

Wird die forensische Analyse von Fahrzeugen durch autonome Autos schwieriger?

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	3
3.5	Infotainment System	3
4	Schwierigkeiten der automotiven Forensik	3
4.1	Electronic Control Units	3
4.2	Infotainment System	3
5	Gesetzliche Initiativen	4
5.1	Data Storage Systems for Automated Driving	4
5.2	Event Data Recorder	4
6	Forensische Standards	4
6.1	Erfasste Daten	4
6.2	Datenmenge	5
6.3	Datenintegrität	5
6.4	Privatsphäre	5
7	Fazit	5
	Abkürzungen	5
	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 generiert 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 erzeugt werden [1]. Die Firma Tuxera schätzte 2021 das ein durchschnittlicher US-amerikanischer Verbraucher zwischen 380 und 5100 TB pro Jahr generieren könnte [2]. Durch diese Umstellung hat auch die Forensik von Fahrzeugen und Unfallstellen immer mehr Überschneidung mit der digitalen Forensik gefunden. Fast jedes System eines modernen Autos ist inzwischen Computergestützt und kann im Zweifelsfall Informationen halten, die die Rekonstruktion eines Vorfalles oder Tathergangs unterstützen können. 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. Die Worte 'Auto', 'Fahrzeug' und 'Vehikel' werden hier austauschbar verwendet. Gemeint ist ein Fahrzeug der Klasse M oder N nach der Definition des Kraftfahrt-Bundesamt. Zu Beginn wird in Abschnitt 2 zusammengefasst, welche Definitionen es für autonomes Fahren gibt. Anschließend in Kapitel 3 werden die verschiedenen Sensoren und Systeme erklärt, die für ein autonomes Fahrzeug relevant sind. In Kapitel 4 wird aufgezeigt welche Schwierigkeiten es bei der Forensik von Fahrzeugen bisher gab. Darauf folgend geht es um gesetzliche Initiativen um diese Probleme in Zukunft zu vermeiden und in Kapitel 6 werden zwei vorgeschlagene Standards besprochen und wie diese die Probleme der Forensik lösen wollen. Das letzte Kapitel fasst die Inhalte zusammen.

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 Doppereffekt 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, sie 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, dass 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 kurzwelliger Schall, meistens zwischen 40kHz und 58kHz [10]. Diese Methode hat allerdings den Nachteil, dass die Reichweite auf ca. 10 Meter begrenzt ist. Somit eignet sich das System nur für Szenarien in denen sich das Fahrzeug langsam bewegt [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 zu 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 dazugekommen [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 [17] und [18]. In diesen Arbeiten wird auf die bisherigen Probleme der forensischen Aufarbeitung eingegangen, sie bieten dennoch einen guten Anhaltspunkt, welche Probleme in zukünftigen Systemen auftreten könnten.

4.1. Electronic Control Units

Beide Paper heben als größtes Problem hervor, dass die große Anzahl unterschiedlicher Komponenten ein starkes Problem darstellt. Zum Beispiel werden in einem modernen Fahrzeug üblicherweise mehr als 75 Electronic Control Unit (ECU)s verbaut [19]. Eine ECU ist ein Mikrokontroller der Vorgänge im Fahrzeug kontrolliert, wie zum Beispiel den Zustand des Motors. Jede dieser Komponenten übernimmt dabei nur eine spezifische Aufgabe und erhalten ihre Anweisungen über das interne Netzwerk des Autos.

Im Zweifelsfall müssen für jede dieser ECUs spezielle Werkzeuge zur Verfügung stehen, da es keine standardisierte Zugriffsmöglichkeit auf die Hardware gibt.

Das kann im schlechtesten Szenario bis zum 'chip-off' führen, ein riskanter Prozess, bei dem versucht wird den Speicherchip vom Rest der Elektronik zu lösen und direkt auszulesen. Werden dabei Fehler gemacht, können die Daten unwiederbringlich zerstört werden.

Weiter wird angemerkt, dass, selbst wenn die Werkzeuge zur Verfügung stehen, die Initialkosten um eine breite Anzahl von Autos untersuchen zu können, enorm sind. Konkrete Zahlen werden nicht genannt.

4.2. Infotainment System

Le-Khac, Jacobs, Nijhoff, Bertens und Choo beschreiben in ihrer Arbeit unter anderem auch den Prozess das

Infotainment zu untersuchen. Auch bei dem Infotainment System kann es im schlechtesten Fall zu einem ‘chip-off’ kommen, allerdings finden sich oft entfernbare Festplatten in den Systemen. Dabei merken sie an, das aufgrund der Vielzahl an Betriebssystemen, auch eine Vielzahl an verschiedenen Dateisystemen genutzt wird. Sie stellen fest das auch hier keine alleinstehende Lösung existiert, die mit allen der Systeme umgehen kann, sondern mehrere kommerzielle Werkzeuge genutzt werden müssen, um eine Abdeckung aller gängiger Systeme zu erreichen.

