

Wird autonomes Fahren die forensische Untersuchung erschweren?

Gleumes, Folke Henning
Hochschule Mannheim
Fakultät für Informatik
Paul-Wittsack-Str. 10, 68163 Mannheim

Zusammenfassung—Das Konzept von autonomen Fahrzeugen wird immer populärer und die ersten Implementationen die keine Nutzerinteraktion mehr benötigen, erreichen die Testphase. Auf dem Weg dahin sind schon viele Technologien entstanden, die das Fahren unterstützen. Um das zu ermöglichen, müssen die Fahrzeuge mehr Daten erheben und einige bestehenden Komponenten müssen ersetzt werden. In diesem Paper werden die nötigen Technologien beleuchtet, wie sie eingesetzt werden, welche Daten dabei entstehen und welche Auswirkungen das auf die Versuche Tathergänge und Unfälle zu rekonstruieren, hat. Außerdem wird betrachtet, welche Ansätze es gibt diesen Prozess einfacher zu gestalten und welchen Effekt die neu geschaffenen Gesetze zum autonomen Fahren darauf haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Automatisiertes/Autonomes Fahren	1
3	Datenquellen in modernen Fahrzeugen	2
3.1	RADAR	2
3.2	LiDAR	2
3.3	Kameras	2
3.4	Ultraschall	2
3.5	Infotainment System	3
4	Schwierigkeiten der automotiven Forensik	3
5	Gesetzliche Initiativen	3
5.1	DSSAD	3
5.2	EDR	3
6	Forensische Standards	4
6.1	Erfasste Daten	4
6.2	Datenmenge	4
6.3	Datenintegrität	4
7	Fazit	4
	Abkürzungen	4
	Literatur	5

1. Einleitung

Seit einigen Jahren befindet sich die Automobilindustrie im Umbruch. Nicht nur steht der Wechsel zu Strom betriebenen Kraftfahrzeugen an, sondern auch der Wechsel zu immer mehr computergestützten Fahrsystemen, bis hin zum komplett autonomen Fahrzeug.

Um diesen Umschwung zu ermöglichen, müssen immer mehr Daten erhoben werden und komplexere Systeme zum Auswerten dieser Daten geschaffen werden. Nach Aussagen von Intel aus dem Jahr 2016 könnten Daten von bis zu 4 Terrabyte pro Tag generiert werden. [1] Die Firma Tuxera schätzte 2021 das ein durchschnittlicher US-amerikanischer Verbraucher zwischen 380 und 5100 TB pro Jahr generieren könnte. [2] Gleichzeitig gibt es einige Initiativen, sowohl gesetzlich[3], als auch technische[4][5], um die neu entstehenden Systeme der Forensik zugänglicher zu gestalten. In dieser Arbeit soll die Frage geklärt werden, ob und wie diese Änderung die forensische Auswertung von Fahrzeugen verändern könnte.

2. Automatisiertes/Autonomes Fahren

Für den Begriff des autonomen oder automatisierten Fahrens gibt es mehrere Definitionen, die sich jedoch im Kern gleichen. 2013 definierte die National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) folgende 5 Stufen[6]:

- 0) *No-Automation*: Der Fahrer hat volle Kontrolle über das Fahrzeug. Dies gilt, auch wenn das Fahrzeug über Warnsysteme, wie eine Kollisionswarnung verfügt. Sekundäre Systeme wie Scheibenwischer, Blinklichter, Beleuchtung gelten ebenfalls als Level 0.
- 1) *Function-specific Automation*: Die fahrende Person kann teilweise die Kontrolle über einzelne System dem Fahrzeug überlassen. Beispiele für solche Systeme sind das Anti-lock braking system (ABS), welches die ultimative Kontrolle beim Fahrer belässt, aber in den Bremsprozess eingreift und der Spurhalteassistent, welcher nur leicht in den Lenkprozess eingreift, aber jederzeit von der fahrenden Person überschrieben werden kann.
- 2) *Combined Function Automation*: Ab dieser Stufe können auch die primären Funktionen vollständig vom Fahrzeug übernommen werden, allerdings muss die fahrzeugführende Person jeder Zeit bereit sein in das Fahrgeschehen einzugreifen. Um dies sicherzustellen, gibt es zum Beispiel Distanzsensoren am Lenkrad, welche messen ob der Fahrer die Hände in der Nähe des Lenkrads hat.
- 3) *Limited Self-Driving Automation*: Die fahrzeugführende Person kann zeitweise, unter den korrekten Bedingungen, wie z.B. eine Autobahn bei guter Sichtbarkeit, die komplette Kontrolle

