

TEXTE

122/2021

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)

Abschlussbericht

TEXTE 122/2021

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3718 54 100 0

FB000572

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)

Abschlussbericht

von

Dirk Boenke, Julia Nass

Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen

– STUVA – e. V., Köln

Rainer Haas, Sven Hubbes

TH Köln, Fahrzeugsysteme und Produktion, Institut für

Fahrzeugtechnik (IFK), Köln

Bernd Lehming

ehem. Leiter des Referats Immissionsschutz (Lärm,

Luftreinhaltung, Industrieanlagen) – Senatsverwaltung für

Umwelt, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie (Auftragnehmer):

Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen – STUVA – e. V.
Mathias-Brüggen-Str. 41
50827 Köln

in Zusammenarbeit mit
Institut für Fahrzeugtechnik (IFK) der TH Köln und
Dipl.- Ing. Bernd Lehming

Abschlussdatum:

April 2021

Redaktion:

Fachgebiet I 2.3 Lärminderung im Verkehr
Jan Gebhardt

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, September 2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den AutorInnen.

Kurzbeschreibung: Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System

Durch elektrische Antriebstechnologien bei Kraftfahrzeugen ergibt sich eine Reduktion der Schallemissionen aus dem Antriebs- und Abgasstrang vor allem in niedrigen Geschwindigkeitsbereichen bis ca. 30 km/h. Während die positiven Effekte auf den Lärmschutz unstrittig sind, werden mögliche Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit infolge der verringerten Fahrzeuggeräusche kritisch diskutiert.

In der vorliegenden Untersuchung wurde daher nach Lösungsansätzen gesucht, inwiefern das Lärminderungspotenzial von Kraftfahrzeugen mit elektrischem Antrieb unter der Bedingung der Erhaltung bzw. Erhöhung der Verkehrssicherheit ausgeschöpft werden könnte.

Die folgenden forschungsleitenden Fragestellungen wurden dabei adressiert:

- ▶ Wie sehen der rechtliche Rahmen sowie die technischen Anforderungen in Bezug auf das AVAS aus?
- ▶ Welches Unfallrisiko geht vor dem Hintergrund der zunehmenden Zulassungszahlen von elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen für den Fuß- und Radverkehr aus?
- ▶ Welche Personengruppen sind im Zusammenhang mit der Wahrnehmung leiser Kraftfahrzeuge besonders gefährdet?
- ▶ Wie unterscheidet sich die akustische Wahrnehmbarkeit von E-Pkw und Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor?
- ▶ Welches sind die ausschlaggebenden Faktoren für die akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugaußengeräuschen?
- ▶ Welche unterschiedlichen Positionen und Blickwinkel bestimmen die aktuelle Diskussion zum AVAS?
- ▶ Welche alternativen Maßnahmen sind geeignet, das heutige AVAS zu ersetzen?

Abstract: Acoustic evaluation of the Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)

Electric drive technologies for powered vehicles result in a reduction of noise emitted from the drive and exhaust, above all at low speeds of up to about 30 km/h. While the positive effects on noise protection are undisputable, possible effects of reduced vehicle noise on road safety are under critical discussion.

In the present investigation, solutions were therefore sought to find out how the noise reduction potential of electrically driven vehicles can be exploited under the condition of maintaining or improving road safety.

The following questions were addressed in the research work:

- ▶ What are the legal framework and the technical requirements regarding AVAS?
- ▶ What accident risk is posed for pedestrians and cyclists by the increasing number of registered electric vehicles?
- ▶ Which groups of people are especially in danger of failing to notice quiet vehicles?
- ▶ What are the differences between the acoustic perceptibility of electric cars and vehicles with combustion engine?
- ▶ What are the decisive factors for the acoustic perceptibility of external vehicle noise?
- ▶ What various positions and viewpoints determine the current discussion about AVAS?
- ▶ What alternative measures would be suitable to replace the current AVAS?

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	11
Tabellenverzeichnis.....	13
Abkürzungsverzeichnis.....	14
Zusammenfassung	17
Summary	28
1 Problemstellung und Ziel	38
2 Aspekte der Verkehrssicherheit.....	40
2.1 Mobilitätseinschränkungen und Auswirkungen auf die Verkehrsteilnahme	40
2.1.1 Blinde und sehbehinderte Menschen	40
2.1.2 Menschen mit Hörschädigungen.....	41
2.1.3 Kinder im Straßenverkehr	42
2.1.4 Ältere Menschen	43
2.2 Verkehrsunfälle ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen	44
2.2.1 Unfälle von Kindern im Straßenverkehr	45
2.2.2 Unfälle von älteren Menschen	45
2.2.3 Unfälle von Menschen mit Behinderungen.....	46
2.3 Unfälle zwischen elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen.....	46
2.3.1 Bestand an elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen in Deutschland	46
2.3.2 Unfallgeschehen in Deutschland	47
2.3.3 Unfallgeschehen in den Niederlanden	48
2.3.4 Unfallgeschehen in der Schweiz.....	50
2.3.5 Unfallgeschehen in England	52
2.3.6 Unfallgeschehen in den USA	54
2.3.7 Unfallgeschehen in Australien.....	57
2.3.8 Unfallgeschehen in Japan	58
2.4 Fazit Verkehrssicherheit und Ausblick.....	59
3 Akustische und technische Anforderungen an ein AVAS.....	61
3.1 Rechtlicher Rahmen für Einbau und Betrieb	61
3.2 Technische Anforderungen.....	64
3.2.1 Nationale technische Vorgaben	64
3.2.2 Technische Vorgaben außerhalb der EU	66
3.2.3 Umsetzung im Fahrzeug	68

