

Explainable AI im Autonomen Fahren - Ein Blick in die Blackbox

Christof Schwarzenberger

Hochschule der Medien
Stuttgart, Deutschland
Matrikelnummer: 42631

Kurzfassung Immer mehr Technologien nutzen künstliche Intelligenz (KI), um Daten effizient und parallel verarbeiten zu können. Besonders im autonomen Fahren werden von verschiedenen Sensoren eine große Menge Daten produziert, die interpretiert werden müssen, damit die KI im Fahrzeug korrekte Entscheidungen treffen kann. Gleichzeitig entsteht für Passagiere das Bedürfnis diese Entscheidungen nach-vollziehen zu können, um dem Fahrzeug zu vertrauen. Der Verarbeitungsprozess der Daten bleibt für Passagiere jedoch intransparent, sodass es zu einem negativen Fahrerlebnis kommen kann. In dieser Arbeit soll deshalb erklärbares KI (XAI) thematisiert werden. Zudem soll ein Einblick darüber gegeben werden, wie KI mit dem autonomen Fahren zusammenhängt, um die Materie ganzheitlich zu erfassen. Es konnte festgestellt werden, dass der Bedarf an XAI in verschiedenen Situationen im vollautomatisierten und autonomen Fahren hoch ist. Erklärungen steigern Transparenz über die Funktionsweise von KI Systemen, stärken aber auch das Gefühl der Kontrolle, wodurch Vertrauen in KI geschaffen wird. Besonders XAI's, die selbst durch eine KI realisiert werden, haben das Potential Erklärungen in Echtzeit bereit-zustellen und ermöglichen eine

Kommunikation zwischen Passagier und Fahrzeug.

Künstliche Intelligenz

KI wird in einer Vielzahl von Produkten und Dienstleistungen eingesetzt [1]. Beispielsweise Spam Filter, Suchmaschinen, Kreditvergabesysteme oder die Gesichtserkennung in Smartphones nutzen KI und sind bereits heute Bestandteil in unserem Alltag [2]. Auch das autonome Fahren zählt zu einer der wichtigsten Anwendungsbereichen von KI [3]. Autonome Fahrzeuge (AV) sind mit mehreren Sensoren wie Kameras, Radargeräten und Lidar ausgestattet, um die Umgebung und die Wegplanung besser verstehen zu können [1, 3]. Diese Sensoren erzeugen riesige Datenmengen, wofür viel Rechenleistung und geeignete Verarbeitungsmethoden benötigt werden [3], um Daten parallel und Echtzeit zu verarbeiten [1]. Für eine effiziente Verarbeitung, sowie für das Trainieren und Validieren autonomer Fahrsysteme setzen Unternehmen auf KI in Form von maschinellen Lernen und Deep Learning [3]. Hierbei sollten die Begriffe jedoch klar voneinander abgegrenzt werden. KI deckt den gesamten Teil der Informatik ab, in dem eine intelligente Maschine, auf Grundlage einer Reihe von

Regeln ein Problem lösen kann [3]. Im maschinellen Lernen hingegen, soll eine KI erstellt bzw. trainiert werden. Es handelt sich dabei um Anwendungen, die eine bestimmte Aufgabe ohne spezifische Anweisung ausführen können und zudem aus Erfahrungen lernen und sich verbessern [3]. Deep Learning kann als fortgeschrittene Stufe des maschinellen Lernens angesehen werden und ist inspiriert von der menschlichen Informationsverarbeitung. Hierbei wird erheblich mehr Rechenleistung und Trainingsdaten benötigt, allerdings können auch genauere Ergebnisse geliefert werden [3].

Maschinelles Lernen und Deep Learning im Autonomen Fahren

Bereits 2005 konnte das Stanford University Racing Team einen Wettbewerb der Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) für autonome Roboterautos mit dem Einsatz von KI gewinnen [4]. Das Team modifizierte einen Volkswagen Touareg mit LIDAR-Sensoren, einer Kamera, einem GPS-System und einer maßgeschneiderten Software, einschließlich Algorithmen für maschinelles Lernen, sodass das Fahrzeug während einer



Abbildung 1: Autonomes Roboterfahrzeug des Stanford University Racing Team [4].

