

Manövererkennung durch Smartphone-Sensoren – Erstellung eines Datensatzes zur Klassifikation von Fahrmanövern

Jonathan Schuster
Harz University of Applied Sciences
Wernigerode, Germany
schuster.jonathan95@gmail.com

Abstract—Die automatisierte Klassifikation von Fahrmanövern ist sowohl für Forschungen zur Verkehrssicherheit als auch im Kontext personalisierter Tarife in der Versicherungsbranche von Bedeutung. Auf Smartphone-Sensoren basierende Ansätze zur Aufzeichnung des Fahrverhaltens bieten dabei eine einfache und kostengünstige Alternative zu fahrzeuginternen Sensoren oder externen Hardware-Komponenten. Da es jedoch kaum Datensätze gibt, die das tatsächliche Fahrverhalten von Personen in natürlichen Umgebungen und echten Verkehrssituationen anhand der Daten von Smartphone-Sensoren darstellen, werden in dieser Arbeit Sensordaten von Aufzeichnungsfahrten mit einem mehrstufigen Kategoriensystem an Fahrmanövern gekennzeichnet. Dazu wird zunächst eine Anwendungssoftware zur Aufzeichnung der Beschleunigungs-, Drehbewegungs- und GPS-Sensoren eines Smartphones erstellt. Anschließend werden Aufzeichnungsfahrten mit drei verschiedenen Personen durchgeführt und eine Kennzeichnung mit Hilfe des während den Fahrten aufgenommenen Videomaterials vorgenommen. Der daraus resultierende gekennzeichnete Datensatz umfasst insgesamt 934 zugeordnete Fahrmanöver, die innerhalb von unterschiedlichen Umgebungen und auf verschiedenen Straßentypen durchgeführt wurden.

Index Terms—Telematik, Smartphone-Sensoren, Klassifikation, Fahrverhalten, Manövererkennung

I. EINFÜHRUNG

Die bisherige Forschung im Kontext der Manövererkennung durch auf Smartphone-Sensoren basierende Ansätze hat sich stark auf den Vergleich zu denen der fahrzeuginternen oder extern installierten Sensorkomponenten sowie auf unterschiedliche Methoden zur Erfassung, Auswertung und Klassifikation der Daten fokussiert [1], [2]. Es wurden bereits Datensätze wie zum Beispiel A2D2 [3] veröffentlicht, die Aufzeichnungen von fahrzeuginternen und extern installierten Sensoren sowie Videomaterial der Fahrten umfassen und so eine Erforschung der automatisierten Manövererkennung ermöglichen. Diese dienen meist jedoch primär dem Forschungsgebiet des autonomen Fahrens und sind aufgrund der Kosten und der verwendeten Technik schwer zu reproduzieren oder zu erweitern. Für die Untersuchung der Manövererkennung durch Smartphone-Sensoren bestehen ebenfalls kaum Datensätze, die frei verfügbar oder so dokumentiert sind, dass sie beispielsweise weitergeführt werden können oder eine neue Zuordnung der Sensordaten zu spezifischen Fahrmanövern ermöglichen.

Aus diesem Grund setzt sich diese Arbeit mit der Erstellung eines auf Smartphone-Sensoren basierenden Datensatzes auseinander. Dieser soll die Aufzeichnung des tatsächlichen Fahrverhaltens von Personen in einer natürlichen Umgebung und unter normalen Umwelteinflüssen umfassen und eine Klassifikation von Fahrmanövern ermöglichen. Dafür wird nach der Betrachtung des Hintergrundes und des aktuellen Forschungsstandes die Entwicklung einer Anwendungssoftware zur Aufzeichnung der Beschleunigungs-, Drehbewegungs- und GPS-Sensoren eines Smartphones vorgestellt. Anschließend wird das für die Kennzeichnung der Sensordaten verwendete Kategoriensystem erläutert, über welches sich die jeweiligen Sensordaten mit Hilfe von Videomaterial zu bestimmten Typen von Fahrmanövern zuordnen lassen. Der Fokus dieser Arbeit liegt bei dem Versuchsaufbau und der Durchführung von Aufzeichnungsfahrten, bei denen sowohl Sensordaten als auch das notwendige Videomaterial erfasst werden. Der daraus resultierende Datensatz beinhaltet die Fahrten von drei verschiedenen Personen mit unterschiedlichen Fahrzeugen auf einer spezifisch zusammengestellten Strecke und wird in den Ergebnissen beschrieben. Anschließend werden die mit diesem Ansatz einhergehenden Herausforderungen sowie die Validität der Forschungsarbeit diskutiert. Zuletzt erfolgt ein Ausblick auf mögliche Folgeforschung.

II. HINTERGRUND

Durch den weltweit stark zunehmenden Automobilverkehr ist die Relevanz des Fahrverhaltens von Personen zu untersuchen gestiegen. Es wurde bereits festgestellt, dass ein Großteil der Verkehrsunfälle auf menschliche Faktoren zurückzuführen ist [4]. Aus diesem Grund beschäftigt sich nicht nur die Verkehrs- und Mobilitätsforschung, sondern ebenso die Versicherungswirtschaft mit der Klassifikation von Fahrmanövern. Dies dient der Identifizierung von Risiken und der Differenzierung unterschiedlicher Fahrweisen. So kann die Klassifikation von Fahrertypen im Kontext der KFZ-Versicherung genutzt werden, um die Risikokalkulation zu optimieren und eine Individualisierung des Versicherungsangebotes zu ermöglichen.

Das Fahrverhalten kann als die Art und Weise definiert werden, wie eine Person sowohl auf ihren aktuellen Zustand,

wie zum Beispiel ihre Geschwindigkeit und den Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen, als auch auf Veränderungen in ihrer Umgebung, wie den Verkehr oder die Straßenbedingungen, reagiert [1]. Dabei ist von besonderer Bedeutung, welche Aktionen ausgeführt werden, welche Eigenschaften diese besitzen und wie sich die Ausführung gegebenenfalls je nach Person, Straßenabschnitt oder Verkehrssituation unterscheidet. Frühere Untersuchungen zeigten beispielsweise, dass Personen, die häufiger in Unfälle verwickelt waren, ebenfalls häufiger auf eine unangemessene Art und Weise bremsen, dicht auffahren und rasant beschleunigen, als Personen, die seltener in Unfälle verwickelt waren [5]. Diese Aktionen und auch das scharfe Durchfahren von Kurven sind jedoch nicht die einzigen Fahrsituationen, die von Interesse sind. Ebenso sind beispielsweise Spurwechsel, Ausweichmanöver, Geschwindigkeitsüberschreitungen oder Vorgänge wie das Abbiegen auf Kreuzungen von Bedeutung [6]. Zu beachten ist jedoch, dass sich das Fahrverhalten somit nicht nur in aktiven, bewusst gewählten Aktionen widerspiegelt, sondern ebenso in unbewussten, die sich aus Gewohnheiten der Person ergeben können.