3.2.4	Fazit technische Anforderungen	69
3.3	Aspekte des Emissionsschutzes	70
4	Akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen	72
4.1	Wahrnehmbarkeit in Abhängigkeit des Fahrzeugantriebs	72
4.1.1	Auswertung nationaler Studien	72
4.1.1.1	Studie „ColognE-mobil“	72
4.1.1.2	Studie zur Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugaußengeräuschen in verschiedenen Verkehrssituationen und Betriebszuständen	74
4.1.1.3	Studie mit sehgeschädigten Personen zur Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen mit unterschiedlichem Antrieb	79
4.1.1.4	Studie zur Auswirkung der Geschwindigkeit auf die Geräuschemission	80
4.1.1.5	Studie mit sehgeschädigten Personen zur Wahrnehmbarkeit von E-Pkw	81
4.1.1.6	Studie zur Interaktion zwischen Kraftfahrzeugen und FußgängerInnen	82
4.1.2	Auswertung internationaler Studien	82
4.1.2.1	Studie mit sehgeschädigten Personen zur Wahrnehmbarkeit von Hybridfahrzeugen an Kreuzungen und Parkplätzen	82
4.1.2.2	Studie zur Untersuchung der Auswirkung fehlender Motorengeräusche auf die Verkehrssicherheit	83
4.1.2.3	Studie mit sehgeschädigten und gut sehenden Personen aus Japan	83
4.1.2.4	Studie zum Einfluss der Wahrnehmbarkeit in unterschiedlichen Straßenraumsituationen	86
4.1.2.5	Studie zum Einfluss leiser Fahrzeuge auf die Verkehrssicherheit sehgeschädigter Personen	87
4.1.2.6	Studie zur akustischen Fahrzeugwahrnehmung von RadfahrerInnen	88
4.1.2.7	Studie zur Detektion der Fahrtrichtung von E-Pkw	89
4.2	Weitere Einflussfaktoren bei der Wahrnehmbarkeit von Kraftfahrzeugen	89
4.2.1	Einfluss des Alters der VerkehrsteilnehmerInnen	89
4.2.2	Einfluss des Fahrzeugklangs	92
4.2.3	Einfluss der Fahrzeugreifen	92
4.2.4	Einfluss der Fahrbahnoberfläche	95
4.3	Wahrnehmbarkeit zusätzlicher künstlicher Warngeräusche	97
4.3.1	Technische Anforderungen an künstliche Warngeräusche (AVAS)	97
4.3.2	Auswertung empirischer Studien	98
4.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	102
5	Alternative Technologien und Ansätze zum derzeitigen AVAS	105
5.1	Kategorien alternativer Technologien und Ansätze	105

5.2	Fahrzeugtechnische Maßnahmen	105
5.2.1	Maßnahme F1 – Notbremsassistent	106
5.2.2	Maßnahme F2 – Querverkehrsassistent	107
5.2.3	Maßnahme F3 – Top View Kameras	108
5.2.4	Maßnahme F4 – Spezielle Unfallpräventionssysteme – Beispiel Mobileye	109
5.2.5	Maßnahme F5 – Vernetzte Kommunikation zwischen VerkehrsteilnehmerInnen	110
5.2.6	Maßnahme F6 – Situatives AVAS	112
5.2.7	Maßnahme F7 – „Fußgängerhupe“	113
5.2.8	Maßnahme F8 – Anpassung der AVAS-Frequenzen für Blindenführhunde	113
5.3	Nutzerbasierte Maßnahmen für eine Fahrzeug-Fußgänger-Kommunikation	114
5.3.1	Definition: Wearables und Hilfsmittel	115
5.3.2	Maßnahme N1 – Hörgeräte bzw. Hearables	115
5.3.3	Maßnahmen N2 bis N4 – Digitale Brillen als persönliches Hilfsmittel	116
5.3.3.1	Maßnahme N2 – Brille (Kamera)	117
5.3.3.2	Maßnahme N3 – Datenbrille (Kamera)	117
5.3.3.3	Maßnahme N4 – Augmented Reality-Brille	117
5.3.4	Maßnahmen N5 bis N6 – Smartwatches, Armbänder und Gürtel	118
5.3.4.1	Maßnahme N5 – Smartwatch	118
5.3.4.2	Maßnahme N6 – Taktiles Armband oder Brustgurt	118
5.3.4.3	Maßnahme N7 – Navigationsgürtel	119
5.3.5	Maßnahme N8 bis N10 – Zusatzgeräte für Langstöcke	119
5.3.6	Maßnahmen N11 bis N12 – Anwendungen für Navigationsdienste	120
5.3.6.1	Maßnahme N11 – Spezielle Warn-App	120
5.3.6.2	Maßnahme N12 – Smartphone-Applikation bzw. Handsender – Beispiel Loc-ID	121
5.4	Begleitende Maßnahmen	122
5.4.1	Maßnahme B1 – Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit an Hauptverkehrsstraßen	122
5.4.2	Maßnahme B2 – Kampagnen zur Verkehrsaufklärung	123
5.5	Vergleich und Bewertung unterschiedlicher Maßnahmen	123
5.6	Zusammenfassung und Fazit	126
6	Einbindung von InteressenvertreterInnen	128
6.1	Befragung	128
6.1.1	Methodik	128
6.1.2	Auswertung der Befragung und Bewertung	130

