

Einsatz von Biosensoren im Automotive-Bereich am Beispiel des eCall-Systems

Monja Markowitsch
Fakultät Informatik
Hochschule Furtwangen
Furtwangen, Germany
monja.christine.markowitsch@hs-furtwangen.de

Tim Steininger
Fakultät Informatik
Hochschule Furtwangen
Furtwangen, Germany
tim.steininger@hs-furtwangen.de

Mert Daglar
Fakultät Informatik
Hochschule Furtwangen
Furtwangen, Germany
mert.daglar@hs-furtwangen.de

Philipp Wiloth
Fakultät Informatik
Hochschule Furtwangen
Furtwangen, Germany
philipp.wiloth@hs-furtwangen.de

Abstract — Vernetzte Systeme in Fahrzeugen dienen vor allem der Erhöhung der Sicherheit, Effizienz und dem Komfort im Straßenverkehr sowie der Reduzierung der Umweltbelastung. Ein Beispiel hierfür bietet das sogenannte eCall-System, welches seit März 2018 in allen Neuwägen verpflichtend verbaut werden muss. Dabei setzt das System nach einem Verkehrsunfall einen automatisierten Notruf ab, bei welchem Daten zum Standort, zur Uhrzeit, zur Fahrtrichtung sowie zur Fahrzeugbeschreibung übermittelt werden. Anhand der dadurch resultierenden Erhöhung der Reaktionszeit der Einsatzkräfte um 40 Prozent bis 50 Prozent, können sowohl Menschenleben gerettet als auch eine schnellere Behandlung an Verletzten durchgeführt werden. Trotz der schnelleren Reaktionszeiten ist die Anzahl an verletzten und getöteten Personen im Straßenverkehr annäherungsweise konstant geblieben. Daher stellt sich zunehmend die Frage, ob bestimmte Arten von Verkehrsunfällen, wie z.B. Unfälle aufgrund von Alkoholeinfluss oder Sekundenschlaf, mit Unfallpräventionssystemen verhindert werden können. Hierzu stellt dieses Paper ein Konzept in Form eines UseCase- und Aktivitätsdiagrammes dar, bei welchem die Überwachung der Vitaldaten mit Hilfe von Biosensoren in das bereits existierende eCall-System integriert wird. Dabei werden zu Beginn dieses Papers die theoretischen Grundlagen erläutert. Im Anschluss daran werden psychische und physische Faktoren im Straßenverkehr sowie die Messung dieser mit Hilfe von Vitaldaten aufgezeigt. Daraufhin wird das Prinzip des Gehörgangsensor erörtert, der als Grundlage zur Bearbeitung des Konzeptes dient. Nachfolgend wird das Konzept aufgezeigt und erläutert. Am Ende dieses Papers werden die wesentlichen Ergebnisse in prägnanter Form dargestellt und im Anschluss kritisch hinterfragt. (Abstract)

Keywords — *Biosensoren, Vitaldaten, Vitaldaten-Überwachung, eCall-System, Prävention, Verkehrsunfall (key words)*

I. EINFÜHRUNG

A. Problemstellung und Zielsetzung

Der Sicherheit im Straßenverkehr wird ein hoher Stellenwert zugesprochen. Daher werden aufgrund der technologischen Entwicklung ständig neue Systeme, welche der Verkehrssicherheit dienen, in Fahrzeugen etabliert. Als Beispiel kann hier das sogenannte eCall-System genannt werden, welches nach Registrierung eines Aufpralls des Fahrzeuges einen automatischen Notruf absetzt. Dabei verfolgt es das Ziel, schneller medizinische Hilfe am Unfallort bereitzustellen.

Hier besteht jedoch das Problem, dass erst Unfälle, mit potenziellen Folgeunfällen, registriert werden müssen, bevor ein Notruf abgesetzt wird. Ziel dieser Arbeit ist es daher, einen möglichen Ansatz zur Etablierung von Biosensoren in das eCall-System aufzuzeigen, um bestimmte Arten von Verkehrsunfällen (z.B. aufgrund von Trunkenheit, eines Herzinfarktes, etc.) präventiv verhindern zu können.

B. Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in vier Kapitel: Mit Kapitel 1 – Einführung, wird die Problemstellung erläutert sowie der Aufbau der Arbeit dargestellt. Kapitel 2 – Konzeptionelle Grundlagen, dient als Basis für die Ausarbeitung. Als erstes wird der Begriff Biosensor definiert und die generelle Funktionsweise erläutert. Anschließend werden verschiedene Arten von Biosensoren vorgestellt und die Schnittstelle zwischen Biosensoren und dem Automotive-Bereich aufgezeigt. Als nächster Schritt werden Zahlen und Unfallstatistiken untersucht, um das Potential von Biosensoren aufzuzeigen, die sie zur Unfallvermeidung mit sich bringen. Da nun die wichtigsten Vitalwerte definiert sind, wird im folgenden Punkt das Messverfahren geschildert, wie ein Sensor die Vitalwerte ermitteln kann. Als nächster Schritt wird ein Sensor vorgestellt, welcher potenziell zur Vitaldatenüberwachung genutzt werden kann. Nach der Vorstellung dieses spezifischen Biosensors wird der Aufbau und die Funktionsweise geschildert. Das Kapitel 3 – Implikation stellt den Schwerpunkt dieser Arbeit dar. Darin werden die benötigten konzeptionellen Grundlagen gebündelt und diese in einem spezifischen UseCase mit Aktivitätsdiagramm angewendet. Auch der dazugehörige eCall-System des Anwendungsfalls wird abgebildet. Im Kapitel 4 – Schlussbetrachtung wird nach der Zusammenfassung, die Arbeit kritisch betrachtet, Reflektiert und schlussendlich ein Ausblick auf zukünftige Forschungsarbeiten gegeben.

II. KONZEPTIONELLE GRUNDLAGEN

A. Biosensoren

Biosensoren entstanden aus dem Gedanken heraus, biologische Elemente (z.B. Biomoleküle oder Zellen) direkt mit einem Sensor (z.B. Elektroden oder optische Sensoren) zu koppeln. Aufgrund der Immobilisierung kann ein Analyt

durch eine bestimmte Biokomponente in ein biochemisches Signal gewandelt werden, welches auf den Sensor trifft. Dieser wiederum wandelt das elektronische Signal, welches im Anschluss über einen Verstärker angezeigt wird [1, 2]. Zu unterscheiden sind hierbei invasive und nicht-invasive Sensoren. Erstere werden im Körper etabliert (z.B. in Arterien) wohingegen sich Zweitere außerhalb des Körpers (z.B. am Handgelenk) befinden [3]. Im Gegensatz zu sogenannten Einmalsensoren, bei welchen lediglich eine einzige Messung durchgeführt wird, weisen Biosensoren den Vorteil auf, eine kontinuierliche Überwachung von Vitalparametern zu erlauben [2, 3]. Zu den Vitalparametern gehören dabei Daten, wie z.B. die Pulsfrequenz, der Blutdruck, die Atemfrequenz, Sauerstoffsättigung sowie der Blutzucker [4]. Eine detailliertere Auflistung von Vitaldaten wird im Absatz Messverfahren und Biosensoren für Vitalfunktionen aufgezeigt.