über das System abgeben. Sollte sich ein Hindernis ankündigen, dass nicht von dem autonomen System übernommen werden kann, wird die fahrende Person benachrichtigt und hat eine gewisse Zeitspanne zur Verfügung um sich mit der Verkehrssituation vertraut zu machen, bevor die Kontrolle vom autonomen System abgegeben wird.

- 4) *Full Self-Driving Automation*: Das Fahrzeug kann die komplette Kontrolle übernehmen, ohne dass eine Person in das Fahrgeschehen eingreifen können muss. Diese gibt nur noch das Ziel an.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) unterscheidet 3 Kategorien[7]:

- *Assistierter Modus*: Gleicht dem Level 1 der Definition der NHTSA. In Einzelheiten kann ein automatisiertes System unterstützen, jedoch nie volle Kontrolle über das System ausüben.
- *Automatisierter Modus*: Equivalent zu Level 2 der Definition der NHTSA.
- *Autonomer Modus*: Entspricht Level 5 der NHTSA Definition.

Die Kategorien der BASt wurden von der SAE International (SAE) weiterentwickelt[7] und unterscheiden sich im Wesentlichen von der Definition der NHTSA dadurch, dass zwischen Stufe 3 und 4 noch eine weitere hinzugefügt wurde, die es nur unter bestimmten Konditionen erlaubt die Kontrolle vollständig abzugeben[8].

3. Datenquellen in modernen Fahrzeugen

Moderne Fahrzeuge bestehen aus vielen Einzelsystemen, die über einen gemeinsamen Bus miteinander kommunizieren. Dabei fallen viele Daten an, die die forensische Auswertung unterstützen können. Im Folgenden werden die Systeme behandelt, die für autonome Fahrzeuge eine relevante Funktion einnehmen. Besonders die Sensoren können sehr relevant für die rekonstruktion eines Unfalles sein.

3.1. RADAR

Radar Systeme sind eine relative alte Erfindung, finden aber auch in den modernsten Fahrzeugen noch Einsatz. Dabei werden Radiowellen benutzt um die Entfernungen zu Objekten in der Umgebung zu messen. Im Gegensatz zum Lidar werden Radiowellen deutlich weniger von der Umgebung verschluckt und haben damit eine größere Reichweite. [9] Außerdem ist es möglich durch den Dopplereffekt die Bewegungsrichtung von Objekten abzuleiten. Radare werden bereits für den assistierten Modus benutzt um z.B. Abstandsregeltempomaten umzusetzen.

3.2. LiDAR

Light detection and ranging oder Light imaging, detection and ranging (LiDAR) ist eine dem Radar ähnliche Technologie, die anhand der Zeit die ein Lichtimpuls braucht um zum Ziel und wieder zurückzukommen, berechnet wie weit das Ziel entfernt ist. Mit dieser Technik ist es möglich, zwei- und dreidimensionale Abbilder der

Umgebung zu schaffen. Um dieses Ziel zu erreichen wurde in der Vergangenheit ein rotierender Spiegel genutzt, um den Laser auf einer Ebene um das Auto zu bewegen. Dies erzeugt aber nur ein zweidimensionales Bild, also ein Abbild aller Objekte in einer Ebene um das Fahrzeug herum. Um auch mechanisch ein dreidimensionales Bild erzeugen zu können wird zusätzlich die Neigung des Spiegels verändert, um aus der Ebene ausbrechen zu können. Erkennbar sind diese Systeme an einem charakteristischen runden Aufbau auf dem Dach des Fahrzeuges.