siebenstündigen Off-Road Rallye autonom den Weg fand, Hindernissen auswich und auf Kurs blieb (siehe Abbildung 1). Somit konnte gezeigt werden, dass Maschinen hergestellt werden können, die ohne menschliche Hilfe sicher und schnell über raues Gelände fahren können [4]. Der Professor des Teams leitete später auch das Self-Driving Car Projekt bei Google, das später zum Unternehmen Waymo wurde und sich mit der Entwicklung von Technologien für autonome Fahrzeuge beschäftigt [3]. Nach der ersten vollautonomen Fahrt in 2015 startete Waymo 2017 ein Ridehailing Service in Vororten von Phoenix Arizona, der 2020 zu einem vollständig autonomen Fahrdienst wurde, bei dem per App eine Fahrt gebucht werden kann [5]. 2022 wurde der Service für erste Testpersonen in einer für das AV-System komplexeren Umgebung eingeführt, den Straßen von San Francisco (siehe Abbildung 2). Waymo berichtete, dass maschinelles Lernen bei der Entwicklung des AV-Systems geholfen habe, besonders in schwierigen Situationen wie bei Begegnungen mit Einsatzfahrzeugen, bei der Erkennung parallel parkender Autos oder der Umfahrung von Baustellen [3]. Auch Deep Learning konnte beispielsweise beim Fußgängererkennungssystem eingesetzt werden und die Fehlerquote bei der Erkennung von Personen, die relevant für den Straßenverkehr sind, erheblich reduzieren. Zusammenfassend können mit Maschine Learning und Deep Learning bestimmte Arten von Mustern in Daten erkannt werden [6, 7]. Speziell in AVs kann KI dabei helfen große Datenmengen parallel zu verarbeiten und in Echtzeit zu interpretieren, die von den Sensoren des Fahrzeugs erfasst werden [1].

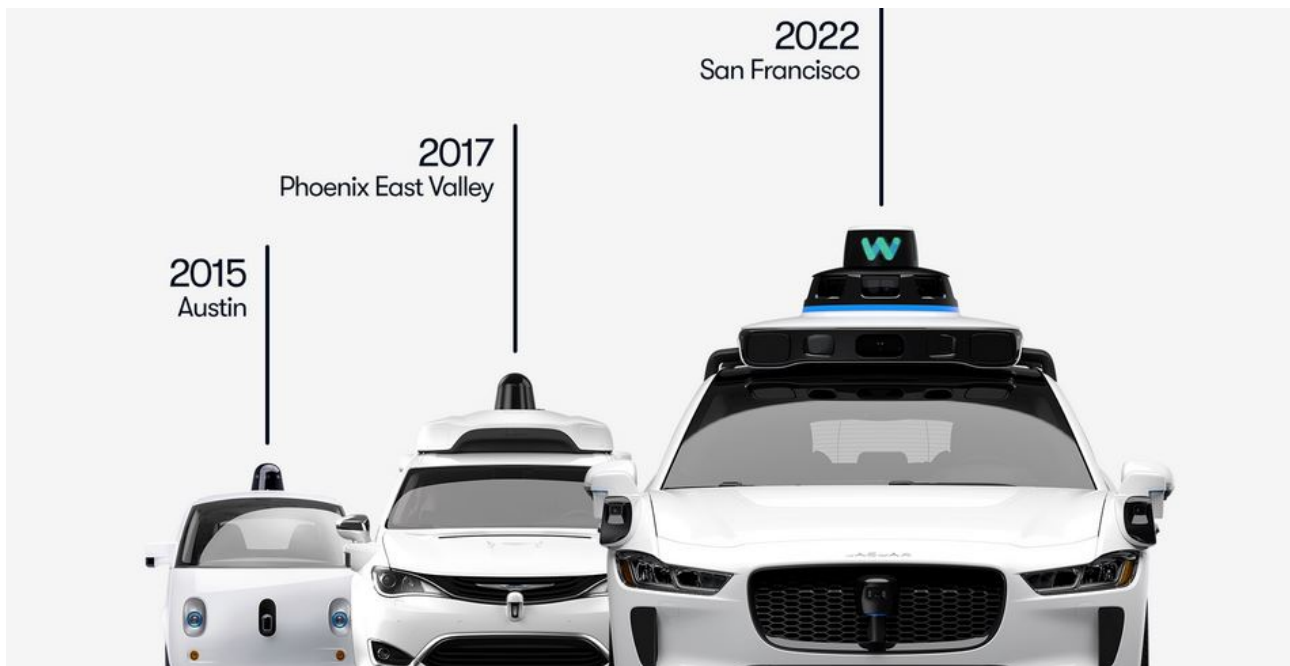


Abbildung 2: Autonome Fahrzeuge des Unternehmens Waymo [5].