6.1.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	151
6.2	Workshop.....	153
6.2.1	Einführung	153
6.2.2	Ergebnisse der ersten Diskussionsrunde	154
6.2.3	Ergebnisse der zweiten Diskussionsrunde	156
6.2.3.1	Beispiel 1 – Fußgängerwarnton.....	156
6.2.3.2	Beispiel 2 – Situatives AVAS	158
6.2.3.3	Beispiel 3 – Sender-Empfänger-Modell.....	159
6.2.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	160
7	Zusammenfassung und Empfehlungen.....	162
7.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	162
7.2	Empfehlungen.....	165
8	Prisma Statement.....	167
9	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	172
9.1	Rechtliche Regelungen und Standards	172
9.2	Weitere Quellen.....	173
Anhang A: Datenblätter „Alternative Technologien und Ansätze zum derzeitigen AVAS“		179
Anhang B: Fragebogen		202
Anhang C: Leitfaden Telefoninterview.....		216
Anhang D: Dokumentation der Workshop-Ergebnisse		218
Ergebnisse Diskussionsrunde 1		218
Ergebnisse Diskussionsrunde 2		220

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hörschwellenkurven guthörender Menschen und eines mittelgradig schwerhörenden Menschen	42
Abbildung 2: Anforderungen an den Mindestschallpegel gemäß UNECE R 138 hinsichtlich ihrer verringerten Hörbarkeit in Abhängigkeit von der vorgesehenen Prüfgeschwindigkeit.....	65
Abbildung 3: Mindestschallpegel und Maximalpegel der Minimum Sound Requirements for Hybrid and Electric Vehicles für die sogenannte 4-Band-Option.....	67
Abbildung 4: Vergleich der Geräuschpegel von Fahrzeugen mit unterschiedlichem Antrieb bei konstanter Vorbeifahrt.....	73
Abbildung 5: Bewertung der Fahrzeuggeräusche zwischen Verbrenner und E-Pkw mit ähnlichem Geräuschverhalten im Vergleich.....	74
Abbildung 6: Schematische Darstellung der untersuchten Parkplatzsituation	75
Abbildung 7: Erkennungsorte der Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebsarten	76
Abbildung 8: Mittlere Erkennungszeiten von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Antrieben bei unterschiedlichen Hintergrundgeräuschen	78
Abbildung 9: Mittlerer Maximalpegel L_{Amax} für Pkw mit unterschiedlicher Motorisierung bei Einzelvorbeifahrten mit konstanter Fahrgeschwindigkeit	80
Abbildung 10: Momentaufnahme aus den Versuchen mit sehgeschädigten Testpersonen zur Wahrnehmbarkeit von E-Pkw	81
Abbildung 11: Mittlerer Schalldruckpegel in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit	82
Abbildung 12: Versuchsaufbau des Experiments zur Wahrnehmung von herannahenden elektrisch und konventionell angetriebenen Fahrzeugen	84
Abbildung 13: Vergleich des Geräuschpegels von E-Pkw und Verbrennungsfahrzeugen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit	85
Abbildung 14: Beurteilung der Wahrnehmung von E-Pkw und Verbrennungsfahrzeugen in Abhängigkeit vom Hintergrundpegel	86
Abbildung 15: Zeit bis zur Wahrnehmung von konventionell und elektrisch angetriebenen Fahrzeugen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Hintergrundpegeln	87
Abbildung 16: Durchschnittliche Detektionsrate für Fahrzeuge mit unterschiedlichem Antrieb in Abhängigkeit vom Alter der Testpersonen.....	90
Abbildung 17: Durchschnittliche Detektionsrate bei unterschiedlichen Umgebungsschallpegeln in Abhängigkeit vom Alter der Testpersonen.....	91

Abbildung 18: Geräuschemissionen in der Geschwindigkeitsklasse 28 bis 32 km/h je Testfahrzeug	94
Abbildung 19: Durchschnittliche Detektionsrate für unterschiedliche Fahrbahnbeläge.....	95
Abbildung 20: Durchschnittliche Detektionsrate und Standardabweichung für ausgewählte Testszenarien mit Kombination von Fahrbahnoberflächen und Fahrzeugantrieben nach Altersgruppen.....	96
Abbildung 21: Anhebung der Wahrnehmbarkeitsschwelle für ein Störsignal von 1 Kilohertz in Abhängigkeit vom Störpegel	98
Abbildung 22: Entwicklung bei der Verfügbarkeit von Fahrerassistenzsystemen in Neuwagen	106
Abbildung 23: Automatisches Fußgängererkennungssystem	107
Abbildung 24: Automatische Erkennung beweglicher Objekte	109
Abbildung 25: Funktionsweise des Mobileye	110
Abbildung 26: Prinzipielle Darstellung der intelligenten Flottenvernetzung zwischen Fahrzeugen	112
Abbildung 27: Blinder Verkehrsteilnehmer mit Führhund auf einem Fußgängerüberweg	113
Abbildung 28: Fachkompetenzen der befragten InteressenvertreterInnen	131
Abbildung 29: Erfahrungen der InteressenvertreterInnen mit AVAS.....	131
Abbildung 30: Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit durch zunehmenden Anteil an E-Pkw	133
Abbildung 31: Beitrag von AVAS zur Verkehrssicherheit.....	136
Abbildung 32: Schutzbedarf für bestimmte Personengruppen	138
Abbildung 33: Zweckmäßigkeit von AVAS für verschiedene Fahrzustände	139
Abbildung 34: Zweckmäßigkeit von AVAS für verschiedene Fahrmanöver.....	140
Abbildung 35: Markenspezifität beim AVAS	142
Abbildung 36: Notwendigkeit unterschiedlicher Warnsignale bei E-Pkw	143
Abbildung 37: Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit	145
Abbildung 38: Mögliche AVAS-Alternativen	146
Abbildung 39: Akzeptanz einer Sende- bzw. Empfangseinheit für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen	148
Abbildung 40: Sender-Empfänger-Modell am Beispiel einer Langstocknutzerin mit situativer Anpassung des AVAS.....	159