Ein Ansatz, der weniger auf mechanische Bauteile setzt, benutzt einen starken Blitz im nicht sichtbaren Spektrum, der dann von einem zweidimensionalen Detektor aufgenommen werden kann. Zusätzlich mit den Tiefeninformationen, die aus der Verzögerung des Echos abgeleitet werden können, wird eine Punktwolke abgeleitet die ein dreidimensionales Abbild der Umgebung schaffen. Im Gegensatz zum mechanischen LiDAR hat diese Technik kaum bewegliche Teile und ist dadurch weniger verschleißanfällig, allerdings bringt der Lichtblitz ein eigenes Problem mit, er führt zu starken Verbrauchsspitzen. [10] Im Gegensatz zum Radar nimmt die Effektivität bei schlechten Wetterbedingungen, wie Schnee, Regen, Nebel und Staub, bei beiden Ansätzen jedoch stark ab. [9] Dieses System wird von den meisten Herstellern autonomer Fahrzeuge benutzt, jedoch nicht von allen. [11]

3.3. Kameras

Die Kameras eines autonomen Vehikels sind wahrscheinlich die wichtigsten Sensoren am Fahrzeug. Die Firma Tesla kündigte 2021 sogar an, nur noch auf Kameras zu setzen und das vorher noch benutzte Radar-System in Zukunft nicht mehr zu verbauen, sind damit aber ein Einzelfall.[12] Kameras sind oft günstiger als andere Sensoren, haben allerdings die Schwäche das ihre Wahrnehmung, ähnlich wie beim LiDAR, leicht von schlechten Sichtverhältnissen beeinflusst werden. Außerdem enthalten sie von sich aus keine Tiefeninformationen, die besonders für Adaptive Cruise Control (ACC) und die Kollisionsvermeidung relevant sind. Es ist allerdings möglich Tiefeninformationen aus Stereokameras abzuleiten, das benötigt allerdings zusätzlichen Rechenaufwand und führt zu Latenz. [13]

Eine weitere Anwendung finden die Kameras im Innenraum des Fahrzeuges. Nach Einführung der Stufe 3 des autonomen Fahrens in Amerika hat sich in vielen Fällen gezeigt das die Fahrer ihre Aufmerksamkeitspflicht verletzen und nicht in kurzer Zeit fähig sind in das Fahrgeschehen einzugreifen. Mittels der internen Kameras kann überwacht werden, ob die Aufmerksamkeit des Fahrers tatsächlich der Straße gilt. Zu diesem Zweck hatte Tesla Sensoren im Lenkrad verbaut, die die Präsenz der Hände am Lenkrad sicherstellen sollten, diese stellten sich allerdings als unzureichend und einfach manipulierbar heraus. [14]

3.4. Ultraschall

Ultraschallsensoren werden bereits für Einparkhilfen und Kollisionswarnungen genutzt. Die Sensoren arbeiten vergleichbar wie das Radar, allerdings werden keine Radiowellen genutzt, sondern kurzweilliger Schall, meistens

zwischen 40kHz und 58kHz. [10] Diese Methode hat allerdings den Nachteil, dass die Reichweite auf ca. 10 Meter begrenzt ist, und somit nur für Szenarien in denen sich das Fahrzeug langsam bewegt, geeignet ist. [13]

3.5. Infotainment System

Das Infotainment System ist eines der datenstärksten Systeme, die in einem Fahrzeug verbaut sind. Wie dem Namen zu entnehmen ist, erfüllt dieses System zwei Funktionen: Zum einen macht es dem Fahrer Informationen über das Auto zugänglich und zum anderen kann es zur Unterhaltung genutzt werden.

Während diese Systeme lange nur als Radio und zum Abspielen eigener physischer Medien wie Audiokassetten und CDs genutzt wurden, sind etwa ab 2010 viele neue Funktionen dazu gekommen. [15]

Mit der Einführung von Bluetooth ist es nicht nur möglich geworden Audio über die integrierte Audioanlage des Autos abzuspielen, sondern diese auch für Anrufe zu benutzen. Durch das Audio/Video Remote Control (AVRCP) Protokoll werden zusätzlich Metadaten über die wiedergegebenen Medien an das Infotainment System gesendet, die bei einer forensischen Untersuchung relevant sein könnten. Ebenfalls ist es möglich sein Telefonbuch in das Infotainment System hochzuladen, ein Feature, das es dem Nutzer erleichtern soll Anrufe initiieren zu können. Einige Modelle bieten Sprachsteuerungen an, mit denen der Fahrer einen Anruf starten kann, ohne den Blick von der Straße zu nehmen.

