahrzeugautomatisierung. Diese wurden durch kontinuierliche Recherche und Austausch mit anderen Projekten und Institutionen in das eigene Vorhaben integriert, um Synergien zu nutzen und die eigene Forschung zu bereichern. Die Abgrenzung zum eigenen Vorhaben erfolgte durch die spezifische Fokussierung auf die Harmonisierung von Absicherungs- und KI-Konzepten, die in anderen Projekten nicht im gleichen Umfang behandelt wurden.

11. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Während des Projektverlaufs wurden die Projektergebnisse Industriepartnern in Gesprächen vorgestellt. Zusätzlich wurden Forschungsinhalte als Teil der Forschungslandschaft auf der ACC 2023 vorgestellt.

Der Abschlussbericht zu diesem Projekt wird in der Technischen Informationsbibliothek Hannover und der Bibliothek des BMWK zur Verfügung gestellt.