B. Arten von Biosensoren

In der folgenden Tabelle sind die bekanntesten nichtinvasiven Sensoren, die zur Echtzeitüberwachung der Vitalparameter dienen, aufgezeigt und erläutert. Invasive Sensoren werden in diesem Paper nicht weiter berücksichtigt, da am Beispiel der Glucose-Messung verdeutlicht wird, dass der Wunsch besteht, sich für Messungen bestimmter Vitalparameter nicht durch eine Injektion oder Blutentnahme selbstverletzen zu müssen [5]. Daraus wird eine höhere Akzeptanz der Nutzer für nicht-invasive Methoden abgeleitet.

TABLE I. ARTEN VON BIOSENSOREN

Art	Beschreibung
Smartphone	Pulsmessung, Atemfrequenz und Herzaktivität [6]
Smartwatch	Pulsmessung, EKG, Blutdruck, Sauerstoffsättigung, Körpertemperatur, Stress und Schlaf (Dauer und Intensität) [7]
Fitness-tracker	Pulsmessung, Blutdruck, Körpertemperatur und Schlaf (Dauer und Intensität) [7]
Kleidung	Pulsmessung, Atemfrequenz, Körpertemperatur und Hautfeuchtigkeit [8]
Gehörgang-sensor	Pulsmessung, EKG, Blutdruck, Sauerstoffsättigung, Körpertemperatur, Stress und Schlaf (Dauer und Intensität) [9]
Sensor-Pflaster	Pulsmessung, Blutdruck, Atemfrequenz, Körpertemperatur und Hautfeuchtigkeit [10]

Fig. 1. Arten von Biosensoren

C. Automotive Bereich

Wird heutzutage von räumlicher Mobilität gesprochen, also dem Wechsel einer oder mehreren Personen zwischen den vorab festgelegten Einheiten eines räumlichen Systems [11, 12], wird unweigerlich an das Automobil gedacht, welches im Jahre 1886 von Carl Benz erfunden wurde [13]. Der PKW von damals hat jedoch wenige Gemeinsamkeiten zu den Fahrzeugen von heute. So wurden im Laufe der Zeit Elektronik, Sicherheitsfunktionen, Systeme zur Reduzierung der Umweltbelastung sowie vernetzte Systeme im Automobil etabliert. Letztere dienen vor allem dazu die Sicherheit, Effizienz sowie den Komfort im Straßenverkehr zu erhöhen und die Umweltbelastung zu reduzieren. Beispielhaft hierfür ist das seit Ende März 2018 in allen Neuwagen eingeführte eCall-System, welches nach einem Unfall automatisiert einen Notruf inkl. Daten zum Standort, zur Uhrzeit, zur Fahrtrichtung sowie zur Fahrzeugbeschreibung an die Notrufzentrale sendet. Durch die sofortige Alarmierung der Notrufzentrale sollen die Reaktionszeiten der Einsatzkräfte

zwischen 40% und 50% verringert werden. Dadurch können sowohl Menschenleben gerettet als auch eine schnellere Behandlung an Verletzten durchgeführt werden [14].

D. Schnittstelle zwischen Biosensoren und Automotive-Bereich

Die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer im Straßenverkehr nimmt einen hohen Stellenwert ein. Daher gibt es bereits erste konzeptionelle Lösungsansätze, um Biosensoren bzw. Sensoren zur Messung von Vitalparametern im Fahrzeug zu etablieren. Hierfür stehen drei unterschiedliche Varianten zur Verfügung: (1) Bei der fahrzeuginternen Variante sind die Sensoreinheiten, die Empfangseinheit sowie weitere Systemkomponenten des Fahrzeuginformationssystems (z.B. Bluetooth-Verbindung) im Fahrzeug verbaut. (2) Bei der fahrzeugexternen Variante, werden die eben genannten Komponenten mit in das Fahrzeug gebracht. (3) Die hybride Variante stellt eine Kombination aus fahrzeuginterner und fahrzeugexterner Variante dar, in dem z.B. der mit ins Fahrzeug gebrachte Sensor mit der Empfangseinheit des Fahrzeuges drahtlos verbunden wird [15]. Der Fokus dieser Ausarbeitung liegt auf der hybriden Variante, da eine mobile Sensoreinheit in mehreren Fahrzeugen genutzt werden kann. Dadurch bleibt dem Verkehrsteilnehmer selbst überlassen, welche Sensoreinheit dieser präferiert und nutzen möchte. Die Fahrzeuge müssen lediglich die Empfangseinheit sowie die Systemkomponenten bereitstellen, mit welchen die mobilen Sensoreinheiten verbunden werden können.

Auch in der Automobilbranche werden derzeit die ersten Anwendungsfälle zur Integration von Biosensoren zur Vitaldatenüberwachung im Fahrzeug entwickelt. Der Automobilzulieferer Faurecia hat z.B. einen Autositz entworfen, der die Vitaldatenüberwachung des Fahrers übernimmt. Dabei wird die Müdigkeit sowie das Stresslevel gemessen. Wird Müdigkeit erkannt, kann dem Fahrer eine Vitalmassage gegeben werden. Bei einem zu hohen Stresslevel erhält der Fahrer eine angenehme Massage, um dieses zu reduzieren [16]. Auch die Europäische Union hat Interesse an solchen Systemen. So muss ab dem Jahre 2022 eine Alkohol-Wegfahrsperrung in Neuwagen verbaut werden. Dieses System misst den Promillewert, welcher über den Atem nachgewiesen wird. Auch dies spiegelt die Überwachung von Vitaldaten durch einen Biosensor wider.

E. Potenzial des Einsatzes von Biosensoren im Straßenverkehr

Die Anzahl an Verkehrsunfällen in Deutschland stieg in den vergangenen Jahren kontinuierlich an und erreichte im Jahre 2019 einen Stand von 2.685.661 Verkehrsunfällen. Davon gehören 11,17 Prozent der Kategorie Unfälle mit Personenschäden an (siehe Fig. 2). Der prozentuale Wert verringerte sich zwar in den letzten Jahren, die absolute Zahl blieb jedoch annähernd unverändert. Wird diese Zahl weiter hinunter gebrochen, kann festgestellt werden, dass im Jahre 2019 ca. 3043 Menschen aufgrund eines Verkehrsunfalls starben. Dies wiederum entspricht ca. einem Prozent der Personen, welche der Kategorie Unfälle mit Personenschäden zugeordnet werden können. Innerhalb dieser Kategorie, können z.B. etwa 13.500 Verkehrsunfälle auf Fahren unter Alkoholeinfluss zurückgeführt werden [17].