Einführung in die Problematik

Der Fahrdienst von Waymo in Phoenix wurde von einer Redakteurin der Zeit Online [8] auf vier unterschiedlichen Fahrten getestet. Anfangs hielt ich die Straße ständig im Auge berichtet die Redakteurin, obwohl die Umgebung ruhig und berechenbar war, aufgrund von breiten Straßen, wenig Verkehr und wenig Fußgängern. Als dann doch eine Passantin mit ihrem Hund die Straße überquerte empfand sie als Passagierin ein Gefühl der Anspannung. Ein weiterer Moment in dem sich die Redakteurin unwohl fühlte, war als ihr auf den Gegenspuren ein Einsatzwagen der Feuerwehr entgegen kam, sodass das Waymo Fahrzeug bremste, obwohl auf der Spur keine Hindernisse waren. Ein Pick-up-Truck hinter ihr, musste dadurch stark abbremsen [8]. Für die Redakteurin wirkte das Fahrverhalten der KI unsicher und sie fragte sich, ob es jeder Verkehrsteilnehmer geschafft hätte, rechtzeitig hinter ihr zu bremsen. Insgesamt gab es in einer Testphase von 2019 bis 2020 auf 100.000 Kilometern 18 Zusammenstöße, bei denen der

Waymo komplett autonom gefahren ist [8]. 17 davon seien von anderen Verkehrsteilnehmern verursacht worden. Bei einem Zusammenstoß war das plötzliche Abbremsen des Waymo mindestens Teilursache des Crashes. Obwohl das Fahren laut dieser Statistik zuverlässig zu sein scheint, hatte die Redakteurin als Passagierin immer wieder ein Gefühl der Anspannung und empfand eine Unsicherheit, ausgehend von der KI des AV.

Neben der Innovation durch KI, Maschine Learning und Deep Learning, die durch AV's für Technologieunternehmen wie Waymo in der Zukunft aufkommen könnte, entsteht eine Problematik bei der Interaktion zwischen Fahrzeug und Passagier, die auch die Redakteurin im AV erlebte. In dieser Arbeit soll die Erklärbarkeit und Transparenz von KI Entscheidungen thematisiert werden.

Gedankenexperiment

Folgendes Gedankenexperiment soll die Problematik der fehlenden Interaktion ver-

deutlichen. Dafür ist keine Reise in die Zukunft nötig. Folgende Situation könnte einigen in Städten lebenden Menschen bereits heute mit einem Ridehailing Service wie Uber im Alltag passieren.

„Sie verlassen nach einem langen Tag bei der Arbeit das Büro und haben sich für den Weg nach Hause bereits ein Uber Fahrzeug per Smartphone gebucht. Die Zieladresse konnte bereits über die App eingegeben werden, wodurch Sie nur noch einsteigen müssen und direkt losfahren können. Da Ihnen die Strecke sehr gut bekannt ist, wundern Sie sich, als der Fahrer plötzlich von der Ihnen gewohnten Strecke abweicht. Wie würden Sie in dieser Situation reagieren?“

Eine Möglichkeit wäre den Fahrer zu fragen, warum er genau diese Route fährt. Andernfalls könnte der Fahrer auch direkt darauf aufmerksam gemacht werden, dass es eine schnellere Route gibt. Alternativ könnten wir als Passagiere auch darauf vertrauen, dass der Fahrer die kürzeste Route nimmt und unsere Bedenken für uns behalten. Unabhängig von der genauen Reaktion, entsteht ein Bedürfnis nach Interaktion oder wenigstens nach Information mit dem Fahrer. Ohne Kommunikation oder Information kann das Verhalten des Fahrers nicht nachvollzogen werden. Im Gedankenspiel würden wir demnach versuchen mit dem Fahrer zu interagieren oder uns zumindest fragen, warum der Fahrer die andere Route gewählt hat. Übertragen auf das

autonome Fahren, steht der Uber Fahrer stellvertretend für die KI eines AVs, die die Steuerung des Fahrzeugs übernimmt. Während der Uber Fahrer mit uns kommunizieren und auf unsere Fragen eingehen könnte, liefert ein KI-Algorithmus nicht automatisch eine Erklärung für sein Verhalten. Folglich würde die Entscheidungsfindung für den Passagier in einer Black Box verborgen und Informations- und Interaktionsbedürfnisse unbefriedigt bleiben. So hatte auch die Redakteurin im AV von Waymo keine Möglichkeit mit dem Fahrzeug zu kommunizieren. Die Folge war ein Gefühl des Unwohlseins, Angespanntheit und eine Beeinträchtigung des Vertrauens gegenüber des AV.

Was ist Explainable AI?

