

Voraussetzungen und Konzepte zur Realisierung eines neurokognitiven Fahrerassistenzsystems für autonome Rettungstransporte

Artiom Carabas
Fakultät Informatik
Hochschule Furtwangen
Furtwangen, Deutschland
artiom.carabas@hs-furtwangen.de

Fatih Karabay
Fakultät Informatik
Hochschule Furtwangen
Furtwangen, Deutschland
fatih.karabay@hs-furtwangen.de

Rainer Duda
Fakultät Informatik
Hochschule Furtwangen
Furtwangen, Deutschland
rainer.duda@hs-furtwangen.de

Zusammenfassung—In der vorliegenden Arbeit wird ein Konzept für ein neurokognitives Fahrerassistenzsystem für autonome Rettungstransporte vorgeschlagen, das im Bewusstlosigkeitsfall des Fahrenden lebensrettende Fahrten einleitet und Rettungskräfte verständigt. Zu diesem Zweck wurden aktuelle KI-gestützte Frameworks aus Forschung und Industrie untersucht, die autonomes Fahren ermöglichen sowie fortschrittliche Kabinenüberwachung bereitstellen. Darauf aufbauend wurde ein Konzept entwickelt, um NVIDIAs AI CoPilot als Anwendungsmodul in Baidus Apollo Framework zu integrieren. Zusätzlich wurden bestehende Module in Apollo erweitert und neue konzipiert, um den Krankenmodus zu ermöglichen. Nachfolgend wurden Verbesserungsvorschläge eruiert, um das System auf unterschiedliche Rettungsszenarien auszurichten.

Index Terms—Autonomous Vehicles, Cabin Monitoring, Fahrerassistenzsystem, Krankenmodus, Smart Cars

I. EINFÜHRUNG

Kraftfahrzeugfahren ist eine Tätigkeit, bei der alle Sinne der Fahrenden zusammenwirken müssen und eine plötzliche Beeinträchtigung zu Unfällen führen kann. Eine sichere Fahrt auf stark befahrenen Straßen sowie Autobahnen erfordert von Fahrenden eine aufmerksame Wahrnehmung der Umgebung und vor allem Situationsbewusstsein, damit in Notsituationen korrekt reagiert und Schadensfreiheit gewährleistet werden kann.

A. Medizinische Notfälle als Unfallursache

Zahlen des statistischen Bundesamtes zeigen, dass im Jahr 2021 auf Basis vorläufig vorliegender Daten 2.450 Menschen im Straßenverkehr gestorben sind. Das entspricht durchschnittlich 7 Toten und mehr als 800 Verletzten im Straßenverkehr pro Tag in Deutschland [1]. Von Januar bis Oktober 2021 wurden 270.520 verunglückte Verkehrsteilnehmende registriert. 17,35% waren schwerverletzt, 81,85% leichtverletzt und 0,8% wurden getötet [2]. Laut statistischem Bundesamt sind die meisten Unfälle auf menschliches Versagen zurückzuführen [3]. Es wird zwar von einem Rückgang der Todesfälle im Vergleich zum Vorjahr gesprochen, wobei das laut Schätzungen daran liegt, dass Coronamaßnahmen zu verringertem Verkehr geführt haben [1].

Dies impliziert, dass die Todes- und Verletztanzahlen nach einer Reduktion vermutlich wieder zunehmen werden. Im Jahr 2020 waren die Hauptgründe für Verkehrsunfälle mit Personenschäden zurückzuführen auf menschliches Versagen beim Abbiegen (15,9%), Fehler beim Abstandhalten (12,3%) und unangepasste Geschwindigkeit (11,9%) [4].

Akute medizinische Notfälle mit Bewusstlosigkeit der Fahrenden sind mit 3,4% angegeben, jedoch mit einer besonderen Schwere bei den Verkehrsunfällen. Führend bei den Bewusstlosigkeitsgründen sind Epilepsien, gefolgt von Hypoglykämien bei Diabeteserkrankungen und kardialen Ursachen [5].

B. Teilautonome Fahrzeuge

Führende Automobilhersteller arbeiten an autonom fahrenden Personen- und Kraftfahrzeugen – kurz AV, während bereits teilautonome Fahrzeuge auf den Straßen unterwegs sind. Autonom - auch volle Fahrautomatisierung genannt - bedeutet hierbei, dass ohne das Zutun eines menschlichen Fahrers am Verkehr teilgenommen wird. Teilweise autonome Fahrzeuge benötigen einen menschlichen Fahrer, dieser wird jedoch durch intelligente Fahrerassistenzsysteme wie zum Beispiel einen Spurwechselassistenten unterstützt [6].

Die Stufen der Fahrautomatisierung sind im J3016 Standard der Society of Automotive Engineers (SAE) als sechs Stufen definiert – 0 bis 5. Die ersten vier Stufen setzen einen Fahrenden voraus, die letzten beiden Stufen, namentlich hohe und volle Automation, nicht [7]. Der Konzern Honda stellte 2021 das Fahrerassistenz- und Sicherheitssystem SENSING 360 vor, auf Basis der Fahrautonomiestufe 3, dessen Einsatz im Jahr 2022 geplant ist. Ziel dieses Systems ist, laut Honda, die Verkehrsunfälle mit Todesfolge bei der Nutzung von Honda Fahrzeugen bis 2050 auf 0 zu reduzieren. Als Fahrerassistenzsysteme kommt ein Kollisionsschutz beim Spurwechsel, ein aktiver Spurwechselassistent und ein intelligenter Kurvenassistent zum Einsatz [8]. Die technologischen Aspekte benötigen an der Stelle noch immer einen Fahrenden bei vollem Bewusstsein.

Vereinzelt setzen Automobilhersteller spezifische Notfallassistenten ein. So besitzt der Audi Q2 die Fähigkeit, den Fah-

renden mit akustischen Signalen und Warnrucken zu warnen. Sollte das Active Lane Assist System keine Veränderung der Lenkradbewegung wahrnehmen, wird das Automobil automatisch zum Stillstand gebracht und entsperrt [9]. Das System des Q8 Modells zieht zudem die Gurte fest, bringt das Automobil zum Stillstand, entriegelt, schaltet die Innenraumbeleuchtung ein und setzt einen automatischen Notruf ab [10].

C. Automatisierter Rettungsnotruf

Seit April 2018 gehört ein System namens eCall zum Standard jedes Neuwagens, der in der europäischen Union produziert wird. Im Falle eines schweren Unfalls soll eCall automatisch einen standardisierten Datensatz an die Notrufnummer 112 senden unter Berücksichtigung einer Bewusstlosigkeit. Zusätzlich lässt sich der Notruf manuell über einen Knopf auslösen. Die gesendeten Informationen beinhalten unter anderem den Unfallzeitpunkt, Fahrzeugposition, Fahrzeughaltung, Anzahl der Insassen und die zwei letzten Fahrzeugpositionen [11].

Der Weg zum nächstmöglichen Rettungstreffpunkt bleibt jedoch unberücksichtigt, was im Falle eines Schlaganfalls verheerende Folgen für die Gesundheit haben kann. Um eine intelligente Rettungsfahrt zu initiieren, muss eine höhere Fahrautonomie in Verbindung mit erweiterter Konnektivität in Betracht gezogen werden.

D. Smart Cars

Aufbauend auf autonomen Fahrzeugen stehen intelligente Fahrzeugmodelle (Smart Cars) im Fokus der Entwicklung führender Automobilhersteller. Eine Kombination aus autonomer Fahrt (AV) mit den vernetzten Vorteilen des *Internet der Dinge* (Internet of Things, IoT) – eines Connected Cars mit ständiger Internetverbindung [12].