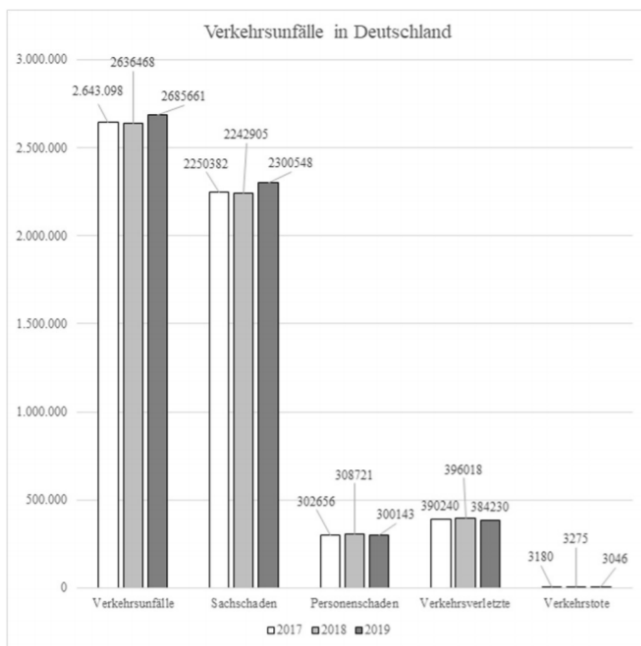


Fig. 2. Verkehrsunfälle in Deutschland zwischen 2017 und 2019 [17]

F. Ursachen für Verkehrsunfälle in Deutschland

Für den Use-Case dieser Arbeit sind nun aber die Faktoren interessant, welche dazu führen, dass Menschen überhaupt in Unfällen verwickelt sind. Insbesondere sind Unfallursachen interessant, die durch das Versagen des menschlichen Körpers ausgelöst wurden sowie im Voraus, durch eine Veränderung der Vitalwerte erkannt und verhindert werden können. Es wird eine Meinungsumfrage durchgeführt, bei der Menschen einschätzen müssen, welche Ursachen am häufigsten zu einem Unfall führen. Von 2.080 Befragten ab 18 Jahre, geben 88% der Befragten an, dass sie zu schnelles Fahren als eine der häufigsten Unfallursachen ausmachen. Ob sich das zu schnelle Fahren an den Vitalwerten, durch zum Beispiel ein erhöhten Adrenalin Spiegel erkennen lässt, muss sich im Laufe der Arbeit noch herausstellen. Auch dazu gehört ein aggressives Fahrverhalten, welches die Befragten zu 87% als einen häufigen Grund für Unfälle sehen. Fahren unter Alkoholeinfluss (84%) und die Nebenwirkungen von Medikamenten (52%) werden von den Befragten als eine häufige Ursache für Verkehrsunfälle gesehen. Diese Ursachen lassen sich in den Vitalwerten einer Person erkennen und könnten mit einem Biosensor ermittelt werden. In diesen Bereichen herrscht ein großes Potential, um Unfallursachen mittels eines Biosensors zu verhindern [18].

Diese Art an Unfällen könnten mit Hilfe von Verkehrspräventionsmaßnahmen verhindert werden. Hierzu wird im Folgenden ein Szenario beschrieben, welches im Anschluss das Potenzial des zu erarbeitenden Konzepts dieses Papers aufzeigen soll.

Szenario: Alkoholeinfluss während der Fahrt

Fahrer A fährt auf einer Bundesstraße von Ort Y zu Ort Z. Er hatte vor Fahrttritt acht Bier getrunken, fühlt sich jedoch noch dazu in der Lage ein Fahrzeug zu steuern. In einer unübersichtlichen Kurve verliert er, aufgrund des reduzierten Reaktionsvermögens, die Kontrolle über sein Fahrzeug und kollidiert mit einem Fahrzeug der gegenüberliegenden Straßenseite. Ein Sensor registriert den Aufprall und sendet einen automatischen eCall an die Notrufzentrale.

Dieses Szenario zeigt auf, dass erst ein Unfall bzw. Aufprall des Fahrzeuges registriert werden muss, bevor die Notrufzentrale kontaktiert wird. Mit Hilfe der Überwachung der Vitalfunktionen durch den Einsatz von Biosensoren, soll ein Konzept dargestellt werden, in welchem das eCall-System um eine Maßnahme der Unfallprävention erweitert wird. Der Einsatzbereich konzentriert sich dabei nicht nur auf das Fahren unter Alkoholeinfluss. Das System könnte auch zur Registrierung eines Herzinfarktes oder Schlaganfalles sowie Fahren unter Medikamenteneinfluss genutzt werden.

G. Analyse der psychischen und physischen Faktoren im Straßenverkehr

Die Analyse der psychischen und physischen Faktoren im Verkehr zielt darauf ab, die wesentlichen Einflussfaktoren eines Menschen zu identifizieren, welche zu einem Verkehrsunfall führen können. Wie in den Anwendungsfällen oben bereits beschrieben, ist es anhand von Biosensoren möglich, diese Faktoren zu messen und erkennen

1) Psychische Faktoren

Suizidversuch: Wesentliche Einflussfaktoren eines Suizidversuches können Depressionen, Schizophrenie, Angsterscheinungen sein. Im Jahr 2018 waren beabsichtigte Verkehrstode in Deutschland, mit insg. 116 Toten, auf dem 12. Platz der häufigsten Suizide-Ursachen [19].

Unsicherheit: Vielen Fahranfängern, die erstmals ohne Begleitung ein Kraftfahrzeug fahren, mangelt es an Fahrerfahrung. Laut dem Bundesamt für Verkehr und digitale Infrastruktur lag die Anzahl der Verkehrsunfälle in Deutschland in der Altersgruppe der 18- bis 24-Jährigen bei 59.747. Davon sind 363 Personen tödlich verunglückt (2019) [20].

Fehlverhalten im Straßenverkehr: Wird von ‚aggressivem Fahrverhalten‘ gesprochen, wird oft das Nichteinhalten des Tempolimits, fehlerhaftes Überholen oder eine mangelnde Einhaltung des Mindestabstandes zu anderen Fahrzeugen gesprochen. Aufgrund diesem Faktors, konnten im Jahr 2019 103.798 Verkehrsunfälle registriert werden [21].

2) Physische Faktoren

Übermüdung: Durch Übermüdung werden wichtige Funktionen, wie die Reaktion, Aufmerksamkeit und Kontrolle des Fahrzeugs, deutlich verschlechtert. Im Jahr 2019 wurden aufgrund dieses Faktors 2.037 Verkehrsunfälle registriert [22].

Gesundheitliche Probleme: In den letzten Jahren wurde eine immer höher werdende Anzahl an Artikeln veröffentlicht, in welchen berichtet wurde, dass gesundheitliche Probleme die Ursache eines Verkehrsunfalles gewesen sind. Zu diesen gesundheitlichen Problemen gehören z.B. ein Herzinfarkt oder Schlaganfall, durch welche bereits in wenigen Minuten die Kontrolle über den eigenen Körper verloren gehen kann.

Alter: Im Alter lassen wichtige Funktionen wie z.B. das Reaktionsvermögen, das Sehvermögen und die Kraft nach. Diese Verschlechterung wichtiger Funktionen, kann zu Verkehrsunfällen führen. Im Jahr 2019 waren 77.924 Personen ab 65 Jahren an einem Verkehrsunfall beteiligt. Dies entspricht ca. 26 Prozent aller Beteiligten Personen an Verkehrsunfällen [23].