Bei der Verwendung von der Bluetoothschnittstelle hinterlässt das verbundene Gerät einige Informationen, die zur eindeutigen Identifikation genutzt werden können und damit sehr wertvoll für eine Investigation des Fahrzeuges sind, sollte es nötig sein den Fahrer zu identifizieren.

Ein weiteres weit verbreitetes Feature ist die Integration eines Navigationssystems. Zur Funktion ist ein Global Positioning System (GPS) Modul notwendig, womit die Position des Fahrzeuges auf wenige Meter genau festgestellt werden kann. Dieses erhebt während der Fahrt einen exakten Pfad, den das Fahrzeug genommen hat und speichert potentiell einzelne Standpunkte. Neben den passiv gespeicherten Daten kann der Nutzer auch selber Punkte hinterlegen, mit der Intention diese später einfacher als Navigationsziel aufzurufen.

Eine Untersuchung verschiedener Infotainment Systeme ergab, dass die folgenden Daten oft noch vorhanden waren: [16]

- *Bluetooth Geräteliste* Die Geräteliste enthält alle verbundenen Geräte. Unter anderem auch der Mac Adresse, die zur eindeutigen Identifikation eines Gerätes genutzt werden kann
- *Kontakte* Die per Bluetooth hochgeladene Liste der Kontakte
- *Anruf Verlauf* Liste getätigter Anrufe über das Infotainment System
- *SMS* Empfangene SMS während ein Telefon verbunden war
- *GPS Koordinaten* Gespeicherte Orte für die Navigation, teilweise auch Orte an denen sich das Fahrzeug befunden hat

4. Schwierigkeiten der automotiven Forensik

Die folgende Sektion basiert größtenteils auf den Erkenntnissen aus „Issues of Vehicle Digital Forensics“ und „Smart vehicle forensics: Challenges and case study“. In diesen Arbeiten wird auf die bisherigen Probleme der forensischen Aufarbeitung eingegangen, bieten aber einen guten Anhaltspunkt welche Probleme in zukünftigen Systemen auftreten könnten.

5. Gesetzliche Initiativen

Die neuen Herausforderungen wurden auch von den Gesetzgebern erkannt und es wurden zwei Verordnungen auf den Weg gebracht. Diese sollen die Rekonstruktion und Schuldfeststellung eines Vorfalls unterstützen. Zwar helfen diese Systeme beim Rekonstruieren eines Unfalls, sind aber nicht anwendbar für die Untersuchung von Betrugs oder Diebstahlsfällen. [3]

5.1. DSSAD

Das Data Storage Systems for Automated Driving (DSSAD) ist eine Anforderung an ein Speichersystem, explizit ausgerichtet auf autonome Fahrzeuge die dem Level 3 bis 5 der SAE Definition entsprechen. Dabei werden bestimmte Datenpunkte definiert, die verpflichtend erhoben werden müssen, um festzustellen, wann die fahrende Person oder ein automatisiertes System das Fahrzeug lenken. Die Datenpunkte sind wie folgt definiert.

- Die Zeit zu der das Highly-Automated-Driving (HAD) System den Status wechselt, zum Beispiel von 'Aktiv' zu 'Inaktiv', weitere Zustände werden von der ACSF-B2 Regulierung abgedeckt.
- Die Zeit zu der das HAD System die fahrende Person auffordert die Kontrolle über das Fahrzeug zu übernehmen.
- Die Zeit zu der das HAD System Aktionen mit minimalem Risiko unternimmt. Eine Liste dieser Aktionen wird auch in der ACSF-B2 Regulierung vorgegeben.
- Die Zeit zu der die fahrende Person die Kontrolle des Fahrzeuges übernimmt.

Die Art und Weise wie diese Daten abgerufen werden können ist in der Definition nur soweit definiert, dass spätestens 90 Tage nach Verkaufsstart des Fahrzeuges Werkzeuge zur Verfügung stehen müssen diese Daten auszulesen. Das Fehlen eines gemeinsamen Standards bedeutet im logischen Schluss aber auch, dass das Problem der vielen herstellerspezifischen Werkzeuge nicht direkt behoben wird.

Die EU Verordnung 2019/2144 definiert, dass das DSSAD ab 2022 verpflichtend wird.