Eine sichere Weiterfahrt durch automatisiertes Fahren allein gewährleistet jedoch keine aktive Verbesserung des Gesundheitszustands der Fahrenden. Zusätzlich muss in Echtzeit der Gesundheitszustand (Bewusstsein) des Fahrenden ermittelt werden. Hierfür gibt es unterschiedliche Ansätze.

Das Unternehmen Harman entwickelte ein visuelles System hinter dem Lenkrad, das die Schwankungen des Pupillendurchmessers analysiert, um den Nutzungsgrad des Gedächtnisses zu messen. Durch die gemessene kognitive Belastung lässt sich ermitteln, ob eine Ablenkung und oder medizinischer Notfall eintreten würde [13]. Der Automobilhersteller BMW hat in Zusammenarbeit mit der technischen Universität München ein System entwickelt, um Vitalparameter wie Herzfrequenz, Hautwiderstand sowie Sauerstoffsättigung im Blut über einfache Sensoren im Lenkrad zu ermitteln [14]. Ein ähnliches Vorgehen ist bei Toyota in Zusammenarbeit mit der Nihon Medical Universität zu sehen [15]. Fraglich bleibt, ob die Hände von Fahrenden im akuten medizinischen Notfall tatsächlich am Lenkrad positioniert sind [13]. Das Unternehmen NVIDIA stellt seit 2021 ein System namens Drive IX bereit, das eine offene KI-gestützte Kabinenwahrnehmungstechnologie

bereitstellt, um neben der Überwachung von Fahrenden zudem ein Situationsverständnis im Innenraum des Fahrzeugs bereitzustellen. Im Gegensatz zu klassischen Fahrerassistenzsystemen nimmt die Drive IX die Aufmerksamkeit des Fahrenden, seine Aktivität, seine Emotionen, sein Verhalten, seine Körperhaltung, seine Sprache, seine Gestik und seine Stimmung wahr [16].

Aus der Motivation heraus, die Verkehrssicherheit weiter zu erhöhen und gleichermaßen die Gesundheit der Fahrenden zu schützen, wird in der vorliegenden Arbeit das Konzept eines Notfallfahrerassistenzsystems erarbeitet und bewertet, das drei grundlegende Aufgaben übernehmen, soll:

- Erkennung eines medizinischen Notfalls über ein visuelles System.
- Einleitung einer Fahrt zum nächstmöglichen Rettungstreffpunkt.
- Einleitung eines Notrufsignals an eine Rettungsleitstelle.

Die Basis des zu erarbeitenden Lösungsvorschlags basiert auf bestehenden *state-of-the-art* Frameworks für autonomes Fahren und der Kabinenüberwachung.

II. RELATED WORK

A. KI-basierte Fahrerassistenzsysteme

Um eine sichere und autonome Fahrt eines Fahrzeugs im Bewusstlosigkeitsfall des Fahrenden zu gewährleisten, müssen durch KI-basierte Autopiloten im Falle einer Bewusstlosigkeit Fahrmanöver bestmöglich planen und durchführen. Die Bewusstlosigkeit muss effektiv erkannt werden, was voraussetzt, dass das intelligente Fahrzeugmodell Schnittstellen bieten muss für die Integration von Kabinenüberwachungssystemen. Nachfolgend werden aktuelle Plattformen für die Fahrautomatisierungsstufe 5 aufgeführt und auf Zugänglichkeit sowie Anpassbarkeit bewertet.

1) *AI-NAAV*: Bharati und Kollegen [17] beschreiben das Konzept des AI-NAAV. Die Abkürzung AI-NAAV (AI-enabled Neurocognition Aware Autonomous Vehicle) stellt ein Konzept dar, für ein Fahrzeug, das einen KI-gestützten Autopiloten besitzt. Durch Einsatz von Deep-Learning Modellen und einem Weltmodell besitzt das Fahrzeugkonzept die Fähigkeit im Falle einer Bewusstlosigkeit des Fahrenden diese zu erkennen und daraufhin in einen autonomen Fahrtmodus zu wechseln, um eine sichere Weiterfahrt zu gewährleisten. Das AI-NAAV System baut auf den im SAE Standard definierten funktionalen Komponenten eines automatisierten Fahrsystems auf – engl. Automated Driving System (ADS).

Weiter führen sie aus, dass der Datenfluss des AI-NAAV Modells auf der Sensorabstraktionsebene beginnt, bei der ein Konglomerat aus intero- und exterozeptiven Sensoren genutzt werden, um die Umgebung wahrzunehmen und mit ihr zu interagieren. Mittels Sensorfusionsalgorithmen werden mehrere Datendarstellungen von verschiedenen Sensoren extrahiert, die entweder im kooperativen, komplementären oder konkurrierend arbeiten. Durch statistische und probabilistische

(trainierte) Modelle werden strategische Lösungen für zum Beispiel die Motorsteuerung und das Lenkverhalten ermittelt.

Ergänzend führen sie fort, das ein Weltmodell als Schnittstelle zwischen den sensorischen Daten und den verhaltensbezogenen Aspekten des ADS diene. Repräsentiert wird in dem Weltmodell der aktuelle Zustand der externen und internen Welt. Das Wissen wird in die Datenverarbeitungspipeline eingespeist, um geeignete Laufzeit-Verhaltensmuster zu erzeugen. Das Verhalten des ADS wird als Zustandsmaschinenmodell repräsentiert, das das Fahrzeug durch erweiterte Verhaltensweisen führt. Innerhalb der Pipeline werden mehrere mögliche kognitive Verhaltensweisen für eine Situation erzeugt und das vom System am besten bewertete Verhalten aktiviert eine Aktionssequenz der Aktuatoren [17]. Da es sich um eine prototypische Realisierung im Rahmen der Forschung handelt, steht ein kommerzieller Einsatz aus, jedoch kann auf die Funktionsweisen zugegriffen werden.

Auf die Funktionalität der Fahrerüberwachung und der Absetzung von Alarmsignalen wird nicht eingegangen. Eine freie und zugängliche Codebasis ist nicht vorhanden. Stattdessen wurden die Manöver mathematisch modelliert und im quelloffenen (Open Source) CARLA Simulator [18] getestet.

2) *Apollo*: Der Konzern Baidu hat im April 2017 die Apollo Plattform für autonomes Fahren als Open Source veröffentlicht und im Jahr 2020 die Version Apollo 6.0 vorgestellt. Darin enthalten sind umfassende Verbesserungen der Deep Learning Modelle im Kontext des autonomen Fahrens. Die Umgebungswahrnehmung wird durch ein PointPillars-Modell unterstützt, das zur Objekterkennung LiDAR-Punktwolken Daten verarbeitet und mit TensorRT beschleunigt wird. Für die innerstädtische Fahrt wird ein semantisches kartenbasiertes Modell verwendet, das das Aufkommen und Verhalten von Fußgängern in der Umgebung erfassen soll. Des Weiteren wird bei der Aktionsplanung ein lernfähiges Trajektorienplanungsmodell angewandt, das das Fahrverhalten von Fahrenden nachahmen soll bei der Vorbeifahrt an langsam fahrenden Hindernissen. Für das Audio- sowie Videostreaming erlaubt Apollo Version 6 Entwickelnden eigene Netzwerkmodule zu entwerfen und zu implementieren unter Voraussetzung einer Schnittstellenkonformität. Darüber hinaus wird ein Deep Learning Modell genutzt, um Einsatzfahrzeuge mit einer Genauigkeit von 95 % zu erkennen, wie auch den Standort der Fahrzeuge zu ermitteln und ob sie sich nähern oder entfernen.