H. Messverfahren und Biosensoren für Vitalfunktionen

Innerhalb diesen Abschnittes werden die wichtigsten Vitalfunktion aufgeführt und erläutert. Dabei wird zusätzlich

auf die Messungsart eingegangen, indem beschrieben wird, wie diese funktioniert. Zu den wichtigsten Vitalparameter gehören die Herzfrequenz, Atemfrequenz, der Blutdruck, die Sauerstoffsättigung sowie die Körpertemperatur [24].

Herzfrequenz: Bei der Messung wird die Anzahl an Herzschlägen pro Zeitintervall gemessen (meist in Herzschlägen pro Minute angegeben). Die Messung der Herzschläge wird mittels einem Brustgurt oder über zwei Hautelektroden an den Handinnenflächen durchgeführt.

Eine weitere Methode stellt die Messung des Herzschlages per Licht dar. Hierzu strahlt emittiertes Licht, meist im grünen Wellenbereich, durch die Haut im Bereich des Handgelenkes und wird je Herzschlag vom Blut reflektiert.

Atemfrequenz: Die Messung der Atemfrequenz gibt die Anzahl der Atemzüge innerhalb einer bestimmten Zeitperiode an (meist in Anzahl der Atemzüge pro Minute angegeben). Die klassischen Messverfahren erfolgen hier über einen Atemgürtel, die Erfassung durch das Elektrogramm (EKG), also die Aufzeichnung der elektrischen Aktivitäten des Herzmuskels oder durch die Erfassung durch Blutdruckschwankungen [25].

Blutdruck: Der Blutdruck ist der Druck des zirkulierenden Blutes auf die Wände eines Blutgefäßes. Dieser kann über invasive oder nicht-invasive Blutdrucküberwachung ermittelt werden. Bei der invasiven Blutdruckmessung wird der Blutdruck direkt über das Anlegen einer Kanüle in eine Arterie gemessen. Es wird der arterielle Blutdruck in Verbindung mit einem elektronischen Druckmessumformer und einer sterilen Flüssigkeit gemessen. Die nicht-invasive Blutdruckmessung erfolgt mit einem Blutdruckmessgerät, einer Manschette und Stethoskop oder klassisch über ein Blutdruckmessgerät für den privaten Haushalt [26].

Sauerstoffsättigung: Die Sauerstoffsättigung zeigt an, wie viel Sauerstoff im Blut aufgenommen wurde. Diese wird meist über ein Pulsoximeter gemessen. Der Pulsoximeter misst die arterielle Sauerstoffsättigung, indem rotes sowie infrarotes Licht auf der einen Seite ausgesendet wird. Auf der anderen Seite befindet sich ein Fotodetektor. Dieser misst, wie viel Licht auf der anderen Seite des Fingers oder Ohrläppchens – die Messstellen für ein Pulsoximeter – ankommt.

Körpertemperatur: Die Körperoberflächentemperatur kann mithilfe eines rektalen Thermometers und der Negative Temperature Coefficient (NTC)-Thermistoren oder mithilfe von Infrarottemperatursensoren erfasst werden. Bei der Infrarottemperaturmessung werden in der Regel die Messungen am Ohr und an der Stirn durchgeführt [24].

Im Zuge der Digitalisierung wurden und werden die ursprünglichen Vorgehensweisen zur Messung von Vitalparametern stetig weiter verbessert und entwickelt. Daher wird heutzutage bereits an Sensoren geforscht, welche eine applikationsunterstützende Software bereitstellen. Derzeit kann zwischen nicht-invasiven, welche auf der Haut oder dem Gehörgang angebracht werden und invasiven Sensoren, welche in den Körper implementiert werden, unterschieden werden. Gemeinsamkeiten bei den beiden Sensor-Arten liegen in der Verbesserung der Messungsprozesses und der Aufbereitung der Daten sowie der Aufbereitung und Darstellung dieser mittels einer Applikation. Mittlerweile haben Wearable-Sensoren Einzug

in unseren Alltag erhalten. Auch die Entwicklung der Körperchips nimmt immer mehr zu. Durch die derzeitige hohe Akzeptanz und auch durch den technologischen Fortschritt der Entwicklung von Wearable-Sensoren liegt der Fokus dieses Papers auf den nicht-invasiven Sensoren.

Hierzu werden ein Gehörgangsensor sowie ein intelligentes Sensor-Pflaster zur Messung der Vitaldaten im Straßenverkehr in Betracht gezogen und im Folgenden ausgewertet. Die Anbringung dieser beiden nicht-invasiven Sensoren ist einfach, da der Gehörgangsensor wie ein Hörgerät getragen und das intelligente Pflaster wie ein gewöhnliches Pflaster getragen wird. Letzteres bietet verschiedene Ansätze, wie die Vitalfunktionen überwacht werden können: (1) Die Sensoren und Leitungen werden mit anorganischer Tinte und Silbertinte gedruckt [27]. (2) Die Sensoren und Leitungen werden mit Bleistift auf ein Papier gezeichnet. (3) Es werden Mikrosensoren entwickelt, die durch ihre minimale Größe äußerst dehnbar sind [10]. Bei allen genannten Ansätzen besteht derzeit das Problem der Stromversorgung und des Tragekomforts. Durch die Fettbildung und produzierten Schweiß auf der Haut, welcher beim Tragen eines Pflasters entsteht, verlieren diese meist an Haftung und daher auch die Sicherheit einer konstanten Messung der Vitalfunktionen [28]. Im Gegensatz zum intelligenten Pflaster weist der Gehörgangsensor einen besseren Tragekomfort auf, da er wie ein Hörgerät bzw. einen Kopfhörer getragen werden kann. Außerdem wird bei diesem auch die Stromversorgung sichergestellt, da der Gehörgangsensor mit Hilfe einer Batterie oder kleinen Akkueinheit konstant mit Strom versorgt werden [9]. Aufgrund der Vorteile seitens des Gehörgangsensor wird dieser im Verlauf dieses Papers weiter berücksichtigt.

I. Der Gehörgangsensor

Laut Rieger ist ein Gehörgangsensor eine Applikation, die analog zum Hörgerät nicht-invasiv und ohne Verletzung der Gehörgangswand getragen werden kann. Der Grund zur Entwicklung eines Gehörgangsensor liegt in der Problematik der normalen Messgeräte, die am Finger oder Ohrläppchen befestigt werden müssen. Dabei sind diese Messgeräte meist unpraktisch, wenn sich die Person viel und willkürlich bewegen muss. Außerdem entsprechen diese nicht dem Schönheitsideal bzw. gelten nicht als schön anzusehen, da diese offen getragen werden müssen. Der Gehörgangsensor hingegen ist mechanisch stabil, ohrfest und kosmetisch diskreter, weil dieser wie ein Hörgerät getragen werden kann [9]. Außerdem sind die Strömungseigenschaften und die Pulskurve im äußeren Gehörgang vergleichbar mit der Messung am Finger. Zusätzlich weicht die Gewebetemperatur im Gehörgang weit weniger stark von der Körperkerntemperatur ab als am Finger. Dadurch kann ein Gehörgangsensor sehr gut zur Überwachung der Vitalfunktionen genutzt werden [9].