Beim autonomen Fahren wird der Fahrer selbst zum Passagier und Entscheidungen von einem autonomen System getroffen [9]. Besonders im städtischen Verkehr oder in Gefahrensituationen kann es zu Zweifeln bezüglich der Zuverlässigkeit kommen [8]. Beispiele für solche Situationen wären Routenänderungen, Überholmanöver oder unerwartete Geschwindigkeitsänderungen. Aktuell wächst das generelle Vertrauen in autonome Fahrzeuge [10]. Rund zwei Drittel von 1000 deutschen Befragten einer Bitkom Studie, die im November 2021 durchgeführt wurde, können sich vorstellen in einen selbstfahrenden Privat-Pkw, einen Mini-Shuttle-Bus oder ein selbstfahrendes Taxi zu steigen. Eine weitere Studie, in der eine Fahrt in einem autonomen Fahrzeug simuliert wird, macht aber darauf aufmerksam, dass das Vertrauen ohne die Bereitstellung von Erklärungen schnell verloren geht [11]. Wie das Gedankenspiel und die Erfahrung der Redakteurin zeigt, besteht

eine Herausforderung in der Kommunikation zwischen Mensch und Fahrzeug. Eine KI ist nicht von Grund auf in der Lage den Passagieren zu vermitteln wie ein Algorithmus Daten interpretiert und Entscheidungen trifft.

Erklärbare künstliche Intelligenz (XAI) beschreibt die Herausforderung, dass Menschen verstehen wie ein Algorithmus einer KI eine Entscheidung trifft [12]. Gerade bei Black-Box Algorithmen wie neuronalen Netzen und Deep Learning, ist zwar Funktionsweise des Algorithmus bekannt, sowie finale Parameter, allerdings nicht wie ein Ergebnis letztendlich erreicht wurde. D.h. die Gewichtung der Parameter, die beim Training im maschinellen Lernen eingestellt wird, kann nicht mehr nachvollzogen werden [12]. XAI umfasst Methoden zur Erklärung für Aktionen und Verhaltensweisen eines KI-Systems [13], um komplexe Berechnung in alltäglicher, verständlicher und logischer Weise zu vermitteln [9]. Demnach ist es das Ziel von XAI die Entscheidungsfindung des Algorithmus transparent zu machen [13]. Dieses Ziel ist besonders im autonomen Fahren relevant, um das Vertrauen zum Fahrzeug und zur dahinter steckenden Technologie auch in vermeintlich fehlerhaften Situation zu erhalten [13]. Erklärungen mit einer XAI sollen aber nicht nur als Notfallinformationen dienen, sondern das gesamte Fahrerlebnis begleiten und dadurch verbessern. In ersten Simulationen konnte durch die Bereitstellung einer XAI eine positive User Experience hervorgerufen werden [11].

Das DARPA XAI Projekt

Die Behörde DARPA, die bereits im Zusammenhang mit dem Wettbewerb für autonome

Roboterautos erwähnt wurde, ist Teil des Verteidigungsministerium der Vereinigten Staaten, die Forschungsprojekte durchführt. Unter anderem Weltraumprojekte und auch ein Projekt für erklärbare KI [14]. Dabei bezieht sich die DARPA vor allem auf maschinelle Lernsysteme, die in der Lage sein sollen ihre Grundprinzipien zu erklären, ihre Stärken und Schwächen zu charakterisieren und ein Verständnis dafür zu vermitteln, wie sich diese Systeme in Zukunft verhalten werden. Diese Herausforderung soll mit dem XAI Projekt bewältigt werden, damit die Wirksamkeit autonomer Systeme entfaltet werden kann [14]. Im XAI Projekt liegt der Fokus bei der Entwicklung maschineller Lerntechniken auf zwei grundsätzlichen Zielen:

1. *Besser erklärbare Modelle zu erzeugen und dabei aber auch ein hohes Maß an Lernleistung (Vorhersagegenauigkeit) beizubehalten.*
2. *Menschliche Nutzer in die Lage zu versetzen, die aufkommende Generation künstlich intelligenter Partner zu verstehen, ihnen angemessen zu vertrauen und sie effektiv zu steuern.*

Demnach muss auch sichergestellt werden, dass neben einer transparenten KI auch die eigentliche Aufgabe (hier: Entscheidungsfindung des AV) effizient bearbeitet werden kann und die Genauigkeit von Ergebnissen und Vorhersagen nicht beeinträchtigt wird. Zur

Realisierung möchte die DARPA eine Vielzahl von Techniken verfolgen, in denen erklärable KI-Modelle mit Mensch-Maschinen-Schnittstellen kombiniert werden, beispielsweise ein Interface mit Erklärungen (siehe Abbildung 3). Durch die Entwicklung verschiedener Designoptionen soll dann ein idealer Kompromiss zwischen Leistung und Erklärbarkeit gefunden werden [14].