Seitens der Softwareentwicklungsumgebung werden aktuelle industrielle und akademische Trends berücksichtigt, daher unterstützt das System C++ 14, Python 3.6, Bazel 3.4 und GCC 7.5. Dazugehörige Bibliotheken wie PCL Tensor TR und PyTorch sind vollständig aktualisiert worden. Die Datenpipeline wurde komplett in die Simulationssoftware integriert und bietet dadurch Entwickelnden unterschiedliche Dienste, um eigene Modelle für autonome Fahrten zu trainieren.

Des Weiteren lassen sich unterschiedliche dynamische Fahrzeugmodelle in einem Simulator trainieren, gefolgt von einem Profilierungsdienst für Freiraumplanung und einem

vollständigen Dienst zur Anpassung sämtlicher Steuerungsparameter [19]. Zur Erkennung von Notfallfahrzeugen mit Alarmsirene werden Mikrofone am Fahrzeug installiert, um Audiosignale rund um das autonome Fahrzeug zu sammeln für eine Analyse und Weiterverarbeitung [20].

Das impliziert, dass für die Implementierung und Integration eines effektiven Fahrerüberwachungssystems unter Berücksichtigung der Schnittstellenkonformität und quelloffene Codebasis mit ausführlicher Dokumentation eigene Module konzipiert werden können. Aktuell befindet sich ein auf Unity basierender Simulator in der Betaphase für den sich Entwickelnde als Betatester registrieren können [21]. Durch den barrierefreien Zugang und die Quelloffenheit bietet sich die Plattform für eine Fahrerüberwachungserweiterung an.

3) *Snapdragon Ride*: Das Unternehmen Qualcomm hat auf der CES 2020 bekanntgegeben, dass es mit Snapdragon Ride, einer Ende-zu-Ende-Plattform für fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme (ADAS) der Stufe 2+ und autonome Fahrzeuge im Jahr 2023 starten wird. Die Plattform besteht aus Hardware - Snapdragon Ride Safety System-on-Chips (SoCs), Software - Snapdragon Ride Safety Accelerator - und Entwicklungstools - Snapdragon Ride Autonomous Stack. Fahrzeuge sollen Fahrten planen, eigenständig Spurwechseln vornehmen und Sicherheitsentscheidungen treffen können. Laut Qualcomm deckt die Plattform alle Fahrautomatisierungsstufen ab. Beginnend mit Stufe 1 und 2 besitzt das Safety ADAS einen Spurrassistenten neben autonomen Bremsvorgängen. Stufe 2+ stellt ein Convenience ADAS bereit, das autonomes Fahren auf der Autobahn und autonomes Fahren über kurze Strecken wie etwa beim Einparken umfasst. Die beiden letzten Stufen 4 und 5 für vollautonomes (städtisches) Fahren soll für Robotaxis bereitstehen. Die Hardware von Snapdragon Ride besteht aus einem Konglomerat von Sensoren, einschließlich Kameras, Lidar, Radar, C-V2X Fahrzeugkommunikation und einem Snapdragon Ride Safety SoC für Sensorfusion und die Anwendung von Algorithmen. Weiter führt Qualcomm aus, dass die Autonomous Stack-Softwareinfrastruktur als offene Plattform bereitgestellt wird. Die Plattform ist seit der ersten Hälfte des Jahres 2020 für die Vorentwicklung verfügbar und wird laut Autoren ab 2023 in Produktion gehen [22].

Für die visuelle Wahrnehmung kommt ein Vision-SoC zum Einsatz mit der identischen Technologie wie der ADAS-SoC, jedoch mit einer Optimierung für bildverarbeitende Rechenoperationen. Zum Einsatz kommen die Vision-SoCs bei der gesamten Sensorverarbeitung des Sensorarrays in der Fahrerkabine wie auch außerhalb des Fahrzeugs. In der Fahrerkabine überwachen die Bildsensoren den Fahrenden nebst Beifahrenden. Außerhalb des Fahrzeugs werden neben Bildsensoren zusätzlich Radar und Lidar genutzt, um das Wahrnehmungssystem zu speisen. Zugriff auf die Entwicklungsumgebung sowie Hardwarekomponenten erhalten Tier-One Zulieferer, OEM Partner oder Softwarepartner [23].

Es zeigt sich, dass keine quelloffene und frei zugängliche Codebasis vorhanden ist und Lizenznehmende und Partnerunternehmen von Qualcomm exklusiven Zugriff auf Hard- sowie

Software erhalten. Die Entwicklungsgemeinschaft beschränkt sich hierbei stark auf einen abgesteckten Kreis von Akteuren, die eine Lizenz erworben haben.

B. Visuelle Fahrerüberwachung

Fahrerüberwachungssysteme sollen das Verhalten des Fahrenden in der Fahrzeugkabine in Echtzeit beobachten und automatisch gefährliche Zustände feststellen. Bei der Überwachung des Fahrerverhaltens in Echtzeit gibt es einige Herausforderungen - schlechte Lichtverhältnisse, Glasreflexionen und Verdeckungen [24]. Nachfolgend werden Systeme vorgestellt, die trotz der oben genannten Schwierigkeiten ihre Aufgabe ausführen.

1) *Continental Driver Monitoring System*: Das Continental Driver Monitoring System [25] erkennt zuverlässig Schläfrigkeit und liefert Warnhinweise. Unterstützt wird zudem Gesichtserkennung, Emotionserkennung und erweiterte Gestensteuerung. Das System erhöht die Sicherheit durch die Identifizierung des Fahrers mittels Gesichtserkennung durch eine Kamera und ermöglicht autonomes Fahren ab L2+ und höher. Das System besteht aus 3 Hauptkomponenten:

- Die Innenraumkamera
- Die elektronische Steuereinheit, die von den Betriebssystemen Linux und Autosar gesteuert wird.
- DMS-Softwarealgorithmus, der Aufmerksamkeit und Müdigkeit, Emotionen, Gesten und Gesichtserkennung erkennen kann.

Für die Aufmerksamkeitserkennung überwacht das System das Verhalten des Fahrenden, einschließlich der Kopfposition, des Augenaufschlags (Bereich und Dauer) und weiterer Signale aus dem Auto wie Fahrzeuggeschwindigkeit und Verkehrszeichen. Anhand dieser Informationen kann die Aufmerksamkeit des Fahrers auf einer Skala von 1 (aufmerksam) bis 4 (abgelenkt) eingestuft werden. Die Ergebnisse werden genutzt, um Fahrerassistenzfunktionen wie Warnung vor dem toten Winkel oder den Notbremsassistenten dynamisch anzupassen. Die Müdigkeit des Fahrenden wird anhand der Dauer und Häufigkeit des Augenblinzeln sowie der Geschwindigkeit, mit der sich die Augen öffnen und schließen, diagnostiziert. Dabei wird die absolute Öffnung des linken und rechten Auges ständig überwacht und ausgewertet. Auf der Grundlage der Karolinska-Schläfrigkeitsskala (KSS) wird eine einfach zu verwendende vierstufige Schläfrigkeitsskala berechnet, die von 1 (wach) bis 4 (schläfrig) reicht. Wird die Schläfrigkeit des Fahrers erkannt, kann der Fahrer rechtzeitig gewarnt werden. Außerdem können diese Informationen zur dynamischen Anpassung von Fahrerassistenzfunktionen wie dem adaptiven Tempomat verwendet werden. Jeder Fahrer kann anhand von Gesichtsmerkmalen wie 3D-Gesichtsgeometrie und Hautbeschaffenheit eindeutig identifiziert werden. Zudem ist System robust gegenüber Brillen.