5.2. EDR

Der Event Data Recorder (EDR) ist eine sogenannte Blackbox die im Falle eines Ereignisses, zum Beispiel eines Unfalls, Daten über den Zustand des Fahrzeuges abspeichern soll, um diese später in der forensischen Analyse nutzen zu können. Dabei ist ein Ereignis definiert als

der Moment, in dem einer der Airbags ausgelöst wird. [19] Dieses Kriterium wird allerdings von einer Arbeit über den EDR in autonomen Fahrzeugen als unzureichend kritisiert. [3] In einem Vorschlag für einen neuen Standard zur Aufzeichnung von Fahrzeugdaten für die forensische Anwendung wird außerdem angemerkt, dass ein solches System manipulierbar ist und nicht immer als Beweis genutzt werden könnte. **LEE'2019** Ein Paper über die Schwierigkeiten der Forensik bei Fahrzeugen bemängelte außerdem, dass der EDR nur in wenigen Fällen anwendbar ist und für Fälle des Betrugs oder der Manipulation des Fahrzeuges nicht nützlich ist. [17]

Die Vorgaben decken viele der klassischen Systeme in einem Fahrzeug ab, beziehen sich aber in keiner Weise auf die neueren Systeme, die für das autonome Fahren eingeführt wurden.

Wie auch bei der DSSAD sind Hersteller verpflichtet Werkzeuge zum Auslesen des EDR kommerziell anzubieten. Das Problem der FrAGMENTIERUNG und der hohen Kosten für die allgemeine Möglichkeit das EDR auszu-lesen bleiben also bestehen. Laut einer Pressemitteilung der Europäischen Kommission wird der EDR ab dem Jahr 2022 verpflichtend. [20]

6. Forensische Standards

Neben den gesetzlichen Initiativen zur Festlegung eines Standards gibt es auch technische Ansätze, um ein Framework zur forensischen Untersuchung autonomer Fahrzeuge zu schaffen. Im Gegensatz zu den gesetzlichen Vorschlägen decken diese auch Daten ab die von Sensoren wie den Kameras und dem LiDAR erhoben werden. Im Folgenden werden zwei dieser technischen Lösungen, AVGuard[4] und T-Box**Lee'201** betrachtet und welche Probleme der Forensik sie lösen. Ob diese sich allerdings durchsetzen bleibt laut Kopencova und Rak zu bezweifeln. Laut ihnen hat sich gezeigt das durch die große Menge and Herstellern von Fahrzeugen und Anbietern von besthender Analysesoftware ein universeller Ansatz nicht existieren kann.

6.1. Erfasste Daten

Die beiden Ansätze unterscheiden sich stark im Ansatz welche Daten mitgeschrieben werden sollen. T-Box schlägt vor die Box Hardware direkt am Ethernet Backbone des Fahrzeuges anzubringen. Das Ziel ist es sämtliche Daten die über das interne Netzwerk versendet werden, aufzuzeichnen. Im Gegensatz dazu schlägt AVGuard vor nur bestimmte Inhalte aufzuzeichnen. Dafür haben sie fünf Kategorien identifiziert die aufgezeichnet werden sollen. *Sensoren* Darunter fallen Kamera, LiDAR, GPS und optional Ultraschall.

Wahrnehmung Die Wahrnehmung beschreibt welche Objekte aus den Daten der Sensoren abgeleitet werden konnten. Die vorgeschlagenen Objekte sind Autos, Personen, Lichtsignalanlagen, Straßenschilder, die Sicherheit mit der die Straßenbegrenzung erkannt wurde und unbekannte Objekte.

Lokalisation Die Position des Fahrzeuges, mit einer Auflösung zwischen 2 und 10 Centimetern.

Planung Die Planungskategorie beschreibt das momentane Vorhaben des Fahrzeuges. Ein Logeintrag wird erstellt,

wenn sich die Planung ändert.

Kontrolle Unter die Kontrolle fallen die Aktionen, die von dem System ausgelöst werden. Das betrifft konkret die Beschleunigung, die Bremse und die Lenkung. Ein neuer Eintrag wird erstellt, wenn das System entscheidet zu beschleunigen oder zu Bremsen, oder wenn der Lenkwinkel einen bestimmten Grenzwert überschreitet. Wo dieser Grenzwert liegt, wurde nicht definiert.