5. Gesetzliche Initiativen

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

5.1. Data Storage Systems for Automated Driving

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 vorgeben.
- 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. Das Fehlen eines gemeinsamen Standards bedeutet im logischen Schluss aber auch, dass das Problem der vielen herstellereigenen Werkzeuge nicht behoben wird. Die EU Verordnung 2019/2144 definiert, dass das DSSAD ab 2022 verpflichtend wird.

5.2. Event Data Recorder

Der Event Data Recorder (EDR) ist eine sogenannte Blackbox die im Falle eines Ereignisses, zum Beispiel eines Unfalls, Daten über den Zustand des Fahrzeuges speichern 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 [20]. 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 [5]. 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 auszulesen, bleiben also bestehen. Laut einer Pressemitteilung der Europäischen Kommission wird der EDR ab dem Jahr 2022 verpflichtend [21].

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 [5], betrachtet und welche Probleme der Forensik sie lösen. Ob diese sich allerdings durchsetzen bleibt laut [17] zu bezweifeln. Laut ihnen hat sich gezeigt, dass durch die große Menge an Herstellern von Fahrzeugen und Anbietern von bestehender Analysesoftware ein universeller Ansatz nicht existieren kann.

6.1. Erfasste Daten

Die beiden Systeme 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 zu AVGuard keine Aussagen über die vollständigkeit getroffen.

6.2. Datenmenge

Die neuen Sensoren und Verarbeitungssysteme generieren 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, dass 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, dass 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, dass es praktisch nicht möglich ist, mit Ausnahme des letzten Blocks, Änderungen vorzunehmen, ohne dass eine Untersuchung diese Manipulation feststellen wird. Dabei gilt natürlich die Voraussetzung, dass der Hashalgorithmus modernen kryptografischen Standards entspricht.

6.4. Privatsphäre

In der Europäischen Union ist seit 2018 die General Data Protection Regulation (GDPR) in Kraft, die den Umgang mit persönlichen Daten reguliert. Da beide Ansätze vorschlagen einen Teil der gesammelten Daten in über das Internet zugänglichen Speicher abzulegen, sind auch beide von der Regulierung betroffen. Allerdings wird dieser Aspekt nur von dem Vorschlag zur T-Box angesprochen und dort als offene Frage, die es zu klären gilt, dargestellt [5].

7. Fazit

Die autonomen Fahrzeuge werden in ihrem Aufbau deutlich komplexer als bisher vorhandene Systeme. Mit den neuen Datenquellen gibt es auch mehr Anhaltspunkte um einen Vorfall oder ein Verbrechen abzuleiten, allerdings werden auch die bestehenden Probleme, wie die große Anzahl von notwendigen Werkzeugen, verstärkt. Durch das Vorschreiben eines EDR und der DSSAD wird zumindest festgelegt, dass bestimmte Daten zugänglich sein müssen, allerdings ist auch hier kein Standard definiert, wie diese abgerufen werden können. Außerdem decken sie nicht die Fälle ab, in denen Daten aus einem längeren Zeitraum relevant sind, wie etwa Standortdaten eines gestohlenen Autos. Es existieren zwar Vorschläge für forensische Frameworks, die viele der bestehenden Probleme lösen würden, allerdings ist bisher nicht abzusehen, dass diese auch in der Praxis Anwendung finden.

Abkürzungen

ABS	Anti-lock braking system
ACC	Adaptive Cruise Control
AVRCP	Audio/Video Remote Control
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
DSSAD	Data Storage Systems for Automated Driving
ECU	Electronic Control Unit
EDR	Event Data Recorder
GDPR	General Data Protection Regulation
GPS	Global Positioning System
HAD	Highly-Automated-Driving
LiDAR	Light detection and ranging oder Light imaging, detection and ranging
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
SAE	SAE International

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 Vehicular 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] O. Stopka, „Approach technique of specifying a proper autonomous cart type for its service in the logistics center“, *The Archives of Automotive Engineering - Archiwum Motoryzacji*, Jg. 84, Nr. 2, S. 23–31, 2019. DOI: 10.14669/AM.VOL84.ART2. Adresse: <https://doi.org/10.14669/AM.VOL84.ART2>.
- [20] 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>.
- [21] 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.