2) *Mercury*: Das Framework Mercury [26] kombiniert Computer Vision und Deep Learning Algorithmen, um den Fahrer während der Fahrt kontinuierlich zu überwachen. Die vorgeschlagene Lösung erfüllt die Anforderungen, die sich aus dem anspruchsvollen automobilen Kontext ergeben: die

Lichtinvarianz, um ein System zu haben, das unabhängig von der Tageszeit und den Wetterbedingungen funktioniert. Daher wurden Infrarotbilder, d. h. Tiefenkarten (bei denen jedes Pixel dem Abstand zwischen dem Sensor und dem betreffenden Punkt in der Szene entspricht), in Verbindung mit herkömmlichen Intensitätsbildern verwendet. Zweitens muss das System nicht invasiv sein, da die Bewegungen des Fahrers während der Fahrt nicht behindert werden dürfen: In diesem Zusammenhang ist die Verwendung von Kameras und bildgestützten Algorithmen eine der besten Lösungen. Schließlich ist eine Echtzeitleistung erforderlich, da ein Überwachungssystem sofort reagieren muss, sobald eine potenzielle Gefahrensituation erkannt wird. Das System besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

- Full HD RGB-Kamera;
- Tiefensensor. Dieser Sensor liefert Tiefeninformationen in Form einer zweidimensionalen Anordnung von Pixeln, d. h. einer Tiefenkarte, ähnlich wie bei einem Graustufenbild;
- Infrarotsender: Dieses Gerät basiert auf der Time-of-Flight (ToF)-Technologie und seine Reichweite reicht von 0,5 bis 7 Meter;

Die Analyse der Aufmerksamkeit und des Ermüdungsgrades des Fahrers erfolgt durch den Indikator PERCLOS (PERcentage of eyelid CLOSure), der 1994 in [9] eingeführt wurde. Es wird der prozentuale Anteil (80 % bis 100 %) der Zeit in einer Minute ausgedrückt, in der die Augen geschlossen bleiben. Die PERCLOS-Messung ermittelt einen numerischen Wert, um den Aufmerksamkeitsgrad zu bestimmen. Dieser wird in drei Schwellenwerten klassifiziert; Wachsam, schläfrig und unkonzentriert. Wobei letzterer die völlige Unaufmerksamkeit des Fahrenden darstellt und von einer schlechten körperlichen Verfassung ausgegangen werden kann. Laut den Autoren werden blinzeln Schläge bei der Berechnung ausgeschlossen. Nur längere und langsame Schließungen der Augen (Droops) werden für die Ermittlung in Betracht gezogen.

3) *NVIDIA Drive IX*: NVIDIA Drive IX ist ein Framework, das Funktionen wie integrierte Bild-, Sprach- und Grafikanwendungen bietet und für die Fahrerüberwachung geeignet ist durch den AI Copilot [27]. AI CoPilot ist ein Fahrerüberwachungssystem, das eine dem Fahrer zugewandte Kamera, eine IR-LED und eine hochentwickelte Deep-Learning-Software verwendet, die auf dem NVIDIA DRIVE AGX System im Auto läuft. CoPilot nutzt Sensordaten von einem Mikrofon sowie von Kameras innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs, um die Umgebung zu erfassen. Das System versteht, wohin der Fahrer während der Fahrt schaut, um Objekte zu erkennen, die der Fahrer möglicherweise nicht sieht. Auf diese Weise kann das Auto Vorschläge, Warnungen und bei Bedarf auch Eingriffe für ein sichereres und angenehmeres Fahrerlebnis anbieten. Eine Schlüsselkomponente des AI Co-Pilot ist die Technologie zur kontinuierlichen Echtzeit-Überwachung der Körperhaltung und des Blicks des Fahrers. Durch die Verfolgung von Kopf und Augen wird festgestellt, wo der Fahrer seine Aufmerksamkeit aufbringt,

und die Blinzelhäufigkeit wird überwacht, um Müdigkeit und Schläfrigkeit zu beurteilen [28]. Einige der wichtigsten Funktionen von AI Co-Pilot sind: 3-dimensionale Blickerkennung, Müdigkeitserkennung, Ablenkungserkennung und Erkennung der Kopfhaltung.

III. EIN NEUROKOGNITIVES FAHRASSISTENZSYSTEM FÜR AUTONOME RETTUNGSTRANSPORTE

Um im Bewusstlosigkeitsfall eines Fahrenden eine autonome Fahrt zur nächstmöglichen Rettungsstelle zu ermöglichen und automatische Notrufsignale abzusetzen, wird nachfolgend das Konzept eines intelligenten Fahrzeugs beschrieben, dass die Vorteile von Baidus Apollo mit eCall und einem Kabinenüberwachungssystem auf Basis von NVIDIA Drive IX beschreibt.

A. Systemdesign

Das Systemdesign des vorgeschlagenen Moduls für ein neurokognitives Fahrassistentensystem baut auf der Referenzarchitektur [29] von Baidus Apollo auf. Diese ist in vier Schichten (Plattformen) unterteilt:

- 1) Cloud-Service
- 2) Offene Software
- 3) Hardwareentwicklung
- 4) Fahrzeugreferenz

Die Hardwareentwicklungsplattform definiert vorhandene und unterstützte technische Gerätschaften, während die offene Softwareplattform ein Konglomerat an Modulen definiert, die als ein einzelnes System - eine neurokognitive Einheit - gesehen werden [30]. Für die Integration eines neuen Kabinenüberwachungssystems auf Basis des NVIDIA DRIVE IX AI CoPilot im Innenraum des Fahrzeugs wurden die vorhandenen Apollo Module in der offenen Softwareplattform sowie unterstützte Gerätschaften der Hardwareentwicklungsplattform auf Integrationsmöglichkeiten untersucht. Darauf aufbauend wurde der Erstellungsprozess von Modulen und die Anbindung proprietärer Systemkomponenten eruiert, um eine Empfehlung für die Integration des AI CoPilot in Apollos System abzuleiten.

B. Datenfluss

Für eine erfolgreiche Modulerweiterung müssen alle Module als ein neurokognitives System arbeiten. Der generelle Datenfluss wichtiger Anwendungsmodule ist in Abbildung 1 dargestellt.

Im Wahrnehmungsmodul [31] wird die äußere Umgebung des autonomen Fahrzeugs abgebildet, es wird zudem als das kritischste und komplexeste Modul angesehen. Fusioniert werden Ausgaben verschiedener Sensortypen wie LiDAR, Radar und Kameras, um die Erkennungsgenauigkeit zu verbessern. Zur Wahrung der Logik werden in diesem Modul Anpassungen vorgenommen, um neben dem Außenbereich auch den Innenraum zu erfassen. Das Wahrnehmungsmodul speist das Vorhersagemodul. Dieses untersucht und prognostiziert das Verhalten aller vom Wahrnehmungsmodul erkannter Hindernisse durch

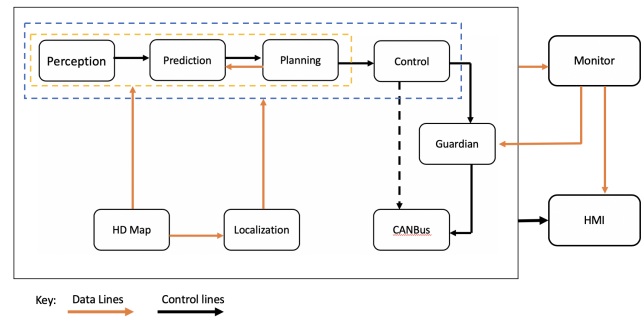


Abbildung 1. Datenfluss von Apollo [30]

das Empfangen von grundlegenden Hindernisdaten in Verbindung mit aktuellen Wahrnehmungsinformationen. Das Resultat ist die Erzeugung von vorhergesagten Trajektorien mit Wahrscheinlichkeiten für Hindernisse, die in das Planungsmodul eingehen, vergleiche in Abbildung 1.