Der Einsatz moderner Technologien spielt bei der Erfassung und Auswertung des Fahrverhaltens eine wichtige Rolle. So werden bei den meisten Versicherungs-Telematikprogrammen Daten mit Hilfe der fahrzeuginternen Sensoren oder einer extern installierten Hardware-Komponente, einem Fahrzeugdatenschreiber oder sogenannten "Black Box", aufgezeichnet [6]. Die größten Nachteile solcher Systeme sind jedoch die damit verbundenen hohen Kosten und die geringe Kundenakzeptanz, die eine großflächige und möglichst schnelle Verbreitung verhindern [7].

Moderne Smartphones bieten eine kostengünstige Alternative. Sie verfügen heutzutage über Sensoren, mit denen unter anderem Beschleunigungen, Drehbewegungen und Positionsdaten erfasst werden können [8]. Als ständiger Begleiter im Alltag werden sie von ihren Nutzern normalerweise stets mitgeführt und sind grundsätzlich auf eine einfache Bedienbarkeit und eine optimale Netzwerkfähigkeit zur schnellen und zuverlässigen Datenübertragung ausgerichtet. So werden sie häufig als Navigationssysteme verwendet, über die Informationen über Unfälle, Staus und Straßensperrungen sogar zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmern in Echtzeit ausgetauscht werden können [6]. Im Gegensatz zu fahrzeuginternen Sensoren, die nicht in jeder Alters- und Preisklasse von Fahrzeugen gleichermaßen vorhanden sind, zählen die genannten Sensoren schon länger zur Grundausstattung eines gewöhnlichen Smartphones. Während externe Hardware-Komponenten teilweise von ihren Anbietern installiert und gewartet werden müssen, lassen sich Anwendungsprogramme auf einem Smartphone einfach und schnell vom Nutzer selbst installieren.

III. FORSCHUNGSSTAND

Die Verwendung von Smartphone-Sensoren zur Entwicklung von Systemen, die das Verhalten von Nutzern erkennen oder Ereignisse in ihrer Umgebung erfassen, ist in der bisherigen Forschung bereits etabliert. In diesem Abschnitt wird

daher der Forschungsstand bezüglich der auf den Smartphone-Sensoren basierenden Analyse des Fahrverhaltens betrachtet.

Unterschiede zeigen sich dabei primär in den Untersuchungszielen, der spezifischen Auswahl der genutzten Sensoren und der Verfahren zur Datenerhebung und -auswertung. So setzt sich ein Großteil dieser Forschung vor allem mit Systemen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit oder der versicherungsspezifischen Klassifikation von Fahrstilen und Fahrertypen im Kontext der Risikoabschätzung auseinander. Dabei stehen verschiedene Arten von Smartphone-Sensoren zur Verfügung, die unterschiedlich eingesetzt werden. Zu den am häufigsten verwendeten Sensoren zählen Beschleunigungssensoren (Accelerometer), Drehratensensoren (Gyroskope), Gravitationssensoren sowie Magnetometer [1]. Der Beschleunigungssensor ist ein elektromechanisches Bauteil, mit dem Beschleunigungskräfte bei der Bewegung des Smartphones in Richtung von drei zueinander orthogonalen Achsen gemessen werden können. Mit dem Gyroskop lassen sich die Winkelgeschwindigkeiten um diese Achsen zur Berechnung der Ausrichtung des Smartphones verwenden. Diese beiden Komponenten werden beispielsweise standardgemäß für Funktionen wie das automatische Wechseln der Bildschirmanzeige vom Hoch- ins Querformat bei Drehung des Smartphones oder für bewegungsgesteuerte Spieleanwendungen eingesetzt [8]. Die Ausrichtung der Achsen ist in Abbildung 1 dargestellt.

Das Magnetometer kann unter anderem verwendet werden, um die Messung der Orientierung zu verbessern. Es ist jedoch empfindlich gegenüber Magneten und umgebenden Metallen, die Messwerte beeinflussen können [8]. Erweitert wird die Verwendung dieser Sensoren meist durch das interne GPS zur Standortlokalisierung. Seltener werden zusätzlich die internen Mikrofone, Front- oder Rückkameras zur Erfassung der Umgebung des Fahrzeuges oder der fahrenden Person verwendet.

Bergasa et al. [9] nutzten Accelerometer, Gyroskop, GPS und Front- sowie Rückkamera des Smartphones um ein System zu entwickeln, das unaufmerksames Fahrverhalten erkennt und dem Fahrer eine entsprechende Rückmeldung gibt. Dabei wurde die Rückkamera für die Erfassung der Straßenverhältnisse und die Frontkamera für die Überwachung des Zustandes des Fahrers verwendet. Dai et al. [10] entwickelten ein System zum Erkennen von Fahren unter Alkoholeinfluss mit Hilfe von Accelerometer und Gyroskop, bei dem ein Abgleich von Mustern in der lateralen und longitudinalen Beschleunigung durchgeführt wird. Weitere auf Smartphone-Sensoren basierende Assistenz- und Warnsysteme umfassen Systeme zur Kollisionsvermeidung sowie Spurhalteassistenten [9]. Zudem ließen sich Accelerometer, Gyroskop und GPS zur Ermittlung von Straßenzuständen und Anomalien an Fahrbahnoberflächen verwenden [11], [12].

Ein System, das in der Lage ist, Fahrmanöver selbständig zu erkennen und Fahrprofile zu erstellen, entwickelten Castignani et al. [7] auf Basis von Accelerometer, Magnetometer, Gravitationssensor und GPS. Um Fahrmanöver wie Abbiegen, Ausweichen vor Hindernissen, Fahrspurwechsel und Überholen zu klassifizieren, verwendeten Ramah et al. [8] Accelerometer, Gyroskop und GPS. Über das Accelerometer und primär die

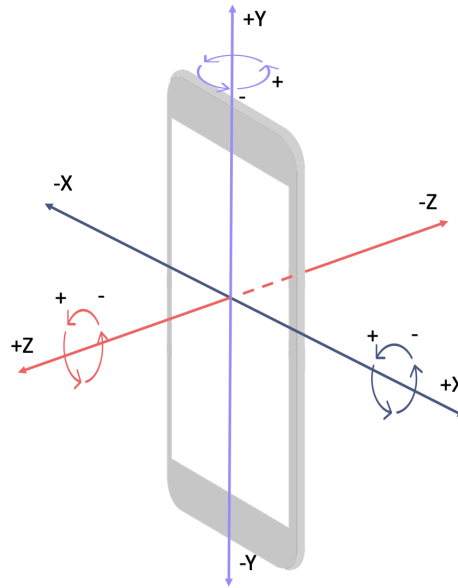


Abbildung 1. Darstellung der Achsenausrichtung von Accelerometer und Gyroskop.

laterale Beschleunigung entwickelten Xu et al. [13] ebenfalls ein System zur automatischen Erkennung von Spurwechseln und der aktuellen Fahrspur von Fahrzeugen auf Autobahnen.