Durch das klare Format ist der Reverseengineeringaufwand von AVGuard deutlich geringer, allerdings sind die Daten, die von T-Box aufgenommen werden, umfangreicher. Leider werden im Paper über AVGuard keine Aussagen über die vollständigkeit getroffen.

6.2. Datenmenge

Die Datenmenge, die von den verschiedenen Systemen produziert wird, ist signifikant, bis zu 110MB/s oder 4000GB pro Tag. [4] Zur Lösung des Problems wird in dem Vorschlag zu AVGuard ein ausreichender lokaler Speicher vorgeschlagen, der noch mit zusätzlichem Platz in einer online Plattform erweitert werden kann. Auf datenschutzrechtliche Aspekte wird nicht eingegangen. In dem Paper über T-Box wird noch auf die Effizienz von Kompressionsalgorithmen eingegangen. Dabei haben sie mit dem zip Kompressionsalgorithmus eine Rate von 17.4% auf in Simulationen erfassten Daten erreicht. Aber auch sie schlagen einen zusätzlichen Cloudspeicher vor, eine Kompression würde nur den Netzverkehr und den benötigten lokalen Speicherplatz verringern. Abschließend geben sie noch zu bedenken das mit der Kompression auch die Fehleranfälligkeit steigt, da ein einzelnes korruptiertes Bit einen größeren Datensatz beeinflussen kann.

6.3. Datenintegrität

Eine wesentliche Schwierigkeit der Forensik ist die Daten zu erheben, ohne sie zu verändern. Ohne einen dedizierten Zugang zu den Daten, kann dies einen physischen Eingriff ins System, wie zum Beispiel einen Chip-off bedeuten. Außerdem ist sicherzustellen das die Daten nicht im Nachhinein manipuliert wurden, beispielsweise vom Täter. Auch dafür bieten beide Vorschläge eine Lösung, die sich aber im Konzept sehr ähneln. Beide setzen für die Validierung der Daten und die Detektion einer vorsätzlichen Änderung eine Hashkette ein.

Eine Hashkette ist ein Konstrukt aus der Kryptografie. Dabei werden Datensätze zu Blöcken zusammengefasst und mit einem privaten Schlüssel verschlüsselt. Anschließend wird ein Hash über die verschlüsselten Daten erstellt der an den nächsten erzeugten Datenblock angehängt wird. Der Hash des nächsten Blocks wird wiederum an den darauf folgenden angehängt, usw. Diese Technik hat den Vorteil das es praktisch nicht möglich ist, mit Ausnahme des letzten Blocks, Änderungen vorzunehmen, ohne das eine Untersuchung diese Manipulation feststellen wird, vorausgesetzt der Hashalgorithmus entspricht modernen kryptografischen Standards.

7. Fazit

Abkürzungen

EDR Event Data Recorder

HAD Highly-Automated-Driving
DSSAD Data Storage Systems for Automated Driving
GPS Global Positioning System
AVRCP Audio/Video Remote Control
ABS Anti-lock braking system
BASt Bundesanstalt für Straßenwesen
NHTSA National Highway Traffic Safety Administration
SAE SAE International
ACC Adaptive Cruise Control
LiDAR Light detection and ranging oder Light imaging, detection and ranging