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verkehrsunfälle von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen mit E-Pkw in den Niederlanden von 2007 bis 2009	49
Tabelle 2: Verkehrsunfälle von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen mit Verbrennerfahrzeugen in den Niederlanden von 2007 bis 2009	49
Tabelle 3: Unfälle von Elektro- und Hybridfahrzeugen in der Schweiz von 2011 bis 2016.....	50
Tabelle 4: Anzahl Getöteter und Schwerverletzter bei Unfällen mit E-Pkw in der Schweiz.....	51
Tabelle 5: Anzahl der Kraftfahrzeuge, die im Zeitraum 2005 bis 2008 mit einem zu Fuß gehenden zusammenstießen	52
Tabelle 6: Anzahl zugelassener Fahrzeuge nach Antriebsart (2005 bis 2008).....	52
Tabelle 7: Detektionsabstände in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit	79
Tabelle 8: Durchschnittliche Zeit bis zur Fahrzeugerkennung („time-to-vehicle- arrival“) für unterschiedliche Fahrsituationen bei einem Umgebungsschallpegel von 31 dB	88
Tabelle 9: Durchschnittliche Zeit bis zur Fahrzeugerkennung („time-to-vehicle- arrival“) für unterschiedliche Fahrsituationen bei einem Umgebungsschallpegel von 50 dB	88
Tabelle 10: Ergebnisse der Messwerte an einem der Messpunkte – Referenzwert (1 Fz/h 1m)	93
Tabelle 11: Ergebnisse der Messwerte an einem der Messpunkte – Referenzwert (L_{max} in 7,5 m)	93
Tabelle 12: Bewertung der fahrzeugtechnischen Maßnahmen	124
Tabelle 13: Bewertung der nutzerbasierten Maßnahmen	125
Tabelle 14: Bewertung der begleitenden Maßnahmen.....	125
Tabelle 15: Befragung von ExpertInnen aus unterschiedlichen Fachdisziplinen..	128
Tabelle 16: Zusammenfassende Darstellung der gegensätzlichen Positionen im Workshop	155
Tabelle 17: Suchbereiche und Suchbegriffe.....	168

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
ADFC	Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club
AMD	Makuladegeneration
AR	Augmented Reality
Art.	Artikel
ASEP	Additional Sound Emission Provisions
AVAS	Acoustic Vehicle Alerting System
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
CAR	Center Automotive Research
C2C	Car-to-Car-Kommunikation
C2I	Car-to-Infrastructure-Kommunikation
dB	Dezibel
dB(A)	Dezibel, A-bewertet
DBSV	Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband
DEGA	Deutsche Gesellschaft für Akustik
Destatis	Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
DFKI	Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
DOT	Department of Transportation
Difu	Deutsches Institut für Urbanistik
d. h.	das heißt
DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
DVR	Deutscher Verkehrssicherheitsrat
E-Pkw	Elektrofahrzeug
EML	Elektromotorräder und -leichtfahrzeuge
EmoG	Elektromobilitätsgesetz
etc.	et cetera
e. V.	eingetragener Verein
EU	Europäische Union
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme

Abkürzung	Erläuterung
FAS	Fahrerassistenzsystem
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standards
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft
ggf.	gegebenenfalls
ggü.	gegenüber
HEV	Hybrid Electric Vehicle (Hybridelektrofahrzeug)
HilfsM-RL	Hilfsmittel-Richtlinie
hz	Hertz
ICE	Internal Combustion Engine (Fahrzeug mit konventionellem Verbrennungsmotor)
i. d. R.	in der Regel
IFAM	Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung
JASIC	Japanese Automobile Standards Internationalization Centre
kHz	Kilohertz
KI	Konfidenzintervall
km/h	Kilometer pro Stunde
KML	konventionell betriebenen Motorräder Leichtfahrzeuge
LAI	Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
L_{Amax}	Maximale Schalldruckpegel [db(A)]
L_{max}	Maximale Schalldruckpegel [dB]
L_{Aeq}	äquivalenter Dauerschallpegel (gemittelte Schallenergie über die Zeit) [dB(A)]
L_{eq}	äquivalenter Dauerschallpegel (gemittelte Schallenergie über die Zeit) [dB]
Lden	Tag-Abend-Nacht-Index (zur Beschreibung der allgemeinen Lärmbelästigung)
Lnight	Nachtlärmindex (zur Beschreibung für mögliche Schlafstörungen)
Lkw	Lastkraftwagen
LSA	Lichtsignalanlage
NFB	National Federation of the Blind
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
No.	number

Abkürzung	Erläuterung
Nr.	Nummer
Mio.	Million(en)
mph	miles per hour
o. g.	oben genannt/e/r/s
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pkw	Personenkraftwagen
RR	Relatives Risiko
s.	siehe
StVO	Straßenverkehrs-Ordnung
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
STUVA	Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen
s. u.	siehe unten
TH	Technische Hochschule
TMC	Traffic Message Channel
TRIAS	Test Requirements and Instructions for Automobile Standards
u. a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
UN-BRK	UN-Behindertenrechtskonvention
UNECE	Regelung der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen
usw.	und so weiter
VCD	Verkehrsclub Deutschland
VDA	Verband der Automobilindustrie
vgl.	vergleiche
VO	Verordnung
VwV-StVO	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung
V2X	Vehicle-to-everything Vernetzung
WHO	World Health Organization
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

Zusammenfassung

Einleitung

Straßenverkehrslärm stört oder belästigt mehr als die Hälfte der deutschen Bevölkerung und wird seit vielen Jahren als am meisten störende Lärmquelle wahrgenommen (Umweltbundesamt 2017). Dies zeigte die Auswertung von insgesamt 61 internationalen Lärmwirkungsstudien des Umweltbundesamtes (Babisch 2006). Diese belegen zudem, dass Lärm bei längerer Einwirkung krankmachen kann.