IV. METHODIK UND FORSCHUNGSDESIGN

In diesem Abschnitt wird zunächst die für dieses Forschungsvorhaben entwickelte Anwendungssoftware zur Aufzeichnung von Sensordaten vorgestellt. Anschließend werden die Anforderungen und die Zusammenstellung einer geeigneten Aufzeichnungsstrecke erläutert. Der Fokus liegt dann auf dem Versuchsaufbau und der Durchführung von Aufzeichnungsfahrten sowie der Entwicklung eines mehrstufigen Kategoriensystems zur Kennzeichnung der Daten, bei welcher die aufgezeichneten Sensordaten den jeweiligen Fahrmanövern mit Hilfe des Videomaterials zugeordnet werden.

A. Anwendungssoftware zur Aufzeichnung der Sensordaten

Zur Aufzeichnung der Sensordaten wurde zunächst die Anwendungssoftware *SensorRec* für Smartphones mit dem Betriebssystem Android entwickelt. Mit dieser lassen sich die Daten von Accelerometer, Gyroskop und GPS sowie die systeminterne Zeit erfassen. Über das Accelerometer werden die Beschleunigungskräfte entlang der drei Achsen ohne Berücksichtigung der Gravitationskraft in Meter pro Quadratsekunde erfasst. Das Gyroskop dient der Messung der Rotationsgeschwindigkeit um die selben drei Achsen in Radiant pro Sekunde [15]. Die GPS-Daten umfassen Breitengrad, Längengrad, Höhenmeter, die Genauigkeit als geschätzten horizontalen Genauigkeitsradius in Meter sowie die Geschwindigkeit in Meter pro Sekunde. Aktualisiert werden die Daten von Accelerometer und Gyroskop in einem Intervall von zweihundert Millisekunden, die Daten des GPS in einem Intervall von drei Sekunden. Zwar ist es grundsätzlich möglich, die

Standortdaten in einem kürzeren Intervall zu aktualisieren, jedoch geht dies mit einem höheren Energieverbrauch einher und beeinträchtigt die Akkulaufzeit des Smartphones erheblich. Aus diesem Grund wurden zur Abstimmung dieser Einstellungen zuvor Testfahrten durchgeführt. Die Aufzeichnung der aktuellsten Sensor- und GPS-Daten sowie der Systemzeit erfolgt in einem Intervall von fünfhundert Millisekunden. Die Benutzeroberfläche der Anwendung verfügt über Funktionen zum Starten und Beenden der Aufzeichnung, Zurücksetzen der Aufzeichnungsdaten, Aktivieren der Standortaufzeichnung sowie zum Exportieren der aufgezeichneten Daten im csv-Format.

B. Konzeptionierung der Aufzeichnungsstrecke

Das primäre Ziel der Aufzeichnung ist es, das natürliche Fahrverhalten von Personen in einer echten Umgebung und unter normalen Umwelteinflüssen zu erfassen, um anschließend zwischen der Ausführung von Fahrmanövern unterscheiden zu können. Daher sind zunächst spezifische Anforderungen an die Aufzeichnungsstrecke zu stellen. So ist es für diesen Zweck erforderlich, dass die Aufzeichnung im öffentlichen Verkehr und nicht auf abgesperrten oder künstlichen Strecken stattfindet. Um eine umfangreiche Klassifikation zu ermöglichen, müssen auf der Strecke möglichst viele verschiedene Verkehrs-, Umgebungs- und Fahrsituationen vorkommen können. Des Weiteren sollte sie verschiedene Straßentypen, Geschwindigkeitsabschnitte sowie unterschiedliche Verkehrsdichten und Fahrbahnbreiten umfassen, da diese den Verkehrsfluss und das Fahrverhalten maßgeblich beeinflussen [16]. Da sich die fahrenden Personen der Aufzeichnung bewusst sind, sollte die Strecke außerdem lang genug sein, damit bestenfalls ein Gewöhnungseffekt der Personen an die Aufzeichnungssituation eintreten kann und das natürliche Verhalten so stark wie

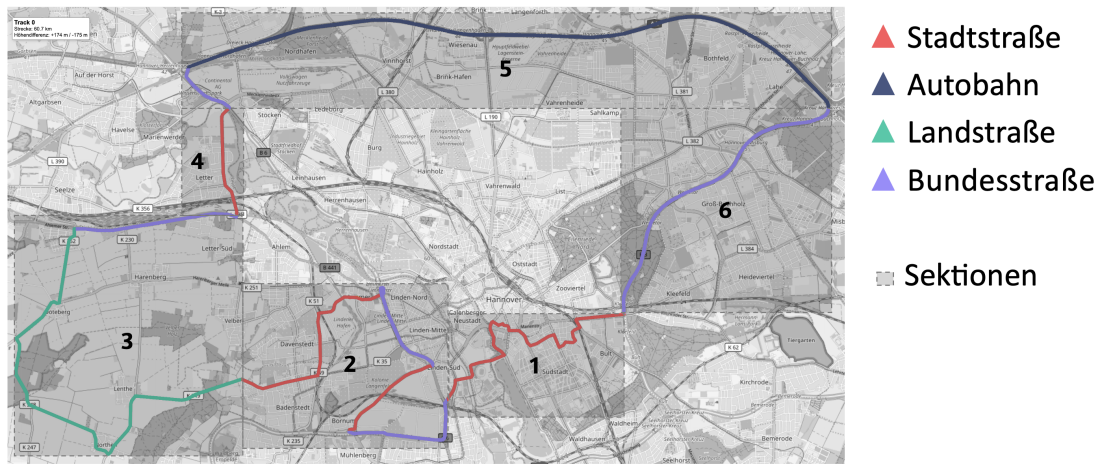


Abbildung 2. Aufzeichnungstrecke mit der Markierung von Straßentypen und Sektionen. Kartenmaterial angepasst von [14].

möglich zum Vorschein kommt. Zugleich ist der Umfang der Strecke jedoch so zu wählen, dass sie leicht reproduziert werden kann, um eine Replikation oder Erweiterung des Forschungsvorhabens zu ermöglichen. Um diesen Aspekt hervorzuheben und die Vergleichbarkeit des Fahrverhaltens anhand von Teilabschnitten der Strecke zu vereinfachen, kann die Strecke zudem in einzelne Sektionen eingeteilt werden. Bei der Wahl der Strecke kann außerdem von Bedeutung sein, ob die für die Fahrten vorgesehenen Personen eine ihnen bereits bekannte oder unbekannte Umgebung befahren. Es bleibt zu untersuchen, ob Personen ein anderes Fahrverhalten aufweisen, wenn sie ihnen unbekannte Straßenabschnitte erstmalig befahren und sich den verkehrstechnischen Gegebenheiten nicht a priori vollumfänglich bewusst sind.