Der Gehörgangsensor kann wie ein Pulsoximeter die Sauerstoffsättigung und durch weitere Sensoren die Körpertemperatur, den Blutdruck und die Herzfrequenz messen. Dabei kann durch die Analyse der aufgenommenen Daten des Gehörgangsensor Rückschlüsse auf Zentralisation und periphere Durchblutungsstörungen, Schlafapnoescreening, Lungenerkrankungen – wie COPD, Asthma, Mukoviszidose und ALS – sowie Herzerkrankungen gezogen werden. Die Anwendungsgebiete sind zurzeit Rehabilitation/Training, Forschung, berufliches Umfeld sowie Sport und Freizeit [9].

Im Folgenden wird der Aufbau des Sensors nach Rieger skizziert. Es existieren auch andere Aufbaumethoden und Gehörgangssensoren, welche jedoch eher als Fitnesstracker oder Kopfhörer genutzt werden. Dadurch, dass die Arbeit auf den Gebrauch während dem Straßenverkehr betrachtet wird, wurden diese Alternativen nicht berücksichtigt, da diese auf die Isolation der äußeren Geräusche ausgelegt sind und somit nicht für den Gebrauch im Straßenverkehr geeignet sind [29]. Der Gehörgangssensor nach Rieger ermöglicht das Wahrnehmen äußerer Geräusche – durch kleine Löcher in den Schirmchen - und kann somit im Straßenverkehr genutzt werden.

Die Idee eines Gehörgangssensors besteht seit dem Jahr 1993 und wurde seither des Öfteren überarbeitet, jedoch nie erfolgreich in der Praxis umgesetzt. Gründe dafür sind teilweise Verfälschungen der Messergebnisse sowie die unflexible Anpassung an den Träger. Rieger hat während seiner Arbeit verschiedene Konzepte getestet – Ballonkonzept, Scheibe, Klammer, Schirmchen und Doppelschirmchen-Konzept – und sich für das Doppelschirmchen-Konzept entschieden. Das Doppelschirmchen-Konzept ist laut Riegers Tests den anderen Konzepten in Hinblick auf die mechanische Belastung, des Tragekomforts und der Reproduzierbarkeit bei Messungen überlegen [9].

J. Das Doppelschirmchen-Konzept

Wie in Fig. 3 zu sehen ist, befinden sich in dem Gehörgang zwei in sich hintereinander angeordnete, verkeilende Schirmchen, die als Sensor dienen. Der Sensorkopf befindet sich auf einem stabilen Messingrohr. Damit ist dieser verdrehsicher und die photoelektrischen Bauteile sind zum Trommelfell zugewandt, ohne den Gehörgang zu verletzen. Aus dem Gehörgang ragt das Sensorträger-Positionierungselement, schlingt sich um die Ohrmuschel herum und endet in einer Kunststoffklemme, welches wie bei den handelsüblichen Hörgeräten sowohl den Aufbau am Ohr positioniert als auch die Elektronik zur Signalaufbereitung – Bluetooth-Sensor – besitzt. An den beiden Schirmchen sitzen Fotodioden und LEDs, um über das reflektierende Licht die Sauerstoffsättigung oder den Blutdruck zu messen. Durch die Schirmchen wird auch überschüssiges Licht isoliert, das die Messung der Sauerstoffsättigung, Herz- und Atemfrequenz erleichtert. In den folgenden Jahren wurden noch weitere kleine Sensoren zur Körpertemperaturmessung eingebaut. Die ermittelten Daten werden an die Signalaufbereitung weitergegeben und können von dort aus über eine Software, in Echtzeit ausgewertet werden [9].

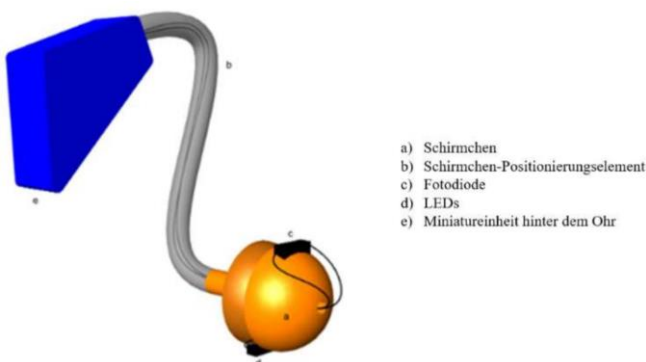


Fig. 3. Gehörgangssensor mit Doppelschirmchendesign

III. INTEGRATION DER VITALDATEN-ÜBERWACHUNG IN DAS eCALL-SYSTEM

Dieses Kapitel beinhaltet das Konzept zur Integration einer Vitaldatenüberwachung mittels Biosensoren in das eCall-System. Hierzu wird zu Beginn die Funktionsweise des eCall-Systems erläutert. Im Anschluss wird mittels einem UseCase dargestellt, wie sich das konzeptionelle System aus Sicht des Fahrers verhält. Nachfolgend werden die Aktivitäten aufgeführt, welche bei einem eCall-Notruf durchlaufen werden. Diese Aktivitäten, in Form eines Aktivitätsdiagrammes, werden anschließend um weitere Aktivitäten zur Integration der Vitaldatenüberwachung ergänzt. Am Ende dieses Kapitels wird ein Gesamtüberblick aufgezeigt, der den Use-Case sowie die Aktivitäten des Konzeptes bildlich darstellt.

A. Funktionsweise des eCall-Systems

Das eCall-System ist ein im Fahrzeug verbautes System, welches über einen Zusammenstoß oder einen schweren Unfall informieren soll. Dabei werden zwei Optionen bereitgestellt, wie ein Notruf vonstattengehen kann: (1) Der Fahrer des Fahrzeuges oder der Mitfahrer lösen einen Standard-Sprachanruf bei der Notrufzentrale aus. (2) Sind die Fahrzeuginsassen nicht in der Lage (z.B. aufgrund von Bewusstlosigkeit) kann das System automatisiert die nächstgelegene Notrufabfragestelle (Public Safety Answering Point, kurz: PSAP) kontaktieren. Sobald eine Verbindung aufgebaut werden kann, sendet das Fahrzeug ein Datenpaket mit Basisinformationen, wie bspw. Lokation, Fahrtrichtung, Fahrzeugidentifikationsnummer und Fahrzeug-Typ, an die Notrufzentrale. Diese Informationen werden auch Minimum Set of Data (kurz: MSD) genannt und helfen dabei, die Unfallopfer schneller zu lokalisieren und ihnen medizinische sowie lebensrettende Hilfe zukommen zu lassen [14, 30].

B. Use Case

Die Grundlage zur Integration der Vitaldatenüberwachung in das eCall-System liefert der im vorherigen Absatz beschriebene Gehörgangssensor. Dieser wird vom Fahrer aktiviert, indem dieser den Sensor am Gehörgang befestigt. Er misst die wichtigsten Vitalfunktionen, wie die Herzfrequenz, die Atemfrequenz, den Blutdruck und die Sauerstoffsättigung. Das Empfangseinheit des Fahrzeuges empfängt die Vitaldaten und wertet diese über den Board Computer aus. Sobald dieser eine Fahruntauglichkeit des Fahrers erkennt, leitet das Steuergerät, in welchem die eCallFunktion implementiert ist, einen Notruf ein (siehe Fig. 4).