Transparenz

Wie bereits mehrfach angeschnitten ist Transparenz einer der Gründe, warum manche auf KI basierenden Technologien Erklärbarkeit benötigen. Aber wie hängen Transparenz und XAI für autonome Fahrzeuge zusammen? Allgemein besteht nicht bei jeder auf KI basierenden Technologie der Bedarf nach Erklärung und Transparenz. Beispielsweise wird von der Gesichtserkennung im Smartphone, von Spam Filtern oder der Google Suche weniger erwartet [2], wie dort der

Algorithmus zum dem Ergebnis kam, unser Gesicht zu erkennen, eine E-Mail als Spam zu klassifizieren oder wie die Auswahl der gezeigten Google Treffer zustande kamen. Sind wir als Nutzer jedoch von einer Entscheidung betroffen, wie zum Beispiel bei einer automatischen Kreditvergabe, bei der Auswertung von Bewerbungen durch eine KI oder beim autonomen Fahren, in dem wir der Technologie ausgeliefert sind, spielen für uns die Gründe wie Entscheidungen getroffen werden eine Rolle [13]. So ist es für uns relevant, was Kriterien für eine erfolgreiche Bewerbung sind und welche Merkmale eine KI für die Vergabe eines Kredits berücksichtigt.

Für Transparenz im autonomen Fahren sollte deshalb der Grad der Automatisierung berücksichtigt werden. Umso mehr der Fahrer die Kontrolle an die KI abgibt bzw. der Automatisierungsgrad steigt, umso mehr wächst der Bedarf an Transparenz [13]. D.h.

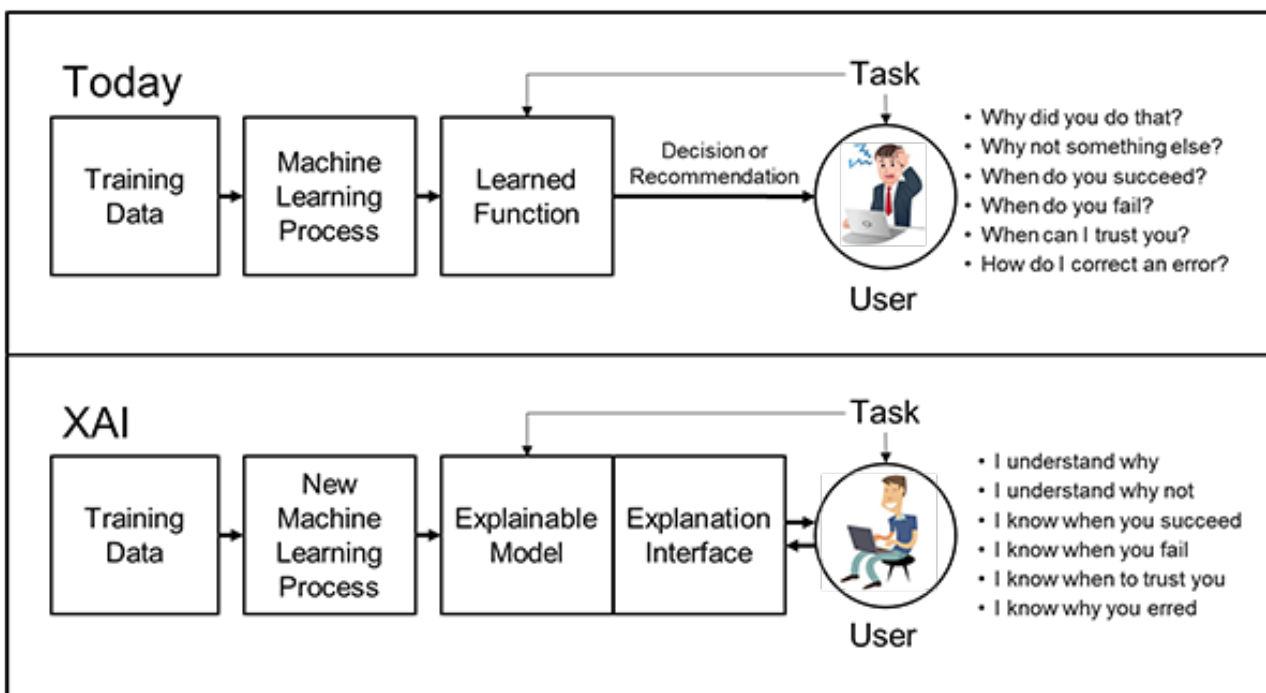


Abbildung 3: Im XAI Konzept der DARPA wird im Vergleich zum heutigen maschinellen Lernen ein erklärbares KI-Modell kombiniert mit einem Interface zur Kommunikation zwischen Mensch und Maschine ergänzt [14].

während nach der SAE J3016 Norm [15] bei den Stufen 0 und 1 (keine Automatisierung und Assistenzsysteme) der Bedarf an XAI und Transparenz niedrig ist, wird dieser bei den Stufen 2 und 3 (Teilautomatisierung und Hochautomatisierung) als moderat und bei Stufe 4 und 5 (Vollautomatisierung und Autonomes Fahren) als hoch eingestuft. Die Visualisierung der Stufen, sowie Beispiele dazu sind in Abbildung 4 dargestellt.