Für dieses Forschungsvorhaben wurde eine Aufzeichnungstrecke mit einer Länge von 60,7 Kilometer zusammengestellt. Diese umfasst zu möglichst gleichen Verhältnissen die Straßentypen Stadtstraße, Autobahn, Landstraße und Bundesstraße (siehe Abbildung 2). Sie führt durch städtisches Wohngebiet, Wohngebiete in Vororten, Innenstadtbereiche, Gewerbe- und Industriegebiete sowie ländliche Umgebungen und Dörfer. Zudem wurde sie in sechs verschiedene Sektionen unterteilt. Auf Erfahrungswerten beruhend wurden dabei bewusst mehrere spezifische Wegpunkte gewählt, an denen mit einem besonders hohen Verkehrsaufkommen oder gewissen Fahrmanövern wie dem Durchfahren von Kreisverkehr, dem Abbiegen auf Kreuzungen oder Spurwechseln zu rechnen ist.

C. Versuchsaufbau und Durchführung der Aufzeichnungsfahrten

Zur Aufzeichnung der Sensordaten während der Fahrt wurde das Smartphone über eine an der Windschutzscheibe befestigte Halterung in der Mitte des Fahrzeuges oberhalb der Mittelkonsole platziert. Im Gegensatz zu Halterungen, die direkt an den Amaturen, der Mittelkonsole oder Lüftungsschlitzen von Fahrzeugen befestigt werden, lässt sich diese Art der Befestigung unabhängig vom Fahrzeugmodell verwenden. Die Ausrichtung des Smartphones wird in Abbildung 3 dargestellt.

Dabei wurde zudem eine Dashcam an ähnlicher Position befestigt und verwendet, um das Videomaterial der Fahrt für die spätere Zuordnung der Fahrmanöver zu den Sensordaten aufzuzeichnen.

Durchgeführt wurden die Aufzeichnungen mit drei verschiedenen Personen, die jeweils mit ihrem eigenen, gewohnten Fahrzeug gefahren sind. Die Aufzeichnungsfahrten fanden zu möglichst ähnlichen Wetterbedingungen und Tageszeiten statt. Allen Personen war ein Großteil der Strecke und Umgebung bereits bekannt. Über den genauen Verlauf wurden sie vor der Durchführung aufgeklärt. Während der Fahrt erhielten sie Navigationsanweisungen vom Beifahrer. Neben der Strecke selbst gab es für sie keine weiteren Vorgaben.

D. Kategoriensystem und Kennzeichnung von Fahrmanövern

Anhand der Aufzeichnungen und dem Videomaterial wurden die Sensordaten anschließend den jeweiligen Fahrmanövern zugeordnet. Dafür wurde ein mehrstufiges Kategoriensystem entwickelt. Ergänzt wurde dies über die Umgebungsvariablen Sektion und Straßentyp sowie die Variablen Fahrzeug und anonymisierte Person. Die Zuordnung von Sektion und Straßentyp soll ebenso wie die GPS-Daten eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Fahrten oder Personen innerhalb von bestimmten Abschnitten und Umgebungen ermöglichen.

Die Kennzeichnungsstrategie wird in Abbildung 4 dargestellt. Das Kategoriensystem setzt sich aus zwei hierarchischen Stufen unterschiedlicher Granularität zusammen. So kann sich ein Manövertyp aus verschiedenen Manöverelementen zusammensetzen, die sowohl unterschiedlich ausgeprägt und kombiniert sein können. Die zwölf verschiedenen Fahrmanövertypen werden wie folgt definiert.

- 1) **Abbiegen** ist die Fahrtrichtungsänderung nach links oder rechts an Kreuzungen und Einmündungen. Sie beginnt bereits bei Eintritt in den Kreuzungs- oder Einmündungsbereich und wird auch beim Stand durch das Gewähren von Vorfahrt oder Ähnlichem fortgesetzt, bis der Vorgang abgebrochen oder der Bereich wieder verlassen wird.

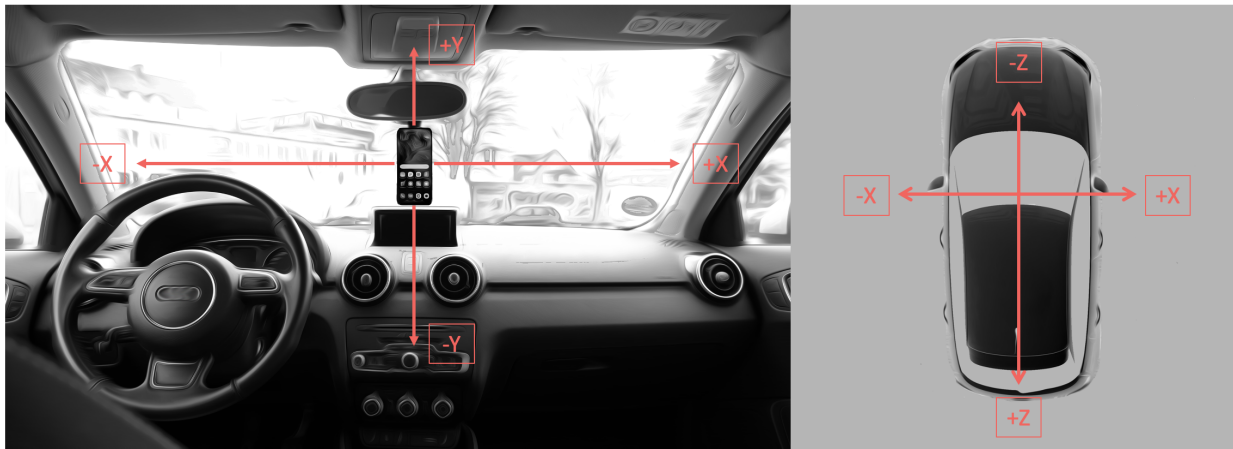


Abbildung 3. Positionierung und Ausrichtung des Smartphones mit Markierung der Sensor-Achsen.