Durch elektrische Antriebstechnologien bei Kraftfahrzeugen ergibt sich eine Reduktion der Schallemissionen aus dem Antriebs- und Abgasstrang vor allem in niedrigen Geschwindigkeitsbereichen. Effekte sind vor allem für den Innenstadtbereich mit zahlreichen Abbrems- und Anfahrvorgängen zu erwarten (Fürst und Kühne 2010, S. 35). Bei schnellerer Fahrt ab ca. 30 km/h dominieren in der Regel und unabhängig von der Fahrbahnoberfläche die Abrollgeräusche infolge des Reifen-Fahrbahn-Kontaktes, sodass die Vorteile bezüglich der Schallemissionen der elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeuge gegenüber Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotoren entfallen.

Während die positiven Effekte auf die Schallemissionen unstrittig sind, werden mögliche Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit infolge der verringerten Fahrzeuggeräusche durchaus kritisch diskutiert. In mehreren internationalen Studien gibt es Hinweise, dass die Unfallrate zwischen Kraftfahrzeugen und FußgängerInnen bzw. RadfahrerInnen (ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen) infolge der zunehmenden Elektrifizierung des Antriebsstranges ansteigen könnte. Als Grund dafür wird vor allem die schlechtere akustische Wahrnehmbarkeit dieser Fahrzeuge infolge der deutlich reduzierten Geräusche bei niedrigen Geschwindigkeiten bzw. in bestimmten Betriebszuständen (z. B. bei Ausparkvorgängen) angegeben. Risiken werden dabei auch durch sogenannte Maskierungseffekte gesehen, bei denen die Emissionen geräuscharmer, elektrisch angetriebener Fahrzeuge durch die Emissionen der lautereren Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor oder andere Geräusche überdeckt werden.

In Anbetracht dessen wird neben einer Gefährdung des Fuß- und Radverkehrs im Allgemeinen, eine besondere Gefährdung für Menschen mit sensorischen oder kognitiven Einschränkungen gesehen, z. B. Kinder, ältere Menschen sowie Menschen mit Hörbehinderungen oder Sehschädigungen. Vor allem blinde und sehbehinderte VerkehrsteilnehmerInnen werden vor dem Hintergrund der steigenden Zulassungszahlen von Elektro- und Hybridelektro-Pkw (im Folgenden: E-Pkw) immer wieder als besonders gefährdet genannt, wenn die bei elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen wegfallende Schallquelle des Antriebs- und Abgasstranges nicht adäquat ersetzt wird.

Mit dem Ziel, dem Sicherheitsbedürfnis ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen in städtischer Umgebung besser gerecht zu werden¹, wird inzwischen auf Grundlage verbindlicher Vorgaben auf internationaler Ebene in vielen Ländern – so auch in der EU und damit in Deutschland – der Einbau eines akustischen Warnsystems (Acoustic Vehicle Alerting System, kurz AVAS) in E-Pkw vorgeschrieben. AVAS zielt dabei weniger auf eine Warnung der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen ab, sondern auf die verbesserte Wahrnehmbarkeit der Fahrzeuge. In den Staaten der Europäischen Union muss das AVAS seit dem 1. Juli 2019 in *neuen Typen* von Hybridelektro- und reinen Elektrofahrzeugen und ab dem 1. Juli 2021 in *allen neuen*

¹ Vgl. dazu auch Erwägungsgründe Nr. 19 und 20 der VO (EU) Nr. 540/2014.

Hybridelektro- und reinen Elektrofahrzeugen eingebaut werden (vgl. Art. 8 VO (EU) Nr. 540/2014).

In dieser Arbeit wurden Lösungsansätze gesucht, inwiefern das Lärminderungspotenzial von Kraftfahrzeugen mit elektrischem Antrieb unter der Bedingung der Erhaltung bzw. Erhöhung der Verkehrssicherheit ausgeschöpft werden könnte. Dafür wurden zunächst die besonders gefährdeten Personengruppen und ihre Mobilitätseinschränkungen speziell im Zusammenhang mit der Wahrnehmung leiser Kraftfahrzeuge identifiziert und beschrieben. Es wurden Daten zu Unfällen zwischen elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen und dem Fuß- und Radverkehr auf nationaler und internationaler Ebene ausgewertet. Darüber hinaus wurden der rechtliche Rahmen sowie die technischen Anforderungen in Bezug auf das AVAS aufgearbeitet. Auf Basis zahlreicher nationaler und internationaler Studien wurde zudem untersucht, wie sich die akustische Wahrnehmbarkeit von E-Pkw und Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor unterscheidet, welche Faktoren für die Fahrzeugwahrnehmung ausschlaggebend sind und welche Fahr- und Umgebungssituationen eine besondere Rolle bei der Wahrnehmbarkeit spielen können. Abschließend wurden fahrzeugseitige, nutzerseitige und begleitende Maßnahmen identifiziert. Diese Maßnahmen wurden dahingehend bewertet, ob sie beispielsweise das derzeitige AVAS soweit ergänzen könnten, um das Geräusch gezielter (situativ) einzusetzen oder gar zu ersetzen. Bei der Bewertung wurden auch die Nutzerakzeptanz, die Marktreife sowie die Kosten berücksichtigt. InteressenvertreterInnen unterschiedlicher Fachrichtungen wurden über eine Befragung und einen Workshop in die Ergebnisfindung des Projekts eingebunden.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden im Folgenden zusammengefasst.

1. Aspekte der Verkehrssicherheit / Unfallanalyse

FußgängerInnen und RadfahrerInnen gehören zur Gruppe der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen. Diese tragen bei Zusammenstößen mit einem Kraftfahrzeug häufig schwere Verletzungen davon. Dazu kommt, dass verschiedene sensorische oder kognitive Einschränkungen die Wahrnehmung von Fahrzeugen im Allgemeinen und leisen Fahrzeugen im Speziellen erschweren können.