Neben der nutzerzentrierten Perspektive auf Erklärungen gibt es weitere Komponenten wie Standards und rechtliche Gesetze, die ebenfalls Transparenz fordern. Um Technologien freizugeben, sollten mögliche Anfälligkeiten und Limitation solcher Systeme ersichtlich sein, damit Qualität, Sicherheit und Zuverlässigkeit nachgewiesen werden kann [13]. Ein Beispiel dafür ist der Automobilhersteller Mercedes-Benz, der im Dezember 2021 seinen neuen autonomen Stauassistent „Drive Pilot“ einführte, für den ein monatelanger Zertifizierungsprozess beim Kraftfahrtbundesamt nötig war [16]. Der „Drive Pilot“ wird dem SAE Level 3 zugeordnet, sodass ein moderater

Bedarf an Transparenz entsteht, womit auch die hohen Anforderungen und ausführlichen Tests des Kraftfahrtbundesamt erklärbar werden, das sicherstellen muss, dass Standards eingehalten werden und die Sicherheit der Technologie gewährleistet werden kann. Zusammenfassend ist Transparenz als Grundlage für Erklärungen wichtig, damit die KI Entscheidungen kommuniziert und Passagiere die Kontrolle behalten und Vertrauen zur Technologie aufbauen. Zudem kann dadurch aber auch Qualität und Zuverlässigkeit der Technologie sichergestellt werden, um Standards gewährleisten zu können [13].

Designlösungen

Abschließend stellt sich die Frage wie XAI im autonomen Fahren angewendet werden könnte. Dafür sollen drei unterschiedliche Designs vorgestellt und deren Vor- und Nachteile erörtert werden. Die Designs gehen aus einem Artikel über XAI und autonomen Fahrzeugen von Dr. Lance Eliot hervor, einem Experte für KI und maschinelles Lernen [9]. Das erste

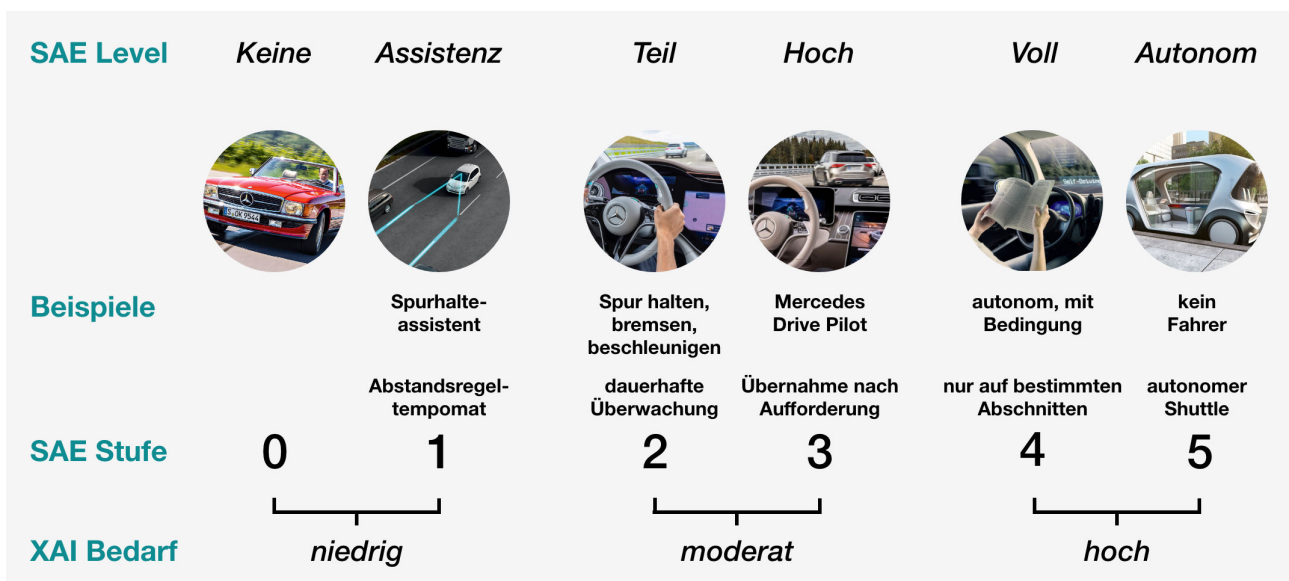


Abbildung 4: Stufen des autonomen Fahrens mit Beispielen und dem Bedarf an XAI (eigene Darstellung nach [15]).