- 2) *Fahren durch Kurven* ist definiert als das Durchfahren von ununterbrochenen und streckenbedingten links- oder rechtsgerichteten Kurven. Es ist von Abbiegevorgängen an Kreuzungen zu trennen.
 - 3) *Kontinuierliches Fahren* bezieht sich auf gleichmäßiges, ununterbrochenes Fahren, bei dem auch Beschleunigungs- und Verlangsamungsvorgänge stattfinden können.
 - 4) *Durchfahren ampelloser Kreuzungen* umfasst das vollständige Durchfahren einer Kreuzung ohne Ampeln, bei welchem die kontinuierliche Fahrt wesentlich beeinflusst und zugleich kein Wechsel der Fahrtrichtung durch Abbiegen vorgenommen wird. Dies kann mögliche Brems- und Beschleunigungsvorgänge sowie den Stand und das Anfahren aus dem Stand umfassen, sofern diese Vorgänge als Bestandteil des Gesamtmanövers stattfinden.
 - 5) *Durchfahren eines Kreisverkehrs* beginnt bei der Einfahrt in den Kreisverkehr und endet bei Abschluss der Ausfahrt aus einem Kreisverkehr unabhängig von der genommenen Ausfahrt.
 - 6) *Zielgerichtetes Bremsen* ist als Bremsen aufgrund von Ampeln, vorausfahrenden Fahrzeugen, Hindernissen oder zum Halten definiert. Es bezeichnet Vorgänge, bei denen das Bremsen als eigenes, von anderen Manövertypen unabhängiges Manöver angesehen werden kann. Daher unterscheidet es sich vom Bremsen als Element in Manövern wie dem Abbiegen oder Durchfahren von Kreuzungen.
 - 7) *Spurwechsel* beschreiben Wechsel einer klar definierten Fahrspur nach links oder rechts ohne erkennbare Absicht des Überholens einzelner Fahrzeuge.
 - 8) *Überholen* bezieht sich auf das Überholen eines anderen Fahrzeuges durch Spurwechsel und einen möglichen Spurwechsel zurück zur Ausgangsspur. Das Überholen von Fahrzeugen, die bereits auf einer anderen Spur fahren, ist davon ausgeschlossen.
 - 9) *Auffahren über Beschleunigungstreifen* beschreibt den Vorgang über einen Beschleunigungstreifen beispielsweise auf Bundesstraßen und Autobahnen aufzufahren. Es geht erfahrungsgemäß mit starker Beschleunigung einher.
 - 10) *Abfahren über Verzögerungstreifen* beschreibt den Vorgang über einen Verzögerungstreifen beispielsweise von Bundesstraßen und Autobahnen abzufahren. Es erfordert häufig ein stärkeres Verlangsamen des Fahrzeuges.
 - 11) *Stand* ist der Stillstand des Fahrzeuges der nicht als Element eines anderen Manövers wie beispielsweise während dem Linksabbiegen, beim Warten auf vorbeiziehenden Gegenverkehr, vorkommt.
 - 12) *Anfahren aus dem Stand* ist definiert als das in Bewegung setzen des Fahrzeuges, wenn es nicht als Element in einem anderen Manöver wie dem Abbiegen durchgeführt wird.
- Diese Fahrmanövertypen bestehen immer aus mindestens einem der folgenden fünf Manöverelemente.
- 1) *Anfahren* ist das generelle in Bewegung setzen des Fahrzeuges aus dem Stand, unabhängig davon, ob es beispielsweise im Fahrmanöver *Anfahren aus dem Stand* oder *Abbiegen* vorkommt.
 - 2) *Beschleunigen* ist das erkennbare Erhöhen der Geschwindigkeit.
 - 3) *Geschwindigkeit halten* ist ein möglichst gleichmäßiger Vorgang, in dem kein starkes Beschleunigen oder Verlangsamen zu erkennen ist. Abweichungen in der Geschwindigkeit sind relativ der Ausgangsgeschwindigkeit zu tolerieren.
 - 4) *Verlangsamen* ist die erkennbare, leichte Verringerung der Geschwindigkeit.
 - 5) *Bremsen* ist die stärkere Verringerung der Geschwindigkeit oder die Verringerung der Geschwindigkeit bis zum Stand.
- Wie zu sehen ist, können die Elemente *Anfahren* und *Bremsen* je nach Kontext als eigenständige Manöver *Anfahren aus dem Stand* und *zielgerichtetes Bremsen* vorkommen. Diese Vorgänge sowohl auf der Ebene der Manövertypen als auch

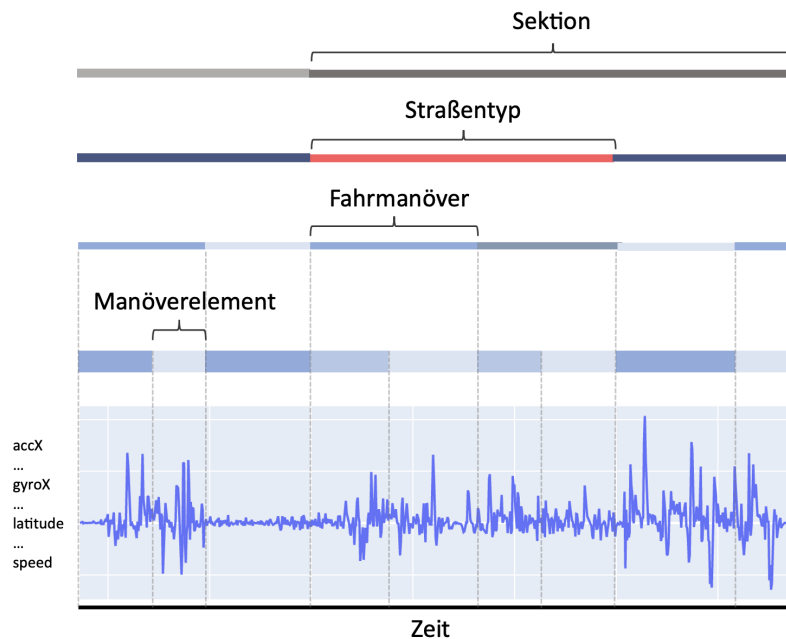


Abbildung 4. Mehrstufige Kennzeichnungsstrategie zur Zuordnung der Fahrmanöver, Manöverelemente und Kontextdaten.

der Elemente nutzen zu können und sie über ihre Definition an unterschiedliche Bedingungen zu knüpfen, ist notwendig, um umfangreichere Manöver nicht aufzuspalten. Dieses mehrstufige Kategoriensystem zu verwenden, liegt der Beobachtung zu Grunde, dass ein Fahrmanöver wie das *Abbiegen* je nach Verkehrssituation beispielsweise aus Elementen wie *Bremsen*, *Stand* und *Anfahren* oder auch aus *Verlangsamen* und *Beschleunigen* bestehen kann. Auf diese Weise können sowohl komplette Fahrmanöver als auch ihre einzelnen Bestandteile analysiert und klassifiziert werden. So lässt sich beispielsweise das Element *Bremsen* beim *Abbiegen* mit dem beim *Fahren durch Kurven* vergleichen.