Der überwiegende Teil (94 %) von Unfällen zwischen ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen und Kraftfahrzeugen ereignet sich innerhalb von geschlossenen Ortschaften. Kinder und ältere Menschen sind hier als FußgängerInnen besonders häufig in Verkehrsunfälle verwickelt. Zahlen über Verkehrsunfälle von Menschen mit Behinderungen liegen nur in Ausnahmefällen vor, da das statistische Merkmal „Behinderung“ bei der Unfallaufnahme nicht erfasst wird, um diskriminierungsfrei zu erheben.

Häufigster Unfallgegner von zu Fuß gehenden und Rad fahrenden ist ein Kraftfahrzeug. Fahrmanöver mit niedrigen Geschwindigkeiten der Kraftfahrzeuge, wie beispielsweise Anfahren, Rangieren oder Rückwärtsfahren, spielen bei Unfällen mit Beteiligung eines Kraftfahrzeugs und FußgängerInnen eine nicht unerhebliche Rolle. In einer Untersuchung im Auftrag der Allianz-Versicherung (Kubitzki und Fastenmeier 2019) wurde dieser Zusammenhang bei etwa einem Viertel der untersuchten Unfälle festgestellt. Bei älteren Menschen mit Rollator stand ein Drittel der Unfälle im Zusammenhang mit den Fahrmanövern eines Kfz mit niedriger Geschwindigkeit.

Zwar steigt der Bestand an elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen in Deutschland in den letzten Jahren merklich an, bezogen auf den Gesamtbestand der Pkw ist der Anteil von elektrisch angetriebenen Pkw mit derzeit (Stand 2020) etwa 1,4 % allerdings gering. Entsprechend gering

ist die absolute Zahl der Unfälle bzw. der Anteil am Gesamtunfallgeschehen sowohl insgesamt als auch bei Zusammenstößen der E-Pkw mit einem ungeschützten Verkehrsteilnehmenden. Tendenziell zeigt sich in Deutschland zwar ein leicht erhöhtes Unfallrisiko bei diesen Unfällen, aufgrund der überschaubaren Datenlage sind gesicherte Aussagen derzeit allerdings noch mit Unsicherheiten behaftet. Zudem wird angenommen, dass das Unfallgeschehen auch widerspiegeln könnte, dass elektrisch angetriebene Kraftfahrzeuge gegenüber Verbrennern einen größeren Anteil ihrer Verkehrsleistung im innerstädtischen Verkehr erbringen. Im Zuge von Debatten zum Klimaschutz und infolge staatlicher Fördermaßnahmen sind zunehmend größere Steigerungsquoten und Anteile von E-Pkw am Gesamtkraftfahrzeugbestand in Deutschland zu erwarten. Bis nennenswerte Marktanteile erreicht werden und sich valide Zahlen in der Unfallstatistik zeigen, dürfte es allerdings noch einige Jahre dauern.

Die Auswertung der Unfallanalysen aus dem Ausland zeigt ein uneinheitliches Bild. In den amerikanischen Studien wurde ein zum Teil erhöhtes Unfallrisiko für FußgängerInnen und RadfahrerInnen für Unfälle mit E-Kfz im Vergleich zu herkömmlich angetriebenen Fahrzeugen ermittelt. Hier waren ebenfalls Unfälle mit Fahrmanövern bei niedrigen Geschwindigkeiten (z. B. Abbremsen, Abbiegen, Rangieren sowie Ein- und Ausparken) auffällig. Allerdings wurden die Studien aus den USA von einigen anderen WissenschaftlerInnen teilweise methodisch infrage gestellt. Studien aus anderen Ländern, z. B. Schweiz, Niederlande, Japan, konnten dort bislang kein erhöhtes Unfallrisiko mit alternativ angetriebenen Fahrzeugen für den Fuß- und Radverkehr nachweisen.

Weitere Informationen hierzu finden Sie im Bericht in Kapitel 2.

2. Das Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)

Die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) regelt in § 19 die Erteilung und Wirksamkeit der Betriebserlaubnis von Fahrzeugen. Unter anderem sind hier auch akustische Anforderungen geregelt. Erfordernis, Ausgestaltung und Zulassung von AVAS-Systemen ergeben sich dann abgeleitet aus den hier verankerten nationalen und europäischen Verordnungen und Richtlinien. Ersetzende Verordnungen des Europäischen Parlamentes, wie zum Beispiel die VO (EU) 2018/858 gelten ohne explizite Erwähnung in der StVZO.

Maßgeblich für aktuelle Entwicklungen und die EU-Typgenehmigung ist seit September 2020 die Verordnung VO (EU) 2018/858 über die Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge.

Vorschriften zum Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen sind in der Richtlinie 2014/50/EU geregelt und Rollgeräuschemissionen von Reifen ergeben sich aus der Verordnung 661/2009/EG. Die UNECE R 28 definiert Vorgaben der Schallzeichen und der Kraftfahrzeuge hinsichtlich ihrer Schallzeichen. Die Genehmigung von Reifen hinsichtlich der Rollgeräuschemission, Nasshaftung und Rollwiderstand sind in UNECE R 117 verankert. Ausgestaltung und Prüfung von AVAS Systemen erfolgt gemäß UNECE R 138² vom Oktober 2016 und einer zugehörigen Änderung vom Januar 2017.

² Regelung der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen — Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung geräuscharmer Straßenfahrzeuge hinsichtlich ihrer verringerten Hörbarkeit.

Von wesentlicher Bedeutung für die weltweit agierenden Fahrzeughersteller ist außerdem die FMVSS No. 141, welche die Ausgestaltung und Prüfung von AVAS Systemen für den US-Markt beschreibt.