Literatur

- [1] P. Nelson, „Just one autonomous car will use 4,000 GB of data/day“, Dez. 2016, Zuletzt am 10.06.2022 besucht. Adresse: <https://www.networkworld.com/article/3147892/one-autonomous-car-will-use-4000-gb-of-dataday.html>.
- [2] S. Wright, „Autonomous cars generate more than 300 TB of data per year“, Juli 2021, Zuletzt am 10.06.2022 besucht. Adresse: <https://www.tuxera.com/blog/autonomous-cars-300-tb-of-data-per-year/>.
- [3] K. Böhm, T. Kubjatko, D. Paula und H.-G. Schweiger, „New developments on EDR (Event Data Recorder) for automated vehicles“, *Open Engineering*, Jg. 10, Nr. 1, S. 140–146, 2020. DOI: 10.1515/eng-2020-0007. Adresse: <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0007>.
- [4] M. A. Hoque und R. Hasan, „AVGuard: A Forensic Investigation Framework for Autonomous Vehicles“, in *ICC 2021 - IEEE International Conference on Communications*, IEEE, Juni 2021. DOI: 10.1109/icc42927.2021.9500652.
- [5] S. Lee, W. Choi, H. J. Jo und D. H. Lee, „T-Box: A Forensics-Enabled Trusted Automotive Data Recording Method“, *IEEE Access*, Jg. 7, S. 49 738–49 755, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2910865.
- [6] *Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles*, Zuletzt am 2022-05-17 besucht, 2013. Adresse: https://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/Automated_Vehicles_Policy.pdf.
- [7] *Selbstfahrende Autos – assistiert, automatisiert oder autonom?*, Zuletzt am 2022-05-17 besucht, März 2021. Adresse: <https://www.bast.de/DE/Presse/Mitteilungen/2021/06-2021.html>.
- [8] SAE, „Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles“, SAE International, Techn. Ber., Apr. 2021. DOI: 10.4271/j3016_202104. Adresse: <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>.
- [9] A. Neal, „LiDAR vs. RADAR“, Apr. 2018, Zuletzt am 15.06.2022 besucht. Adresse: <https://www.fierceelectronics.com/components/lidar-vs-radar>.
- [10] L. Zhaohua und G. Bochao, „Radar Sensors in Automatic Driving Cars“, in *2020 5th International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT)*, 2020, S. 239–242. DOI: 10.1109/ICECTT50890.2020.00061.
- [11] B. Dickson, „Tesla AI chief explains why self-driving cars don’t need lidar“, Juli 2021, Zuletzt am 10.06.2022 besucht. Adresse: <https://venturebeat.com/2021/07/03/tesla-ai-chief-explains-why-self-driving-cars-dont-need-lidar/>.
- [12] C. Köllner, „Wie Teslas Verzicht auf Radar einzuschätzen ist“, *Springer Professional*, Feb. 2022, Zuletzt am 15.06.2022 besucht. Adresse: <https://www.springerprofessional.de/sensorik/automatisiertes-fahren/wie-teslas-verzicht-auf-radar-einzuschaetzen-ist/20091688>.
- [13] F. Petit, „Sensorfusion – Schlüsselkomponenten für autonomes Fahren“, Juni 2022, Zuletzt am 16.06.2022 besucht. Adresse: <https://www.blickfeld.com/de/blog/sensorfusion/>.
- [14] K. Trudell Craig / Laing, „Tesla Autopilot Probed by U.S. Over Crash-Scene CollisionsTesla Autopilot Probed by U.S. Over Crash-Scene Collisions“, Aug. 2021, Zuletzt am 16.06.2021 besucht. Adresse: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-08-16/tesla-autopilot-investigated-again-by-u-s-over-crashes-ap-says>.
- [15] T. Rossi, „A brief history of in-vehicle infotainment and car data storage“, Juli 2021, Zuletzt am 20.06.2022 besucht. Adresse: <https://www.tuxera.com/blog/a-brief-history-of-in-vehicle-infotainment-how-tuxera-fits-in/>.
- [16] J. Lacroix, „Vehicular Infotainment Forensics: Collecting Data and Putting It into Perspective“, Magisterarb., University of Ontario Institute of Technology, 2017.
- [17] D. Kopencova und R. Rak, „Issues of Vehicle Digital Forensics“, in *2020 XII International Science-Technical Conference AUTOMOTIVE SAFETY*, 2020, S. 1–6. DOI: 10.1109/AUTOMOTIVESAFETY47494.2020.9293516.
- [18] N.-A. Le-Khac, D. Jacobs, J. Nijhoff, K. Bertens und K.-K. R. Choo, „Smart vehicle forensics: Challenges and case study“, *Future Generation Computer Systems*, Jg. 109, S. 500–510, 2020. DOI: 10.1016/j.future.2018.05.081. Adresse: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X17322422>.
- [19] National Highway Traffic Safety Administration, „Title 49 - Transportation. Subtitle B - Other Regulations Relating to Transportation“, Okt. 2018, Zuletzt am 22.06.2022 abgerufen. Adresse: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2018-title49-vol6/xml/CFR-2018-title49-vol6-part563.xml>.
- [20] European Commission, „Road safety: Commission welcomes agreement on new EU rules to help save lives“, 2019, Zuletzt am 22.06.2022 abgerufen. Adresse: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_1793.