Design beschreibt eine vorprogrammierte Software mit fest definierten Erklärungen. D.h. Entwickler würden verschiedene Situationen abarbeiten, in denen Passagiere Erklärungen benötigen und passende Antworten für bestimmte Verhaltensweisen des Fahrzeugs implementieren. Der Entwicklungsaufwand wäre zwar vergleichsweise gering, allerdings sind jedoch keine individuellen Antworten auf einzelne Fragen der Passagiere möglich. Zudem würde keine wirkliche Kommunikation stattfinden und nur standardmäßige Situationen wären abgedeckt. Das zweite Design wird von Automobilherstellern seit einigen Jahren für Notfälle angeboten [17]. Hier sitzt ein realer Remote Agent des Flottenherstellers hinter einer Leitung, mit dem bei Bedarf gesprochen werden kann. Dabei wäre zwar eine fortlaufende Kommunikation möglich, die Verzögerung zwischen Informations- bzw. Interaktionsbedürfnis und Antwort wären jedoch relativ groß, womit sich die Kommunikation eher auf Notfälle beschränken würde. Hinzu kommen enorme Arbeitskosten und menschliche Limitationen (z.B. falsche Interpretation der Fahrzeugdaten, Müdigkeit, etc.) durch den Remote Agenten. Im letzten Design wird die XAI selbst durch eine KI realisiert. Erklärungen können in Echtzeit bereitgestellt und individuelle Situationen abdecken werden. Zusätzlich könnte eine Kopplung an einen Sprachassistenten mit Natural Language Processing (NLP), also maschineller Sprachverarbeitung erfolgen, sodass eine fließende Kommunikation ermöglicht wird [9]. Nachteilig an diesem Design ist einerseits der hohe Aufwand der Implementierung und andererseits der Bedarf an Performance, der zur Verarbeitung benötigt wird. Neben der Rechenleistung, die die KI für

die eigentliche Aufgabe benötigt, beansprucht die XAI weitere Kapazitäten. Wie die DARPA für ihr XAI Projekt betonte muss ein Kompromiss zwischen Leistung und Erklärbarkeit gefunden werden [14].

Fazit

Das Ziel dieser Arbeit war es Zusammenhänge zwischen KI und dem autonomen Fahren zu beschreiben und die Problematik der fehlenden Kommunikation zwischen Passagieren und der KI in AV's zu thematisieren. Es konnte festgestellt werden, dass in vielen Situationen im vollautomatisierten und autonomen Fahren ohne die Bereitstellung von Erklärungen ein negatives Fahrerlebnis entstehen kann [8, 9]. XAI's umfassen Methoden und Techniken, um Verhaltensweisen und Aktionen einer KI zu erklären [13]. D.h. sie haben aus der Nutzerperspektive das Ziel, komplexe Berechnungen in alltäglicher, verständlicher und logischer Weise zu vermitteln [9]. Wie mögliche Designansätze gezeigt haben, ist eine Implementierung einer XAI in Form einer KI eine vorteilhafte Lösung. Erklärungen können in Echtzeit, basierend auf vielen verschiedenen Situationen, bereitgestellt werden. Mit einer zusätzlichen Kopplung an einen Sprachassistenten durch NLP könnte zudem eine fließende Kommunikation entstehen [9]. Herausfordernd bleibt dabei das technische Ziel für XAI's, trotzdem die Lernleistung der eigentlichen Aufgabe der KI zu erhalten [14]. Folglich muss für zukünftige Realisierungen ein Kompromiss zwischen Erklärbarkeit und Leistung der KI gefunden werden. Allgemein liegt der Fokus in aktuellen Entwicklungen im autonomen Fahren bisher stärker auf der technologischen Umsetzbarkeit [5]. Die Integration einer XAI hat dennoch großes

Potential die Transparenz über die Funktionsweise von KI Systemen zu steigern [13, 14] und das Gefühl der Kontrolle zu stärken, sodass Passagiere AV's vertrauen können und ein positives Fahrerlebnis entstehen kann [11]. Außerdem konnte XAI ein wichtiges Thema für Standards und Gesetze werden, da Qualität und Zuverlässigkeit garantiert werden muss [13].