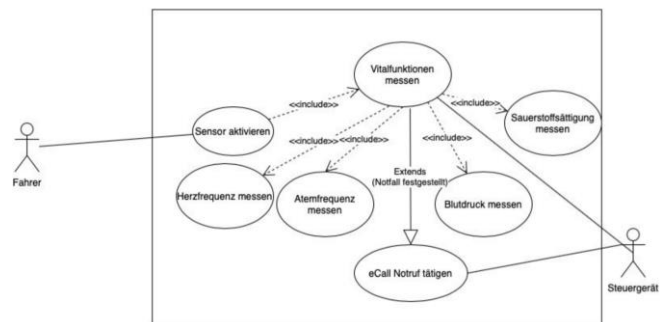


Fig. 4. eCall UseCase-Diagramm

C. eCall-Aktivitätsdiagramm

Das eCall-System (siehe Fig. 5) überwacht das Fahrzeug auf einen möglichen Aufprall. Hierzu werden Sensordaten verschiedener Sensoren (z.B. Airbag-Sensor) in einem KFZ zusammengeführt und anschließend ausgewertet. Konnte kein Unfall registriert werden, befindet sich das System in einer Schleife, in der dieses Vorgehen erneut durchgeführt wird. Sobald ein Unfall erkannt wird, leitet das System das Notverfahren ein. Dieses kann bei Bedarf auch manuell von den Fahrzeuginsassen ausgelöst werden. Im Anschluss können zusätzliche Daten, wie z.B. das Wetter vor Ort ermittelt werden. Diese Zusatzdaten werden mit den Basisinformationen (MSD) gesammelt. Daraufhin wird die Verbindung zur Notrufzentrale hergestellt [14, 30].

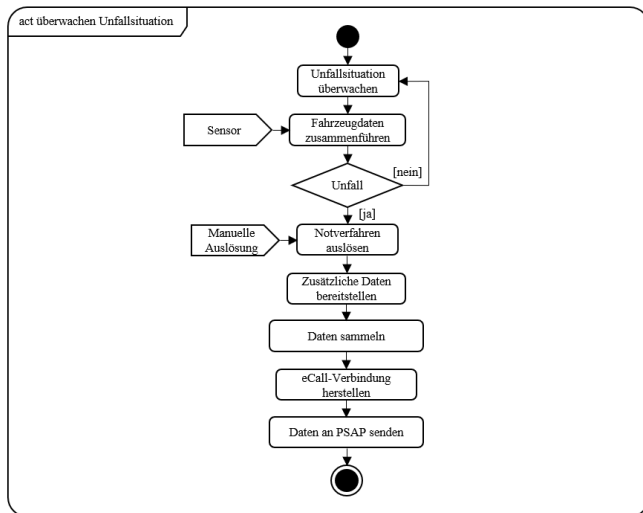


Fig. 5. eCall-System Aktivitätsdiagramm [30]

D. Etablierung in das eCall-Aktivitätsdiagramm

Da der Hauptteil dieses Papers von der Integration des Gehörgangssensors in das eCall-System handelt, wird in diesem Absatz das vorherige Aktivitätsdiagramm (siehe Fig. 6) erweitert. Dadurch soll dargestellt werden, welche zusätzlichen Schritte notwendig sind, um den Gehörgangssensor in dem eCall-System zu etablieren. Hierzu wird das im letzten Absatz beschriebene Aktivitätsdiagramm des eCall-Systems (Fig. 5) um zusätzliche Aktivitäten erweitert. Dabei wird gleichzeitig das Fahrzeug auf einen Aufprall sowie der Fahrer anhand seiner Vitalparameter überwacht. Der Gehörgangssensor erfasst hierzu die benötigten Vitaldaten, welche von der Empfangseinheit des Fahrzeuges zusammengeführt werden. Stuft das System den Fahrer als fahrtauglich ein, wiederholen sich die ebenen genannten Aktivitäten in Form einer Schleife. Sobald das System den Fahrer jedoch als fahruntauglich einstuft, z.B. aufgrund eines Herzinfarktes, wird das Notverfahren eingeleitet. Hierfür werden sowohl das MSD als auch zusätzliche Vitaldaten (im Folgenden als VD bezeichnet) in Form der Herzfrequenz, des Blutdrucks, der Sauerstoffsättigung und Körpertemperatur des Fahrers gesammelt und im nächsten Schritt an die Notrufzentrale weitergeleitet. Dafür verbindet sich das eCall-System automatisch mit der Notrufzentrale [14, 30].

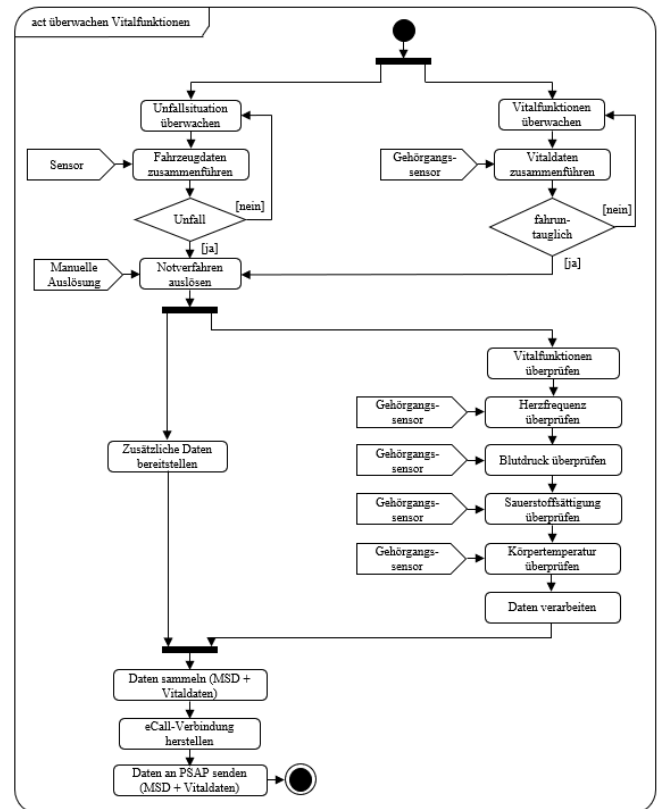


Fig. 6. Erweitertes eCall-System Aktivitätsdiagramm

E. Gesamtüberblick über das eCall-System

Dieses Vorgehen lässt sich als eine Art Referenzmodell darstellen, welches in Fig. 7 aufgezeigt wird. Dabei ist zu erkennen, dass der Gehörgangssensor mit Hilfe des Bluetooth-Standards mit der Empfangseinheit des Fahrzeuges kommuniziert. Diese leitet die Daten an das eCall-Steuengerät weiter, welches den eCall-Notruf einleitet. Die Empfangseinheit sendet im Anschluss die benötigten Daten in Form der MSD und VD an den Public Safety Answering Point. Die wichtigsten Vitalparameter könnten dem Fahrer optional über das Fahrzeuginformationssystem bereitgestellt werden. Da diese Alternative jedoch keine zentrale Rolle in diesem Paper spielt, wurde diese nur als zusätzliche Option deklariert.