Im Planungsmodul agiert zu diesem Zweck eine Art Verteilungssystem für Szenarien, das je nach Situation sequenziell einzelne Aktionen (Trajektorien und Fahrzeugstatus) zum Kontrollmodul überträgt. Das Planungsmodell ist ein weiterer essenzieller Punkt, an dem Erweiterungen in Form von neuen Rettungsszenarien vorgenommen werden müssen [32]. Das Kontrollmodul wiederum nutzt verschiedene Algorithmen, um ein komfortables Fahrgefühl zu erzeugen. Durch zusätzliche Kontrollalgorithmen wird unter anderem die dynamische Verzögerung sowie zeitliche Latenz der By-Wire Lenkung effektiv ausgeglichen nebst schnellerer und präziserer Lenksteuerungsaktionen zur Verfolgung der geplanten Fahrtroute [33].

Die Lokalisierung umfasst die gesamte bis hier hin dargestellte Modulkette und ist für die Schätzung des Standorts im Zentimeterbereich [34]. Das Modul Map Engine dient als Verbindung zwischen HDMap, Wahrnehmungsmodul und Planungsmodul. Erzeugt wird dadurch eine Echtzeitkarte im Körperkoordinatensystem (FLU) sowie eine Referenzlinie für die Planung. Neben verkehrszeichenbezogenen Informationen aus dem Wahrnehmungsmodul, z. B. Fahrbahnmarkierungen, Zebrastreifen und Ampeln, werden durch den Einsatz des Audiomoduls visuell Sirenenfahrzeuge aufgezeigt und verfolgt [35]. Die Aktuatoren des Fahrzeugs werden daraufhin über den CAN-Bus angesprochen. Für einen ersichtlichen Fehlerfall im Monitormodul (Überwachungssystem aller Module), übernimmt das Wächtermodul (Sicherheitsmodul) und greift mit Standardroutinen ein, wie in Abbildung 1 dargestellt.

C. Anpassung der Softwareplattform

In der Referenzarchitektur von Apollo wird für neue aktuelle Apollo Versionen (6+) als zugrundeliegende Laufzeitumgebung Cyber RT genutzt als Verbesserung des Realtime-Operating-Systems (RTOS). Der von Apollo Cyber RT bereitgestellte Systemrahmen basiert auf dem Konzept von miteinander arbeitenden Komponenten. Komponenten sind Bausteine, in Form von spezifischen Algorithmusmodulen, die

Eingabedaten verarbeiten und Ausgaben erzeugen. Aus Sicht der Implementierung kann eine Komponente als Basisklasse gesehen werden für die Erstellung von Anwendungsmodulen. Jedes dieser Module implementiert eine entscheidende Funktionalität autonomer Fahrzeuge. Für die Implementierung des AI CoPilot wird daher komponentenbasiert vorgegangen. Durch das Kompilieren des Anwendungsmoduls in eine geteilte Bibliothek wird ein dynamisches Laden sowie eine dynamische Ausführung durch das Cyber RT Framework ermöglicht. Das Modul lässt sich daraufhin über die Startdatei in verschiedene Prozesse laden Zwecks einer flexiblen Bereitstellung. Des Weiteren spricht für die komponentenbasierte Strategie der Implementierung, dass Komponenten den Empfang mehrerer Datentypen wie auch die Bereitstellung mehrerer Fusionsstrategien unterstützen [36]. Für die Implementierung der für den autonomen Krankentransport definierten Funktionalitäten ergeben sich dadurch folgende Strategien:

- Erweiterung des Planungsmoduls um weitere Szenarios (Alarmbereitschaft, auf Sirene zusteuern, alternativ autonome Fahrt zum Hospital).
- Erweiterung des Wahrnehmungmoduls zur visuellen Erfassung des Innenraums (Anbindung an das Kabinenüberwachungsmodul).
- Erstellung eines neuen Moduls für die Kabinenüberwachung (Zugriff auf die Ausgaben AI CoPilot).
- Erstellung einer neuen Geschichte (Storytelling-Modul) für den Bewusstlosigkeitsfall des Fahrenden (Alarm-signale, Rettungsnotruf über eCall, Ansteuerung zum nächstmöglichen Rettungstreffpunkt).

Softwareseitig erlaubt der Cyber RT Launcher (cyber_launch) durch Anpassung einer Startdatei die darin enthaltenen Komponenten zu starten und die auf eine von mehreren Platinen zu entladen, die in einer dag-Datei hinterlegt sind. Das impliziert, dass von NVIDIA empfohlene proprietäre Hardwarekomponenten eingebunden und angesteuert werden können [36].

1) *Erweiterung bestehender Module:* Zur Vorbereitung für das neu zu erstellende Kabinenüberwachungsmodul muss zunächst das Planungsmodul um folgende Szenarien für den Scenario Handler erweitert werden (siehe Abbildung 2):

- Warning Lights Mode (Aktivierung des Warnblinkers als Indikator für einen Notfall).
- Automated Emergency Call (automatische Aktivierung des eCall Systems).
- Fatal Emergency Ride Mode (Schnelleres Fahren zum nächsten Notfalltreffpunkt).
- Fatal Emergency Rescue Stop Mode (Fahren zum nächstmöglichen Krankenwagenhaltepunkt, Entriegelung des Fahrzeugs, Innenraumbelichtung).
- Fatal Emergency Alarm Tracking (Erkennung der Sirene des zugewiesenen Rettungswagens und Ermittlung der Position).
- Fatal Emergency Route Change (Änderung des Ziels zum nächstmöglichen Krankenhaus).

Die Einbindung des eCall Systems wird hierbei als ge-

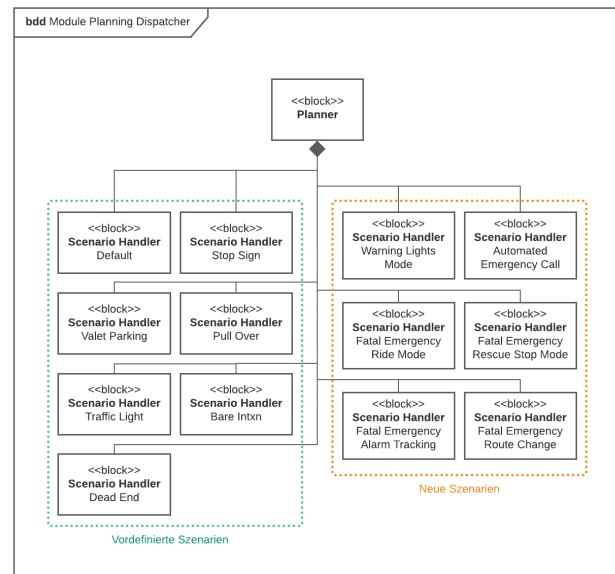


Abbildung 2. Szenarioerweiterung im Planungsmodul

geben gesehen, da alle Fahrzeuge in der europäischen Union mit dem System ausgestattet sein müssen. Somit wird eine systeminterne Anbindung als eigenständiges Modul für den europäischen Markt vorausgesetzt. Das Alarm Tracking Szenario wird realisiert durch die Nutzung des von Apollo bereitgestellten Audio Moduls. Das Wahrnehmungmodul von Apollo ist unterteilt in Wahrnehmungssubmodule, die mehrere Stufen durchlaufen. Beginnend von Bild- und Punktwolkenvorbereitung über Labeling mittels Deep Learning Modellen bis hin zu Nachbearbeitungsschritten (Post-Process) die in einem konfigurierten Sensorfusionsalgorithmus münden. Drei kategorische Eingabesensoren sind vorhanden:

- Kameras
- LiDAR
- Radar

Eine neue vierte Eingabequelle (InCabin-Sensing) wird hinzugefügt. Statt direkter Sensorverbindung wird die Einspeisung aus dem Kabinenüberwachungsmodul vorgenommen, indem eine StreamCatcher-Methode die Echtzeitdaten aus der Exportfunktion des Moduls empfängt. Die bereinigten und aufbereiteten Ausgaben aus dem Kabinenüberwachungsmodul werden blanko über das Vorhersagemodul an das Planungsmodul übertragen. Hierzu wird im Vorhersagemodul eine In-sowie Exportfunktion implementiert, jedoch ohne Funktion, damit zukünftig Deep Learning Modelle angewandt werden können.