V. ERGEBNISSE

Die Zuordnung der Manövertypen und -elemente sowie der Kontextdaten Straßentyp, Sektion, Fahrer und Fahrzeug zu den aufgezeichneten Sensordaten hat zu einem gekennzeichneten Datensatz mit insgesamt 934 identifizierten Fahrmanövern geführt (siehe Tabelle 1). Wird der Manövertyp *Stand* ausgeschlossen, verbleiben 849 Manöver.

Zu den am häufigsten identifizierten Fahrmanövern zählen *kontinuierliches Fahren* sowie *zielgerichtetes Bremsen*. Am seltensten wurden hingegen die Manövertypen *Überholen* und *Auffahren über Beschleunigungsstreifen* erfasst.

Ohne Berücksichtigung des Types *Stand* erfolgten 463 der Fahrmanöver auf Stadtstraßen, 163 auf Bundesstraßen, 121 auf Landstraßen und 102 auf der Autobahn. Dabei liegt die Anzahl der identifizierten Fahrmanöver bei 283 für Person eins, 293 für Person zwei und 273 für Person drei.

VI. DISKUSSION

Der auf Smartphone-Sensoren basierende Ansatz der Fahrmanöverklassifikation geht mit einigen Herausforderungen und

Einschränkungen einher. Im folgenden Abschnitt wird daher sowohl der allgemeine Ansatz als auch die Validität dieser Arbeit diskutiert.

A. Herausforderungen der Smartphone-Telematik

Wie in Abschnitt zwei erläutert, liegt ein wesentlicher Vorteil der Verwendung von Smartphone-Sensoren in der einfachen und schnellen Installation der für die Aufzeichnung nötigen Anwendungsprogramme. Da Nutzer ihr Smartphone jedoch bei diesem Ansatz für jede Fahrt erneut an der richtigen Stelle positionieren und ausrichten müssen, besteht die Gefahr, dass die Aufzeichnungen dadurch verfälscht werden [1]. Je nachdem, wie stabil das Smartphone in der Halterung befestigt wird, kann zudem das Risiko bestehen, dass sich die Position bei starken Erschütterungen, die beispielsweise durch Schlaglöcher oder Bodenschwellen hervorgerufen werden, verändert. Die Verwendung des Smartphones durch den Fahrer für andere Zwecke, wie das Abspielen von Musik, die Routennavigation oder die Kommunikation ist ein weiterer Faktor, der berücksichtigt werden muss. Zu beachten ist auch, dass Personen sich möglicherweise davon ablenken lassen, wenn sich das Smartphone für die Aufzeichnung in ihrem Sichtfeld befindet.

Zwar bietet die Verwendung von Smartphones eine kostengünstige Alternative zu externen Hardware-Komponenten, jedoch ist die Qualität und Genauigkeit der Sensoren vom Hersteller und Zustand des Smartphones abhängig und lässt sich nicht direkt feststellen. Werden Accelerometer mit leichten Messabweichungen über einen längeren Zeitraum verwendet, kann dies zu einem akkumulierten Fehlereffekt führen [1]. Da der Produktlebenszyklus von Smartphones deutlich kürzer als der von Fahrzeugen ist [6] und sowohl Software

Manövertypen	Person 1	Person 2	Person 3	Summe
<i>Abbiegen links</i>	13	13	13	39
<i>Abbiegen rechts</i>	12	12	12	36
<i>Kurve links</i>	20	25	23	68
<i>Kurve rechts</i>	21	22	24	67
<i>Spurwechsel links</i>	17	20	15	52
<i>Spurwechsel rechts</i>	15	19	14	48
<i>Überholen</i>	2	1	1	4
<i>Anfahren aus Stand</i>	26	21	23	70
<i>Durchfahren ampelloser Kreuzungen</i>	6	6	7	19
<i>Durchfahren eines Kreisverkehrs</i>	3	3	3	9
<i>Zielgerichtetes Bremsen</i>	39	38	36	113
<i>Auffahren über Beschleunigungsstreifen</i>	1	1	1	3
<i>Abfahren über Verzögerungsstreifen</i>	3	3	3	9
<i>Kontinuierliches Fahren</i>	105	109	98	312
<i>Stand</i>	27	31	27	85

Tabelle 1. Übersicht der gekennzeichneten Fahrmanöver des gesamten Datensatzes. Insgesamt wurden 934 Manöver identifiziert.

als auch Hardware in sehr geringen Zeitabständen erneuert oder aktualisiert werden, ist es außerdem erforderlich, eine Kompatibilität für unterschiedlichste Modelle, Betriebssystem und Softwareversionen zu gewährleisten.

Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass die Aufzeichnung von Standortdaten mittels GPS zu einem hohen Energieverbrauch führt und sich somit stark auf die Akkulaufzeit des Smartphones auswirkt [6]. Es ist davon auszugehen, dass dieser Aspekt für die Nutzer eine besonders wichtige Rolle spielt, da diese das Smartphone in der Regel über den Tag verteilt für weitere Aktivitäten verwenden möchten. Des Weiteren ist die Genauigkeit des GPS inkonsistent und kann beispielsweise innerhalb von Tunneln und Parkgaragen zu Fehlern oder Aussetzern führen [1].

Einige der in Abschnitt drei beschriebenen Anwendungen [7], [9], [10] setzen sich mit dem Erkennen von ungewöhnlichen Mustern im Fahrverhalten auseinander. Ungewöhnliche Aktionen wie beispielsweise ein äußerst starkes und abruptes Bremsen sind jedoch nicht immer auf ihre tatsächliche Ursache zurückzuführen [1]. So kann es vorkommen, dass eine Person eine solche Aktion zum Verhindern eines Unfalles durchführt, welcher durch das Fehlverhalten einer anderen Person entstanden wäre. Würden Nutzer von verhaltensbasierten Versicherungstarifen aufgrund solcher Situationen einen Nachteil befürchten, würde sich dies unmittelbar auf die Akzeptanz dieser Systeme auswirken. Verhaltensbasierte Tarife werden im Zusammenhang mit Diskriminierung, unverhältnismäßiger Benachteiligung und einem Rückgang an Solidarität bereits in Gesellschaft und Wissenschaft diskutiert [17].