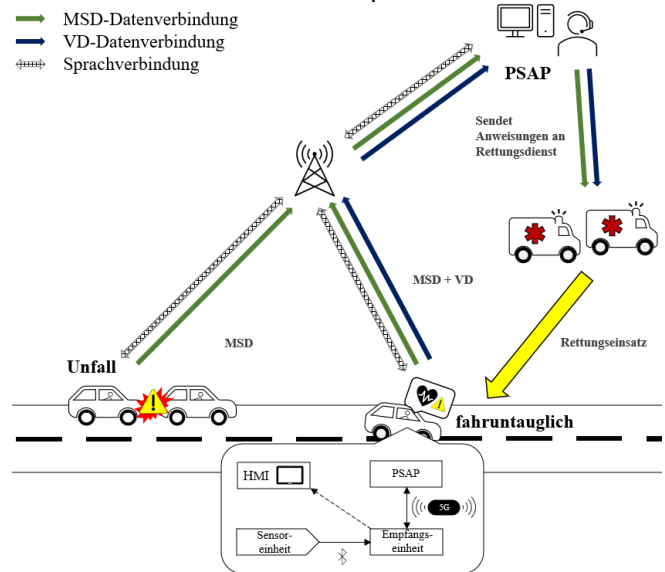


Fig. 7. Gesamtüberblick über das eCall-Referenzmodell

IV. SCHLUSSBETRACHTUNG

A. Zusammenfassung

Diese Arbeit hat einen Überblick über die Einsatzmöglichkeit von Biosensoren im Straßenverkehr und vor allem die theoretische Verbesserung des eCall-Systems mit dem Einsatz des Gehörgangssensors aufgezeigt. Es gibt wie bereits erwähnt viele Ansätze, um die Verkehrssicherheit durch die Überwachung der Vitalfunktionen zu verbessern und eine höhere Sicherheit zu schaffen. In dieser Arbeit wird skizziert, wie mit dem favorisierten Gehörgangssensor die Vitalfunktionen - Sauerstoffsättigung, Puls, Körpertemperatur, Herz- sowie Atemfrequenz - und die damit Verbundenen Auswirkungen eines Schlaganfalles oder des Sekundenschlafs vorzubeugen. Dabei soll der Gehörgangssensor wie ein Hörgerät getragen werden. Über Bluetooth werden die gesammelten Daten des Sensors an das Fahrzeug übermittelt. Das System des Fahrzeuges kann dann die nötigen Schritte einleiten, um die Sicherheit des Fahrers zu gewährleisten, indem die aufbereiteten Vitalwerte mit dem Notruf über das eCall-System übermittelt werden.

B. Kritische Betrachtung und Reflexion

Die Arbeit betrachtet die Konzeption eines Biosensors, welcher in einem Anwendungsfall eingesetzt wird, bei dem er den Faktor Mensch überwachen und so die Verkehrssicherheit optimieren soll. Bei der Erarbeitung dieser Arbeit wurden einige essenzielle Punkte aufgrund des inhaltlichen Umfangs nicht berücksichtigt. Der Aspekt des Datenschutzes wurde nicht berücksichtigt. Wo werden die personenbezogen hoch sensiblen Daten verarbeitet? Werden sie in einer Cloud verarbeitet oder werden sie durch mögliche Car-2-Car-Connection an dritte weitergegeben, um andere Fahrer zum Beispiel im Falle eines Herzinfarktes zu warnen. Auch wären die Versicherungen an solchen persönlichen Daten interessiert, da so vorbelastete Personen ermittelt werden und mit höheren Beiträgen belastet werden könnten. Ein weiterer Punkt in diesem Zusammenhang ist die Akzeptanz der Fahrzeugführer über die Verwendung eines solchen Biosensors. In der Einführung wurde erwähnt, dass jeder fünfte Deutsche bereit wäre, einen solchen Sensor zur Überwachung seiner Vitalwerte zu verwenden. Dieses Thema ist an sich zum aktuellen Stand größtenteils unerforscht und die Gesellschaft ist nicht ausreichend über den Hintergrund, den Datenschutz und die Gefahren informiert. Daher ist es kritisch zu hinterfragen, ob diese Umfragergebnisse die allgemeine Meinung widerspiegeln. Auch wurde in dem Kapitel - Statistik und Zahlen zu Unfällen im Straßenverkehr festgestellt, dass eine hohe Anzahl von Fahrern auf ein aggressives und schnelles Fahrverhalten zurückzuführen ist. Hierbei wurde in dieser Arbeit nicht beachtet, ob dieses Fahrverhalten durch Vitalwerte in Form von z.B. gesteigertem Adrenalin im Blut nachzuweisen ist und somit durch Biosensoren erkannt und dementsprechend gegenwirken könnten. Zu der Erarbeitung dieser wissenschaftlichen Arbeit ist noch zu erwähnen, dass der vorgestellte Anwendungsfall sich rein auf einen theoretischen Ansatz bezieht. Um einen praktischen Ansatz in die Realität zu übersetzen benötigt es Testcases, damit der Anwendungsfall auf Funktionalität und Sinnhaftigkeit überprüft werden kann.

C. Ausblick

Diese Arbeit soll als Grundlage für weitere Untersuchungen dienen und mit den Definitionen und Abgrenzungen dazu beitragen, einen Biosensor als Fahrassistenzsystem nutzen zu können. Diese Arbeit soll zeigen, welche ein Potential Biosensoren zur Verbesserung der Straßensicherheit mit sich bringen. In diesem Zusammenhang wäre es lohnend zu untersuchen, ob sich ein Biosensor in der praktischen Umsetzung genauso gut darstellt, wie in der Theorie beschrieben. Dabei wäre es auch interessant, sich auf die Messergebnisse der Sensoren zu konzentrieren. Bei Diabeteserkrankten wird erst schätzungsweise zehn Minuten nach der Behandlung mit Insulin die normalisierten Werte festgestellt, da der Körper eine gewisse Zeit benötigt, um die Medikamente zu verarbeiten. Daher wäre es auch in weiteren Forschungsansätzen interessant, den Zusammenhang von Messfehlern in Form von verspäteten Messdaten, sowie ungenauen Messdaten im Zusammenhang mit dem eCall-System zu untersuchen.

Die vorgestellten Ergebnisse, in Bezug auf die Frage, welche Vitalwerte von Sensoren erkannt und gemessen werden können, wirft weiterführende Fragen auf. Wie können die verschiedenen Vitalwerte klassifiziert werden, um die Frage zu klären, inwiefern sich ein aggressives Fahrverhalten oder eine überhöhte Geschwindigkeit auf die Vitalwerte des Menschen auswirken können. Die gewonnenen Erkenntnisse bei der Untersuchung des Gehörgangssensors lassen sich durch weitere Untersuchungen ergänzen, indem neue Technologien von Biosensoren verglichen, oder mehrere verschiedene Biosensoren durch Kombination für den vorgestellten Anwendungsfall optimiert werden können. Aus den offenen Fragen ergibt sich ein hoher Forschungsbedarf, um den Anwendungsfall von der Theorie auf die Praxis zu übertragen. Weitere Forschungsansätze sind aber sicher lohnend, da das Potential der Technologie enorm ist.