2) *Kabinenüberwachungsmodul:* Das Kabinenüberwachungsmodul ist das Kernstück der Verbindung beider proprietärer Systeme und beinhaltet einen eigenen Algorithmus zur Ermittlung der Bewusstlosigkeit auf Basis spezifischer AI CoPilot Ausgaben. Für das vorgeschlagene Konzept greift das Modul als Schlüsselement zwischen beiden Systemen auf einen gemeinsam genutzten Speicher zu.

Darin liegt eine Datei vom Format JavaScript Object Notation (JSON) - das als Datenaustauschformat festgelegt ist, mit den Echtzeitausgaben des AI Copilot. Die Ausgaben AI CoPilot basieren auf tiefen neuronalen Netze (Deep Neural Nets - DNNs), um Gesichter, Mimik und Körperhaltung der Fahrzeuginsassen algorithmisch zu entschlüsseln [16]. Aufgeteilt sind die DNNs folgendermaßen:

- Mit dem GazeNet werden Blicke des Fahrenden verfolgt, indem die Richtungsvektoren der Augen erkannt und auf die Straße abgebildet werden. Ziel der nachfolgenden Prüfung ist die Ermittlung, ob der Fahrende Hindernisse vor ihm erkennen kann.
- Mittels dem SleepNet wird durch einen Klassifikator auf Müdigkeit überprüft, der die Augen als offen oder geschlossen erkennt. Darauf aufbauend wird durch einen Zustandsautomaten der Grad der Erschöpfung bestimmt.
- Ein ActivityNet verfolgt die Aktivitäten des Fahrenden und ermittelt die Aufmerksamkeit durch Erkennung unter anderem der Nutzung des Telefons und ob die Hände des Fahrenden am Lenkrad sind.

Die JSON Datei besitzt spezifische Ausgaben des AI CoPilots, die systemintern wie folgt definiert und für die Integration in Apollo strukturiert sind:

- Emotions. (Optional für zukünftige Anpassungen)
- Detailinformationen zur optionalen Validierung:
 - Mouth Size: Height, Width.
 - Eye Size: Height, Width, Ratio.
 - Head Pose: Roll, Pitch, Yaw.
- Risk Assessment: Drowsy, Distracted, Gaze Region, Eye States, Liveliness, Blink.

Das Konzept schlägt vor, dass im Kabinenüberwachungsmodul zunächst der Datenstrom über eine Ladefunktion eingelesen wird. Darauf aufbauend werden kategorische Abzweigungen der Daten generiert. Wichtigster Punkt ist die Abspaltung der aggregierten Risk Assessment Datensätze über eine Extraktorfunktion, die für den Algorithmus benötigt werden. Mittels einer Evaluationsfunktion, die als Blau-Funktion dargestellt ist, wird der zu verarbeitende Datenstrom in Echtzeit überwacht und fehlende beziehungsweise fehlerhafte Werte gemäß AutoML (automatisches maschinelles Lernen) Modellen behoben, um einen reibungslosen Datenlauf zu gewährleisten. Die Besonderheit soll hierbei sein, dass nicht rein statistisch Auffüllungen vorgenommen werden sollen, sondern das kognitive Verhalten nachempfunden werden soll. Das AutoML Modell wird an dieser Stelle als gegeben gesehen. Die Algorithmusfunktion verwendet die ausgewählten Risk Assessment Informationen, um in Echtzeit herauszufinden, ob der Fahrende eine tatsächliche Bewusstlosigkeit erlebt oder nur eine kurzzeitige Unaufmerksamkeit stattgefunden hat, siehe Abbildung 3.

Im Mittelpunkt der Verarbeitung stehen die Ausgabedaten für die Schlaftrunkenheit (Drowsy), Abgelenktheit (Distracted), Blickrichtung (Gaze Region) sowie der Augenstatus (Eye State). Also Ausgabeparameter liefert die Exporterfunktion

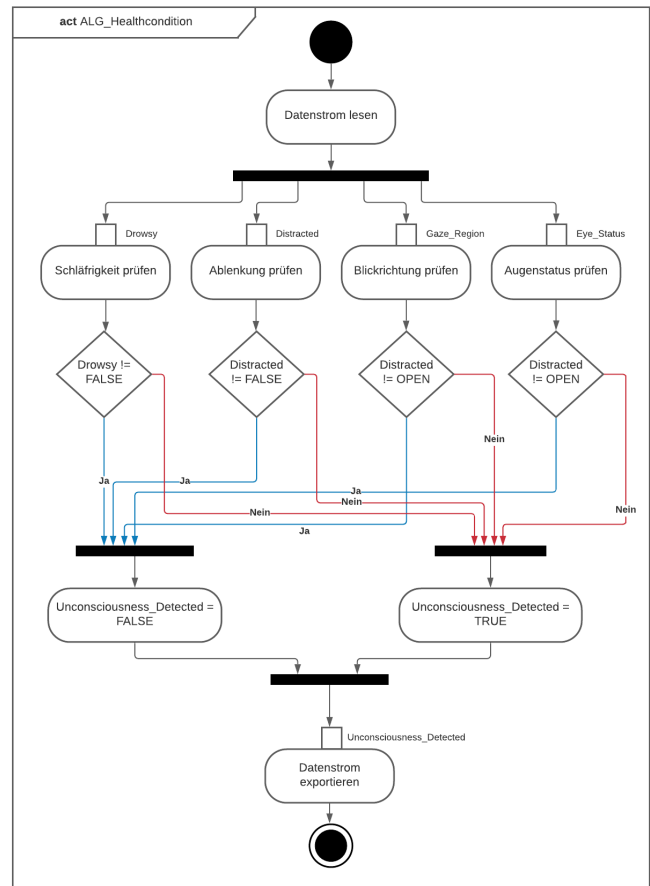


Abbildung 3. Algorithmus zur Bewusstlosigkeitserkennung

den Wahrheitswert für die Bewusstlosigkeit (Unconsciousness_Detected = TRUE / FALSE) zurück. Diese Daten werden im Planungsmodul durch eine Ladefunktion eingelesen (InCabin-Sensing).

3) *Krankenmodus*: Die Fahrt zum nächstmöglichen Rettungspunkt stellt ein komplexes Szenario dar, da nicht nur innerstädtische, sondern unter Umständen auch Landstraßen genutzt werden müssen. Zu diesem Zweck wird ein isolierter, globaler und übergeordneter Szenario-Manager (Story-Teller) [37] genutzt, um modulübergreifend Aktionsketten (Geschichten) definieren zu können, die von Modulen wie Planung und Kontrolle abonniert werden können.