Die Erstellung von Trainingsdaten durch Aufzeichnungsfahrten und die manuelle Kennzeichnung von Fahrmanövern geht ebenfalls mit Herausforderungen einher. Neben den entstehenden Kosten bei Aufzeichnungsfahrten steigt der Zeitaufwand umso stärker, je genauer, umfangreicher und granularer die Zuordnung der Sensordaten zu einem Kategoriensystem sein soll. Zudem ist die Genauigkeit und Qualität

von der Interpretation der Personen, welche die Zuordnung durchführen, abhängig. So kann es zu Verkehrs- und Fahr-situationen kommen, die unterschiedlich zugeordnet werden. Ebenso sind die Fahrmanöver nicht immer eindeutig voneinander abzugrenzen. In diesem Kontext ist es daher notwendig, das Kategoriensystem sehr genau zu definieren und Kategorien zu verwenden, die sich so gut wie möglich trennen lassen. Im realen Straßenverkehr kann es dennoch dazu kommen, dass sich Fahrmanöver gegenseitig beeinflussen oder Situationen eintreten, die aufgrund ihrer Eigenart mehreren Kategorien zugeordnet werden können. Dies hat in dieser Forschungsarbeit dazu geführt, dass trotz gleicher Strecke Fahrmanöver wie das *Fahren durch Kurven* bei den einzelnen Fahrten unterschiedlich häufig zugeordnet wurden. Ein solcher Umstand zeigte sich beispielsweise an einem Streckenabschnitt, bei dem eine sehr kurze Kurve durch eine Ampel unterbrochen wird, die im Falle einer Rotphase zu den Manövern *zielgerichtetes Bremsen*, *Stand* und *Anfahren aus dem Stand* führt.

Wird die Kennzeichnung von mehreren Personen durchgeführt, kann ein Reliabilitätstest als notwendig betrachtet werden, erhöht jedoch zusätzlich den Zeitaufwand.

B. Validität

Aufgrund des Umfangs dieser Arbeit konnten insgesamt nur drei verschiedene Aufzeichnungsfahrten durchgeführt werden. Die geringe Fallzahl lässt daher keine Generalisierbarkeit zu. Mit einem Alter von 27 bis 31 Jahren wurden zudem ausschließlich Versuchspersonen aus einer Altersgruppe erfasst, dessen Fahrverhalten sich möglicherweise von anderen Altersgruppen unterscheidet. Eine externe Validität ist folglich kaum gegeben.

Des Weiteren wurden Fahrmanövertypen wie *Überholen*, *Auffahren über Beschleunigungsstreifen*, *Abfahren über Verzögerungsstreifen* und *Durchfahren von Kreisverkehr* nicht in einer für eine Vergleichbarkeit ausreichenden Anzahl durchgeführt. Ebenso konnten nicht alle Fahrmanöver und Verkehrssituationen, zu denen es bei gewöhnlichen Fahrten kom-

men kann, erfasst werden. Ausweich- oder Wendemanöver wurden beispielsweise nicht durchgeführt. Umwelteinflüsse wie schlechte Wetterverhältnisse, äußerst starker Regen, Nebel oder Dunkelheit, die das Fahrverhalten möglicherweise wesentlich beeinflussen können, sind ebenfalls nicht vorgekommen.

Bei der Einordnung und Interpretation der aufgezeichneten Daten ist außerdem der Aspekt der sozialen Erwünschtheit zu beachten. Zwar ist bei der Länge und Dauer der Aufzeichnungsfahrten davon auszugehen, dass ein gewisser Effekt der Gewöhnung an die Aufzeichnungssituation bei den Versuchspersonen eintritt, jedoch befanden sich die Aufzeichnungsgeräte dauerhaft in ihrem Blickfeld. Zudem waren sie sich der Art der späteren Verwendung der Daten bewusst. Das aufgrund der Komplexität der Strecke die Anwesenheit des Forschenden für Navigationshinweise erforderlich war, ist in diesem Kontext gleichermaßen von Bedeutung. Es ist zu vermuten, dass sich Personen beim Fahren anders verhalten, wenn sie in Begleitung sind. Wie in Kapitel vier bereits erwähnt, könnte es für das aufgezeichnete Fahrverhalten ebenfalls von Bedeutung sein, ob die Personen eine ihnen bereits bekannte oder völlig unbekannte Strecke fahren. In dieser Arbeit waren den Versuchspersonen die Umgebung und die verkehrstechnischen Gegebenheiten der Strecke größtenteils aufgrund der Nähe zu ihrem Wohnort bekannt. Der Verlauf der Strecke wurde ihnen jedoch erst kurzfristig mitgeteilt, sodass sie diesen nicht während der Fahrt selbstständig replizieren konnten. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass die Aufzeichnung nur teilweise das Fahrverhalten umfasst, das Personen zeigen, wenn sie eine Strecke aus Gewohnheit fahren. Aufgrund der Situation lag eine besondere Aufmerksamkeit auf dem Streckenverlauf. So wie der Aspekt der sozialen Erwünschtheit kann dies die interne Validität beeinflusst haben.

Die Zuordnung der Fahrsituationen zum Kategoriensystem wurde lediglich von einer Person durchgeführt, sodass ihre Interpretation maßgeblichen Einfluss auf die Qualität und Genauigkeit der Ergebnisse hatte.

VII. AUSBLICK

Diese Arbeit zeigt, wie sich Daten über das tatsächliche Fahrverhalten von Personen in einem realen Szenario über einfache technische Mittel erfassen und sich verschiedenen Fahrmanövern zuordnen lassen. Dabei bietet der forschungstechnische Ansatz ebenso wie der aus der Arbeit resultierende gekennzeichnete Datensatz eine Grundlage für weitere Untersuchungen.

Zwar geht mit der manuellen Zuordnung von Fahrmanövern zur Erstellung von Trainingsdaten ein immenser Zeitaufwand einher, die Verwendung einer Smartphone-App zur Durchführung von Aufzeichnungsfahrten erfordert jedoch nur geringe Voraussetzungen und Kosten. Dieser forschungstechnische Ansatz ist folglich einfach zugänglich und replizierbar. Ein Faktor, den es weiterhin zu untersuchen gibt, bleibt allerdings die Positionierung des Smartphones, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass Nutzer eine stets gleichbleibende Positionierung bei alltäglichen Fahrten vornehmen.

Es ist folglich eine Lösung zu finden, die eine genauere Langzeitbetrachtung des Fahrverhaltens ermöglicht.