REFERENCES

- [1] D. Li, Ed., *Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics*. Boston, MA: Springer US, 2008.
- [2] R. Renneberg, Ed., *Bioanalytik für Einsteiger*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2009.
- [3] A. Motzkus, "Überwachung und Monitoring," in *Pflegewissen Intermediate Care: Für die Weiterbildung und die Praxis*, J. Busch and B. Trierweiler-Hauke, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 7–24.
- [4] S. Jandt, "Smart Health," *Datenschutz und Datensicherheit - DuD*, vol. 40, no. 9, pp. 571–574, 2016, doi: 10.1007/s11623-016-0660-4.
- [5] A. Thomas and L. Heinemann, "Nichtinvasive Glucosemessung," *Der Diabetologe*, vol. 10, no. 1, pp. 36–42, 2014, doi: 10.1007/s11428-013-1126-z.
- [6] S. C. Mukhopadhyay and O. A. Postolache, Eds., *Pervasive and Mobile Sensing and Computing for Healthcare: Technological and Social Issues*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [7] M. Wagner, F. Engel, K. Klier, S. Klughardt, F. Wallner, and A. Wiczorek, "Zur Reliabilität von Wearable Devices am Beispiel einer Premium Multisport-Smartwatch," *German Journal of Exercise and Sport Research*, 2020, doi: 10.1007/s12662-020-00682-7.
- [8] S. Möbius, "Waschbares Pflege-Shirt checkt Vitalparameter," *Heilberufe*, vol. 71, no. 3, pp. 50–52, 2019, doi: 10.1007/s00058-019-0027-y.

- [9] A. Rieger, "Entwicklung und Konzeption eines Gehörgangssensors für die mobile Pulsoximetrie," Technische Universität München, München, Feb. 2011.
- [10] Scinexx, "Pflaster als Fieberthermometer," Scinexx - Das Wissensmagazin, 16 Sep., 2013. <https://www.scinexx.de/news/technik/pflaster-als-fieberthermometer/> (accessed: Jan. 13 2021).
- [11] R. Mackensen, M. Vanberg, K. Krämer, and Mackensen-Vanberg-Krämer, Probleme regionaler Mobilität: Ergebnisse und Lücken der Forschung zur gegenwärtigen Situation in der Bundesrepublik Deutschland/Berlin (West). Göttingen: Schwartz, 1975.
- [12] P. Franz, Soziologie der räumlichen Mobilität: Eine Einführung. Frankfurt/Main: Campus-Verl., 1984.
- [13] K.-H. Dietsche, D. Kuhlitz, and K. Reif, "Geschichte des Automobils," in Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik, K. Reif, Ed., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017, pp. 1–8.
- [14] O. Iparraguirre and A. Brazalez, "Communication Technologies for Vehicles: eCall," in Communication Technologies for Vehicles, Cham, 2016, pp. 103–110.
- [15] L. T. D'Angelo and T. C. Lüth, "Integrierte Systeme zur Ablenkungsfreien Vitalparametermessung in Fahrzeugen," ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, vol. 113, no. 11, pp. 890–894, 2011, doi: 10.1365/s35148-011-0205-y.
- [16] MID, Autositz schützt vor Sekundenschlaf. [Online]. Available: <https://www.auto.de/magazin/autositz-schuetzt-vor-sekundenschlaf/> (accessed: Jan. 18 2021).
- [17] Statista, Unfälle und Verunglückte im Straßenverkehr. [Online]. Available: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Tabellen/unfaelle-verunglueckte-.html> (accessed: 17.01.21).
- [18] Statista, Wie häufig sind Ihrer Meinung nach die folgenden Faktoren Ursachen für Verkehrsunfälle? [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/590006/umfrage/subjektive-einschaetzung-der-haeufigkeit-von-unfallursachen-in-deutschland/>
- [19] Statista, Anzahl der Sterbefälle durch Suizid in Deutschland nach Art der Methode in den Jahren 2014 bis 2018. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/585/umfrage/selbstmordmethoden-in-deutschland-2006/>
- [20] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Verkehrsunfälle: Junge Menschen sind besonders gefährdet. [Online]. Available: <https://www.runtervomgas.de/verkehrsteilnehmer/artikel/verkehrsunfaelle-junge-menschen-sind-besonders-gefaehrdet.html>
- [21] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Die häufigsten Unfallursachen. [Online]. Available: <https://www.runtervomgas.de/unfallursachen/artikel/die-haeufigsten-unfallursachen.html>
- [22] Statista, Anzahl der durch Übermüdung verursachten Verkehrsunfälle mit Personenschaden in Deutschland von 1991 bis 2019. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/317703/umfrage/unfaelle-mit-personenschaden-uebermuedung/>
- [23] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Unfälle von Senioren im Straßenverkehr. [Online]. Available: <https://www.runtervomgas.de/verkehrsteilnehmer/artikel/unfaelle-von-senioren-im-strassenverkehr.html>
- [24] TE Connectivity, Körpertemperaturmessung. [Online]. Available: <https://www.te.com/deu-de/trends/connected-life-health-tech/medical-sensor-technology-and-applications/body-temperature-measurement.html> (accessed: Nov. 27 2020).
- [25] DocMedicus Verlag GmbH & Co. KG., Atemfrequenzmessung | DocMedicus Gesundheitslexikon. [Online]. Available: <http://www.gesundheits-lexikon.com/Medizingeraetediagnostik/Lunge/Atemfrequenzmessung.html> (accessed: Nov. 27 2020).
- [26] TE Connectivity, Vergleich zwischen invasiver und nichtinvasiver Blutdrucküberwachung. [Online]. Available: <https://www.te.com/deu-de/trends/connected-life-health-tech/medical-sensor-technology-and-applications/blood-pressure.html> (accessed: Nov. 27 2020).
- [27] A. Goldbacher, Gedruckte Elektronik: Neue Sensoren für die Medizin. [Online]. Available: <https://www.elektroniknet.de/elektronikfertigung/fertigungstechnik/neue-sensoren-fuer-die-medizin.152703.html> (accessed: Jan. 13 2021).
- [28] F. Grotelüschen, Intelligente Pflaster - Sensoren aus Papier messen Vitalfunktionen. [Online]. Available: https://www.deutschlandfunk.de/intelligente-pflaster-sensoren-aus-papier-messen.676.de.html?dram:article_id=483339 (accessed: Jan. 13 2021).
- [29] C. Träger, "The Dash von Bragi: Die Kopfhörer- und Wearable-Revolution," WELT, 11 Sep., 2015. <https://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article146298594/The-Dash-ist-mehr-als-nur-ein-kabelloser-Kopfhoeerer.html> (accessed: Jan. 7 2021).
- [30] A. Lupinska-Dubicka et al., "In-Car eCall Device for Automatic Accident Detection, Passengers Counting and Alarming," in Transactions on Computational Science XXXV, Berlin, Heidelberg, 2020, pp. 36–57.