Der Szenariomanager muss mit einer Geschichte nahmen Krankenmodus ausgestattet werden, siehe Abbildung 4. Wird durch das Wahrnehmungsmodul eine Bewusstlosigkeit festgestellt, so muss der Krankenmodus direkt den Warning Lights Modus und somit die Warnblinkanlage aktivieren. Daraufhin wird mittels dem Automated Emergency Call Szenario die im Fahrzeug integrierte eCall Funktionalität automatisch aktiviert, um einen Rettungsnotruf mit den Eingangs im Dokument aufgezogenen Informationen abzusenden. Nach dem eCall wird das Fatal Emergency Alarm Tracking aktiviert, um Rettungswagen in unmittelbarer Nähe zu orten und im Nachgang den Fatal

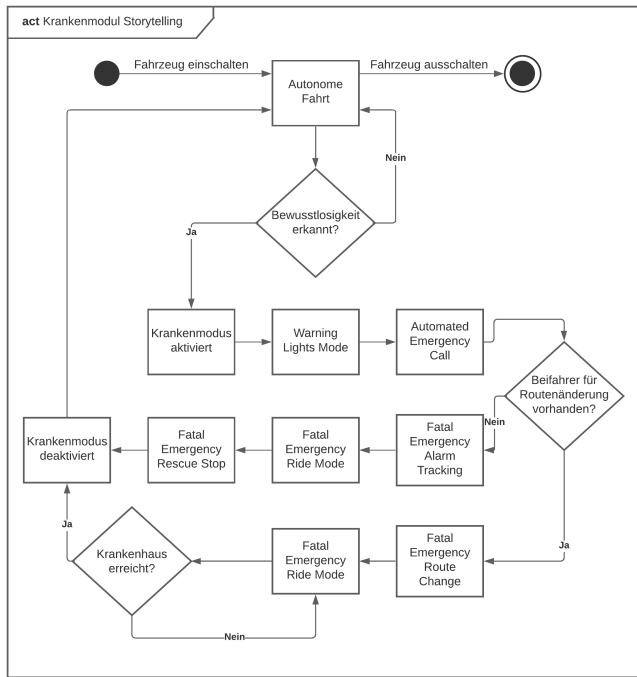


Abbildung 4. Sequenzablauf des Krankenmodus

Emergency Route Change durchzuführen, um dem Rettungswagen entgegenzufahren, alternativ wird die Route von einem potenziellen Beifahrer als Notfallroute zum nächstmöglichen Krankenhaus ausgewählt. Daraufhin wird der Fatal Emergency Ride Mode aktiviert, der in Verbindung mit den bestehenden sequenziellen Szenarios von Apollo arbeitet, jedoch einen deutlich dynamischeren Fahrstil auswählt mit erhöhter Geschwindigkeit, die über dem empfohlenen Tempolimit liegt. Ausschlaggebend für das Tempo ist der Typ des Gebiets, dass das Fahrzeug passiert unter Berücksichtigung von Fußgängern und anderen Verkehrsteilnehmenden. Das Fatal Emergency Rescue Stop Szenario sieht vor dem Krankenwagen entgegenzufahren, sich am Krankenwagen zu orientieren und die Haltestelle des Krankenwagens als Endpunkt zu nutzen, dort zu halten und das Fahrzeug zu entriegeln sowie die Innenraumbeleuchtung zu aktivieren. Wurde entweder der Krankenwagen oder das Krankenhaus erreicht, wird die Krankenmodus Geschichte verlassen.

IV. DISKUSSION

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Konzept vorgestellt, dass zeigt, wie zwei proprietäre Systeme miteinander verbunden werden können, um ein eine autonome Fahrt mittels eines Krankenmodus im Bewusstlosigkeitsfall des Fahrenden durchzuführen. Hierzu wurde als zugrundeliegende Plattform Baidus Apollo Framework gewählt, das jedoch Defizite im Rahmen der Kabinenüberwachung besitzt. NVIDIAS DRIVE IX Framework beinhaltet einen AI CoPilot mit großem Funktionsumfang, dessen Funktionalität zur Ermittlung des Bewusstlosigkeitsfall bestens geeignet ist, dieses Framework aber mit

einer eigenen Plattform arbeitet für autonomes Fahren. Das beschriebene Konzept zeigt das Prinzip eines Datenaustauschs zwischen beiden Systemen durch eine JSON Datei auf, was die einfachste Form einer möglichen Verbindung darstellt und dementsprechend für eine Interoperabilität sorgt. Apollo kann dadurch mit den fehlenden Funktionalitäten für eine Kabinenüberwachung mit dem AI CoPilot ausgestattet werden. Für die Integration in Apollo wurde darauf Wert gelegt, die vorhandene Datenflussstruktur beizubehalten und mit neuen Komponenten zu ergänzen.

So wurde ein eigenständiges Modul entwickelt, dass für die Kabinenüberwachung zuständig ist und die Daten des AI CoPilots einliest. Hierbei handelt es sich um das Herzmodul, dass Bausteine bereitstellt, mit denen Eingabedaten validiert werden können. An dieser Stelle könnten gezielt neuronale Netze trainiert werden, um das kognitive Verhalten des Fahrenden zu lernen und so noch besser auf Anomalien im Datenstrom zu reagieren, da im Notfall jede Sekunde lebensrettend ist. Ein rudimentärer Algorithmus überprüft den Datenstrom auf Konditionen und wenn diese erfüllt sind, wird die autonome Rettungsfahrt ausgelöst. Interessanterweise stellt der AI CoPilot deutlich mehr Informationen zur Verfügung, als in dem vorliegenden Konzept genutzt wurden. So gibt es detaillierte Informationen zu Oberkörperbewegungen sowie ein weiteres KI-Modell, dass Emotionen ermittelt und definierte Emotionszustände erkennt. Durch Nutzung der erweiterten Informationen kann das vorliegende Gesamtsystem um präventive Maßnahmen und eine verbesserte akute Erkennung von schwerwiegenden Erkrankungen erweitert werden. In Verbindung mit dem eCall System und einer Erweiterung des eCall Systems könnten zusätzliche Informationen an die Rettungsleitstelle übermittelt werden. Statt alleinig eine Krankenfahrt durchzuführen, würde sich ein AI Medical Assistent System daraus entwickeln lassen, dass in Verbindung mit state-of-the-art Algorithmen der natürlichen Sprachverarbeitung mit Insassen und der Rettungsleitstelle kommuniziert. Das könnte helfen bei der Übermittlung des aktuellen Gesundheitszustands, der in Verbindung mit zusätzlicher Sensorik wie Messgeräten in Sitzen und Live-Kamerabildern das Notfallpersonal über einen sicheren Streamingdienst informiert.

Durch die vorsorgliche Implementierung des Kabinenmoduls als quasi Informationssammler, der als Quelle für einen Datenleser im Wahrnehmungsmodul dient, könnte das AI CoPilot System auch durch anderweitig proprietäre Systeme aus der aktuellen Forschung wie Mercury ersetzt werden. Der von Apollo vorgeschlagene industrielle Computer besitzt in der Standardkonfiguration freie USB-Ports, die für unterstützte Kameras von Leopard Imaging genutzt werden können. Durch die breite Softwareunterstützung von Apollo kann so auf externe Hardware wie bei NVIDIA gänzlich verzichtet werden, da die Software auf demselben System läuft, was die Latenz deutlich reduziert beim Datenaustausch. Die Kameras würden wie gehabt über das Wahrnehmungsmodul ihre Daten direkt einspeisen und an das Vorhersagemodul weiterleiten. Im vorgeschlagenen Konzept werden die Daten über die Vorhersage direkt an das Planungsmodul weitergegeben. Wobei das Vor-

hersagemodul hierbei als Platzhalter für eine Vielzahl anderer KI-Modelle steht. Hier könnten neuronale Netze angewandt werden, die andere Faktoren berücksichtigen. Durch eine Erweiterung der dargestellten Lesefunktion könnten Sensoren wie Mikrofone für den Innenraum, zielgerichteter Temperatursensor oder weitere installiert und verarbeitet werden. Wie ebenfalls dargestellt wurden die Szenarien für die Krankenfahrt erweitert. Hier ließen sich neue Szenarien konzipieren und entwickeln, um weitere Alarmsignale einzuschalten in Verbindung mit zusätzlichen Informationsgerätschaften und oder zusätzlicher Beleuchtung.