Quellen

- [1] Robert Seamans. 2021. Autonomous vehicles as a „killer app“ for AI. Aufgerufen am 10.09.2022 auf <https://www.brookings.edu/research/autonomous-vehicles-as-a-killer-app-for-ai/>
- [2] Bernard Marr. 2021. Künstliche Intelligenz im Alltag: Die 10 wichtigsten KI Anwendungen im Überblick. Aufgerufen am 11.09.2022 auf <https://www.xing.com/news/insiders/articles/kunstliche-intelligenz-im-alltag-die-10-wichtigsten-ki-anwendungen-im-ueberblick-3861076>
- [3] IHS Markit. 2020. Artificial intelligence driving autonomous vehicle development. Aufgerufen am 11.09.2022 auf <https://ihsmarkit.com/research-analysis/artificial-intelligence-driving-autonomous-vehicle-development.html>
- [4] David Orenstein. 2005. Stanford team's win in robot car race nets \$2 million prize. Aufgerufen am 12.09.2022 auf <https://news.stanford.edu/news/2005/october12/stanleyfinish-100905.html>
- [5] Waymo. 2022. Seeing the road ahead. Aufgerufen am 12.09.2022 auf <https://waymo.com/company/>
- [6] Microsoft. 2022. Was ist ein Machine Learning-Modell? Aufgerufen am 13.09.2022 auf <https://docs.microsoft.com/de-de/windows/ai/windows-ml/what-is-a-machine-learning-model>
- [7] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. 2022. Künstliche Intelligenz – das unheimlich autonome Fahrzeug. Aufgerufen am 13.09.2022 auf <https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Verbraucherinnen-und-Verbraucher/Informationen-und-Empfehlungen/Wie-geht-Internet/KI-Autonomes-Fahren/ki-autonomes-fahren.html>
- [8] Heike Buchter. 2022. Mein KI-Fahrer und ich. Aufgerufen am 14.09.2022 auf <https://www.zeit.de/mobilitaet/2022-02/autonomes-fahren-kuenstliche-intelligenz-waymo-erfahrungsbericht>
- [9] Lance Eliot. 2021. Explaining Why Explainable AI (XAI) Is Needed For Autonomous Vehicles And Especially Self-Driving Cars. Aufgerufen am 14.09.2022 auf <https://www.forbes.com/sites/lanceeliot/2021/04/24/explaining-why-explainable-ai-xai-is-needed-for-autonomous-vehicles-and-especially-self-driving-cars/?sh=8d970251c5a1>
- [10] Bitkom. 2021. Wachsendes Vertrauen in autonome Fahrzeuge. Aufgerufen am 15.09.2022 auf www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Wachsendes-Vertrauen-autonome-Fahrzeuge
- [11] Tobias Schneider, Joana Hois, Alischa Rosenstein, Sabiha Ghellal, Dimitra Theofanou-Fülbier, and Ansgar R.S. Gerlicher. 2021. ExplIAInYourself! Transparency for Positive UX in Autonomous Driving. In Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (Yokohama, Japan) (CHI '21). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 161, 12 pages. <https://doi.org/10.1145/3411764.3446647>
- [12] Kilian Semmelmann. 2022. Was ist Explainable AI (XAI)? Alles was man wissen muss. Aufgerufen am 15.09.2022 auf <https://www.kobold.ai/explainable-ai/>
- [13] Daniel Omeiza, Helena Webb, Marina Jirotko, Lars Kunze. 2021. Explanations in Autonomous Driving: A Survey. In Journal of the 2021 Transactions on Intelligent Transportation Systems. <https://doi.org/10.1109%2Ftits.2021.3122865>
- [14] Dr. Matt Turek. 2022. Explainable Artificial Intelligence (XAI). Aufgerufen am 16.09.2022 auf <https://www.darpa.mil/program/explainable-artificial-intelligence>
- [15] SAE. 2014. Taxonomy and Denitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems (J3016 Ground Vehicle Standard). https://doi.org/10.4271/J3016_201401
- [16] Christina Kunkel. 2021. Mercedes bekommt als erster Hersteller Zulassung für autonomes Fahren. Aufgerufen am 17.09.2022 auf <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/mercedes-autonomes-fahren-s-klasse-eqs-zulassung-deutschland-kba-1.5484073>
- [17] Mercedes-Benz. 2012. Mercedes-Benz Notruf. Aufgerufen am 17.09.2022 auf <https://group.mercedes-benz.com/innovation/case/shared-services/mercedes-benz-notruf.html>