Die geltenden Vorschriften ermöglichen es, sehr unterschiedliche Klangbilder in der Umsetzung eines AVAS zu implementieren. Zur Erteilung der Betriebserlaubnis sind im Wesentlichen die UNECE R 138 und die FMVSS No. 141 maßgeblich. Beide beruhen auf der Definition von Mindestschallpegeln in festgelegten Terzbändern und machen Vorgaben für vorgegebene Prüfungsgeschwindigkeiten. Während in beiden Vorschriften auch ein zu erreichender Gesamtpegel in Abhängigkeit der Geschwindigkeit festgelegt ist, findet sich die Definition einer Pegelobergrenze nur in der FMVSS No. 141.

Grundsätzlich können im Rahmen der Grenzwerte auch Klangbilder mit scharfen tonalen Anteilen, sich wiederholenden Frequenzmustern, Schwebungen, Ticks und anderen impulsartigen Anteilen erzeugt werden. Solche Klangbilder werden als unangenehm rau und lästig wahrgenommen. Die im gesetzlichen Rahmen einzuhaltenden Pegelwerte erlauben daher im Rückschluss keine genauen Aussagen über Warnqualität, Lästigkeit oder Störung durch das Klangbild. Abhängig von unterschiedlichen Umsetzungsvarianten in zugelassenen Fahrzeugen kann zukünftig eine entsprechende Ergänzung oder Überarbeitung der Vorschriften erforderlich werden.

Beide Vorschriften sind gegenüber 2-Band und 4-Band Optionen offen, das heißt, dass mindestens zwei bzw. vier nicht benachbarte Terzbänder den zu erfüllenden Mindestpegel je Terzband erreichen müssen. Die National Highway Traffic Safety Administration hat die FMVSS No. 141 explizit für eine 2-Band Option offengehalten. In der Vorschrift ist dazu von einer Untersuchung, dies zu erlauben, die Rede. Unterschiedlich umzusetzen ist in jedem Fall die geschwindigkeitsabhängige Signalveränderung. Es ist denkbar, eine Frequenzveränderung für den europäischen Markt so zu gestalten, dass diese innerhalb eines Terzbandes bleibt und gleichzeitig auch die Vorschrift FMVSS No. 141, welche nur eine Lautstärkeänderung vorsieht, erfüllt werden kann.

Weltweit sehen derzeit alle Regelungen ein Verbot einer Pausenfunktion³ vor. Aus rein technischer Sicht ist es jedoch einfach, eine Pausenfunktion für lokale Märkte oder sogar in Abhängigkeit von der Fahrzeuglokalisierung zu implementieren.

Die hohen geschwindigkeitsunabhängigen Pegelobergrenzen in der UNECE R 138 ermöglichen mit der Option veränderbarer Klangbilder eine adaptive Reaktion auf maskierenden Umgebungslärm. Die Vorschrift FMVSS No. 141 lässt ausdrücklich keine Veränderung durch den Fahrzeuglenkenden oder einer außenstehenden Person zu, allerdings ist ein sogenanntes Set mit unterschiedlichen Klangbildern unter der Regie des Herstellers ausdrücklich erlaubt und vorgesehen. Auf diese Weise kann ebenfalls eine adaptive Reaktion in gewissen Grenzen umgesetzt werden. Ein interaktives Device zum Beispiel mit einem Fußgänger ist nach diesem Regelwerk allerdings nicht umsetzbar.

Zur Verhinderung unnötig erhöhter akustischer Emissionen sind die in der amerikanischen Regelung vorgegebenen maximalen Gesamtpegel zu begrüßen. Es ist anzunehmen, dass diese Obergrenzen sich aufgrund von Einsparpotential in der Entwicklung von Warnsystemen für

³ Pausenfunktion: Der Fahrzeuglenkende könnte das AVAS nach Start des Fahrzeugs aktiv abschalten.

beide Märkte recht wahrscheinlich auch für Fahrzeuge gemäß UNECE R 138 zukünftig durchsetzen werden.

Außerhalb der vorgeschriebenen Prüfgeschwindigkeiten ist die freie Gestaltung des Klangbildes grundsätzlich möglich und AVAS-Geräte können zur Soundgenerierung genutzt werden. Um dies zu regulieren erarbeitet die Arbeitsgruppe Geräusche und Reifen (Working Party on Noise and Tyres der UNECE) zusätzliche Bestimmungen zur Schallemission (Additional Sound Emission Provisions (ASEP) als Ergänzung zur UNECE Richtlinie 51 (UNECE R 51).

Weitere Informationen hierzu finden Sie im Bericht in Kapitel 3.

3. Akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen

Elektrisch angetriebene Fahrzeuge sind bei geringen Fahrgeschwindigkeiten bis ca. 20 km/h leiser als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Bei höheren Geschwindigkeiten stellt bei allen Fahrzeugen das Abrollgeräusch der Reifen auf der Fahrbahnoberfläche das dominierende Geräusch dar – unabhängig vom Antrieb. In bestimmten Situationen könnten E-Pkw von FußgängerInnen und RadfahrerInnen möglicherweise nicht rechtzeitig wahrgenommen werden. Insbesondere wird hier ein Problem für Menschen mit sensorischen und altersbedingten Einschränkungen gesehen.