Das vorgeschlagene Konzept bietet sich daher für eine autonome Krankenfahrt an und stellt eine Reihe an zukunftsweisenden Forschungsthemen bereit, um neben einer Krankenfahrt ein autonomes medizinisches Notfallprogramm einzuleiten mit Gesundheitstracking sowie Echtzeitkommunikation mit Rettungspersonal.

V. FAZIT

Die Ergebnisse dieser Arbeit haben gezeigt, dass sich durch die Verbindung zweier proprietärer Systeme ein neurokognitives Fahrerassistenzsystem für einen Krankentransport realisieren lässt. Bei der Erstellung des Konzepts wurde darauf geachtet, dass die zugrundeliegende Systemstruktur von Baidus Apollo beibehalten wird, um den Implementierungsumfang einzugrenzen, und die Einbindung von NVIDIAs CoPilot daher über einen JSON Datenaustausch vonstattengeht. In Apollo wurden in mehreren Modulen Anpassungen vorgenommen. Im Wahrnehmungsmodul wurde eine Funktion integriert, die Daten von einem neuen Kabinenüberwachungsmodul erhält. Das Planungsmodul wurde mit zusätzlichen Szenarios ausgestattet, um eine Krankenfahrt mit Alarmsignalen und höherer Geschwindigkeit durchführen zu können. Im komplett neuen Modul namens Kabinenüberwachung wird auf einen gemeinsam genutzten Speicher zugegriffen, der Ausgaben des AI CoPilots bereitstellt. Der Datenstrom wird eingelesen und durch einen Algorithmus so verarbeitet, dass eine Bewusstseinsangabe über das Vorhersagemodul bis zum Planungsmodul weitergeleitet wird. Das Konzept der Implementierung zeigt innovative neue Forschungsthemen auf bietet in sich die Möglichkeit Erweiterungen durchzuführen, um zukünftig anstelle eines reinen Krankentransports ein medizinisches Notfallprogramm einzuleiten mit Live-Kontakt zum Rettungsteam.

LITERATUR

- [1] Statistisches Bundesamt, "Zahl der Verkehrstoten sinkt im Jahr 2021 voraussichtlich auf neuen Tiefststand," Dec. 2021.
- [2] Statistisches Bundesamt, "260 Verkehrstote im Oktober 2021," Dec. 2021.
- [3] Statistisches Bundesamt, "Unfallentwicklung auf deutschen strassen 2017," June 2018.
- [4] Statistisches Bundesamt, "Anteile der Fehlverhalten von Fahrzeugführern bei Straßenverkehrsunfällen mit Personenschaden in Deutschland von 2010 bis 2020," July 2021.
- [5] a. . April 2017, "Kreislaufversagen im Straßenverkehr: Unterschätzte Gefahr."
- [6] F. Arena, G. Pau, and M. Collotta, "A survey on driverless vehicles: From their diffusion to security," *J. Internet Serv. Inf. Secur.*, vol. 8, pp. 1–19, 2018.
- [7] Jennifer Shuttleworth, "SAE Standards News: J3016 automated-driving graphic update," July 2019. Last Modified: 2020-05-15T14:03:15-04:00.
- [8] "Honda SENSING 360: Neues Sicherheits- und Fahrassistenzsystem," Oct. 2021.
- [9] Audi AG, "Audi Technology Portal - Audi Q2 Notfallassistent," June 2016.
- [10] Nicole Scott, "So funktioniert Audis Notfallassistent," Aug. 2018. Section: Cars.
- [11] Katharina Dümmer, "eCall: Elektronischer Schutzengel im Auto," Nov. 2019.
- [12] J. Park, C. Nam, and H.-j. Kim, "Exploring the key services and players in the smart car market," *Telecommunications Policy*, vol. 43, no. 10, p. 101819, 2019.
- [13] J. G. Kurebwa and T. Mushiri, "Internet of things architecture for a smart passenger-car robotic first aid system," *Procedia Manufacturing*, vol. 35, pp. 27–34, 2019.
- [14] Technische Universität München, "TUM - Health check while driving," Nov. 2011.
- [15] K. O'Brien, "Could your car predict a cardiac event? um explores heart monitoring in vehicles—michigan center for integrative research in critical care," *UM Health Lab, Michigan*, 2017.
- [16] P. Subramanian, "NVIDIA DRIVE IX Keeps Drivers Focused on the Road Ahead - NVIDIA Blog," Jan. 2021.
- [17] S. Natarajan, S. S. Jain, N. M. S A, M. K. Sai Ramya, C. G J, and B. M. A, "Ai-naav: An ai enabled neurocognition aware autonomous vehicle," in *2020 IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC)*, pp. 1–6, 2020.
- [18] Matt Rowe, "CARLA Simulator," Jan. 2022. 24.10.2017.
- [19] Apollo Auto, "Inside Apollo 6.0: A Road Towards Fully Driverless Technology," Oct. 2020.
- [20] Calvin Miao and Chang Songhong, "ApolloAuto/apollo," Jan. 2022. 04.07.2017.
- [21] Apollo Auto, "Apollo Game Engine Based Simulator," Jan. 2022.
- [22] A. V. published, "Qualcomm Enters Autonomous Vehicle Market with 700 TOPS Snapdragon Ride," Jan. 2021.
- [23] J. McGregor, "Qualcomm Expands Snapdragon Ride For All ADAS Levels," Jan. 2022. Section: AI.
- [24] A. Kashevnik, I. Lashkov, A. Ponomarev, N. Teslya, and A. Gurtov, "Cloud-based driver monitoring system using a smartphone," *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, no. 12, p. 6701–6715, 2020.
- [25] "Driver monitoring," Aug 2021.
- [26] G. Borghi, S. Pini, R. Vezzani, and R. Cucchiara, "Mercury: A Vision-Based Framework for Driver Monitoring," in *Intelligent Human Systems Integration 2020* (T. Ahram, W. Karwowski, A. Vergnano, F. Leali, and R. Taiar, eds.), (Cham), pp. 104–110, Springer International Publishing, 2020.
- [27] B. Nemire, "Ai co-pilot: Rnns for dynamic facial analysis," Dec 2021.
- [28] J. Gu, X. Yang, S. De Mello, and J. Kautz, "Dynamic facial analysis: From bayesian filtering to recurrent neural network," *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017.
- [29] Calvin Miao, "Apollo Architecture," Jan. 2022. 04.07.2017.
- [30] Natasha Dsouza, "Apollo Software Architecture," Jan. 2022. 04.07.2017.
- [31] Xiao Wei, "Apollo Perception Module," Jan. 2022.
- [32] Xiao Wei, "Apollo Planning Module," Jan. 2022.
- [33] Chang Songhong, "Apollo Control Module," Jan. 2022.
- [34] Chang Songhong, "Apollo Localization Module," Jan. 2022.
- [35] Liu Jiaming and Sergey Grebennikov, "Apollo Monitor Module," Jan. 2022.
- [36] Ning Qu, Zongbao Feng, and Zhongjun Ni, "Cyber RT API for Developers," Jan. 2022. 04.07.2017.
- [37] Liu Jiaming, "Apollo Storytelling Module," Jan. 2022.