Das Forschungsdesign wurde bewusst darauf ausgerichtet, dass sich der Datensatz erweitern lässt. So kann die Smartphone-Anwendung *SensorRec* nicht nur dafür genutzt werden, neue Daten aufzuzeichnen, die automatisiert klassifiziert werden sollen, sondern ebenfalls zur Aufzeichnung von Trainingsdaten weiterer Fahrer oder Strecken. Es empfiehlt sich die Durchführung weiterer Aufzeichnungsfahrten, um die Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Fahrern oder Gruppen zu erhöhen sowie unterrepräsentierte Fahrmanöver, Verkehrssituationen oder Umgebungsbedingungen zu erfassen.

Dieser Ansatz kann zudem auch für neue Strecken gewählt werden, bei denen die Anwesenheit von Beifahrern für Navigationshinweise nicht erforderlich wird und Fahrer sich alleine im Fahrzeug befinden. Auf diese Weise lässt sich dem Aspekt der sozialen Erwünschtheit entgegen wirken.

In der weiteren Forschung sollte untersucht werden, welche Methoden und Verfahren sich eignen, um anhand der aufgezeichneten Daten Modelle zur automatisierten Fahrmanöverklassifikation zu erstellen. Dabei ist herauszuarbeiten, welche der Sensoren und Variablen für die Differenzierung der verschiedenen Manövertypen- und elemente entscheidend sind. Auf neuronalen Netzen basierende Methoden wurden bereits häufiger, wie von Bejani und Ghatee [2] oder Ramah et al. [8], zur Klassifikation von Fahrmanövern verwendet. Da sich ihre Ergebnisse jedoch schwer nachvollziehen lassen, empfiehlt sich die Untersuchung von Methoden, die eine bessere Erklärbarkeit ermöglichen. Die Verwendung von regelbasierten Verfahren des maschinellen Lernens zur Fahrmanöverklassifikation zeigen Haque et al. [18]. In diesem Kontext ist zu untersuchen, inwiefern beispielsweise Entscheidungsbäume genutzt werden können, um eine bessere Übertragbarkeit der Fahrmanöver, die eine Person durchführt, zu einem bestimmten Risikoprofil zu ermöglichen. Dass diese Methoden im Rahmen von Telematik-Tarifen bei Versicherungen möglichst nachvollziehbar sein müssen, ist nicht nur zu berücksichtigen, um das Vertrauen von Kunden in diese Angebote zu stärken, sondern kann zukünftig zudem aus regulatorischen Gründen notwendig sein. Der verstärkte Einsatz von datengetriebenen Techniken zur Personalisierung von Versicherungsprodukten geht sowohl mit technischen als auch gesellschaftlichen und regulatorischen Herausforderungen einher [17]. Es ist also davon auszugehen, dass die Relevanz dieses Forschungsfeldes weiterhin zunimmt und die genannten Aspekte unter Berücksichtigung der vielschichtigen Veränderungen im Umgang mit neuen Technologien und der automatisierten Verarbeitung personenbezogener Daten untersucht werden müssen.

LITERATUR

- [1] T. K. Chan, C. S. Chin, H. Chen, and X. Zhong, "A comprehensive review of driver behavior analysis utilizing smartphones," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, pp. 4444–4475, 10 2020.

- [2] M. M. Bejani and M. Ghatee, "Convolutional neural network with adaptive regularization to classify driving styles on smartphones," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 21, pp. 543–552, 2 2020.
- [3] J. Geyer, Y. Kassahun, M. Mahmudi, X. Ricou, R. Durgesh, A. S. Chung, L. Hauswald, V. H. Pham, M. Mühlegg, S. Dorn, T. Fernandez, M. Jänicke, S. Mirashi, C. Savani, M. Sturm, O. Vorobiov, M. Oelker, S. Garreis, and P. Schuberth, "A2D2: Audi Autonomous Driving Dataset," 2020.
- [4] A. B. Ellison, S. P. Greaves, and M. C. Bliemer, "Driver behaviour profiles for road safety analysis," *Accident Anal. Prevention*, vol. 76, pp. 118–132, 2015.
- [5] S. Klauer, T. Dingus, V. Neale, J. D. Sudweeks, and D. J. Ramsey, "Comparing real-world behaviors of drivers with high versus low rates of crashes and near crashes," *National Highway Traffic Safety Administration*, 2009.
- [6] J. Wahlstrom, I. Skog, and P. Handel, "Smartphone-based vehicle telematics: A ten-year anniversary," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, pp. 2802–2825, 10 2017.
- [7] G. Castignani, T. Derrmann, R. Frank, and T. Engel, "Driver behavior profiling using smartphones: A low-cost platform for driver monitoring," *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 7, pp. 91–102, 1 2015.
- [8] S. E. Ramah, A. Bouhoute, K. Boubouh, and I. Berrada, "One step further towards real-time driving maneuver recognition using phone sensors," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 22, pp. 6599–6611, 10 2021.
- [9] L. M. Bergasa, D. Almeria, J. Almazan, J. J. Yebes, and R. Arroyo, "Drivesafe: An app for alerting inattentive drivers and scoring driving behaviors," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, pp. 240–245, 2014.
- [10] J. Dai, J. Teng, X. Bai, Z. Shen, and D. Xuan, "Mobile phone based drunk driving detection," *2010 4th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, Pervasive Health 2010*, 2010.
- [11] V. Douangphachanh and H. Oneyama, "A study on the use of smartphones for road roughness condition estimation," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 10, pp. 1551–1564, 2013.
- [12] A. Basavaraju, J. Du, F. Zhou, and J. Ji, "A machine learning approach to road surface anomaly assessment using smartphone sensors," *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, pp. 2635–2647, 3 2020.
- [13] X. Xu, J. Yu, Y. Zhu, Z. Wu, J. Li, and M. Li, "Leveraging smartphones for vehicle lane-level localization on highways," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 17, pp. 1894–1907, 8 2018.
- [14] Heidelberg Institute for Geoinformation Technology, "openrouteservice." <https://maps.openrouteservice.org>.
- [15] Google Ireland Limited, "Android Developers Documentation." <https://developer.android.com/docs>, 2023.
- [16] R. Berger, "Modelle zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Landstraßen," *Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr*, vol. 17, 5 2016.
- [17] G. Meyers and I. V. Hoyweghen, "'Happy failures': Experimentation with behaviour-based personalisation in car insurance," *Big Data and Society*, vol. 7, 1 2020.
- [18] M. M. Haque, S. Sarker, M. Ali, and A. Dewan, "Driving maneuver classification from time series data: a rule based machine learning approach," *Applied Intelligence* 2022, pp. 1–16, 3 2022.