Die Unterschiede in der akustischen Wahrnehmbarkeit zwischen E-Kfz und konventionell angetriebenen Kraftfahrzeugen sowie die Abschätzung der möglichen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit waren Bestandteil einer Reihe von wissenschaftlichen Untersuchungen in den letzten zehn Jahren. Die empirischen Untersuchungen kamen dabei zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Generell wurde festgestellt, dass elektrisch angetriebene Kraftfahrzeuge bei niedrigen Geschwindigkeiten akustisch schlechter wahrnehmbar sind als konventionell angetriebene Kraftfahrzeuge. In den meisten Studien wurde weiterhin festgestellt, dass die auditive Wahrnehmbarkeit von E-Kfz durch ein akustisches Tonsignal, welches das fehlende Antriebsgeräusch ersetzt, grundsätzlich verbessert und damit die Verkehrssicherheit erhöht werden kann. Durch das zusätzliche Tonsignal wurden E-Pkw unter jeweils denselben Randbedingungen fast genauso gut wahrgenommen, wie Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Im Hinblick auf die Wahrnehmbarkeit und Wirksamkeit akustischer Warngeräusche insbesondere für sehgeschädigte Menschen wurde festgestellt, dass Personen, die aufgrund ihrer Sehbeeinträchtigung verstärkt auf ihre auditive Wahrnehmung zur Orientierung und Fahrzeuglokalisierung angewiesen sind, von dem zusätzlichen Fahrzeuggeräusch im Straßenverkehr stark profitieren können. So konnten blinde Testpersonen einen E-Pkw mit künstlich erzeugtem Tonsignal bereits deutlich früher wahrnehmen als das gleiche Fahrzeug ohne ein derartiges Signal. Eine Herausforderung lag allerdings darin, die genaue Fahrtrichtung der E-Pkw (Geradeausfahrt oder Abbiegevorgang) festzustellen.

Einige Studien kamen allerdings zum Ergebnis, dass ein künstlich erzeugtes akustisches Signal zur Verbesserung der Wahrnehmbarkeit von E-Pkw nicht sinnvoll oder wirksam sei. Diese Untersuchungen stützen sich zum einen auf die Befragung von Fahrzeuglenkenden von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen (teils bereits mit AVAS ausgestattet), die überwiegend keine gefährlichen Situationen mit FußgängerInnen und RadfahrerInnen erlebt hatten. Zum anderen wurde die These aufgestellt, dass es bereits seit längerer Zeit leise Kraftfahrzeuge im Straßenverkehr gäbe, sich dies aber nicht in der Unfallstatistik niedergeschlagen hätte.

In Studien, die eine Wirksamkeit eines Zusatzsignals ermittelt hatten, wurden die Klangeigenschaften des spezifischen Tons als entscheidend für die Wahrnehmbarkeit und Wirksamkeit des akustischen Warngeräusches bewertet. Beispielsweise sollte der Ton für eine bessere Wahrnehmbarkeit über einen Anteil hoher Frequenzen (ab ca. 1.000 Hz) verfügen. Grundsätzlich lässt sich die Wahrnehmbarkeit des künstlich erzeugten Tonsignals durch gezielte Bearbeitung akustischer Parameter (Schwingungen, Amplituden-Modulation, Frequenzmodulation) verbessern. Um eine ausreichende Wirksamkeit zu erzielen sowie die Akzeptanz bei VerkehrsteilnehmerInnen sicherzustellen, wird weiterhin ein akustisch „angenehmes“ Geräusch empfohlen. Dieses sollte insbesondere vor dem Hintergrund des Lärmschutzes keinesfalls lästig oder nervig klingen. Weiterhin wurde festgestellt, dass die Wirksamkeit des akustischen Zusatztons bei E-Pkw in hohem Maße vom Umgebungsgeräuschpegel abhängt. Um eine besonders hohe Effektivität zu erzielen, wird in einigen Studien daher empfohlen, dass der Pegel des abgestrahlten Signals zum einen ca. 2 bis 3 dB über dem Geräuschpegel der Umgebung liegen sollte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein akustisches Tonsignal bei E-Kfz mit geringen Fahrgeschwindigkeiten mehrheitlich als sinnvolle und notwendige Maßnahme für die Sicherheit von zu Fuß gehenden und Rad fahrenden erachtet wird. Geräuscharme Fahrzeuge können durch diese zusätzliche Geräuschquelle von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen besser detektiert und lokalisiert werden, wodurch Zusammenstöße potenziell vermieden werden können. Hinzu kommt, dass von den akustischen Warngeräuschen nicht nur VerkehrsteilnehmerInnen mit sensorischen bzw. kognitiven Einschränkungen profitieren, sondern alle ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen, da die Wahrnehmbarkeit des E-Kfz generell verbessert wird.

Es ist allerdings anzumerken, dass die bisherigen Untersuchungen zur Wirksamkeit akustischer Warngeräusche nicht vollständig auf das heutige AVAS übertragbar sind. Es wurden in den letzten Jahren zwar zahlreiche akustische Zusatzsignale getestet, jedoch entsprachen diese nicht alle den heute geltenden Vorgaben für ein AVAS gemäß UNECE R 138. Demnach besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

Weitere Informationen finden Sie im Bericht im Kapitel 4.

4. Alternative Maßnahmen

Um das grundsätzliche Potenzial von ergänzenden oder alternativen Lösungsansätzen zum AVAS zu untersuchen, wurden verschiedene Maßnahmen hinsichtlich der eingesetzten Technik, ihrer Marktreife, ihrer Nutzerakzeptanz sowie ihrer Kosten analysiert, abgeschätzt und bewertet. Der derzeitige regulatorische Rahmen wurde dabei bewusst ausgeklammert. Die Erkenntnisse beruhen auf einer umfangreichen Literaturrecherche sowie Interviews mit Fachleuten. Analysiert wurden fahrzeugtechnische, nutzerbasierte sowie verkehrsregelnde bzw. aufklärende Maßnahmen. Die Umsetzung der Maßnahmen kann dabei entweder als eigenständige Lösung erfolgen oder es kann eine Kombination unterschiedlicher Maßnahmen sinnvoll sein.

Fahrzeugseitige Systeme, z. B. Fahrerassistenzsysteme wie Notbremsassistenten, haben sich in den letzten Jahren zunehmend im Markt verbreitet. Aufgrund aktueller, verbindlicher Vorgaben für den Einbau solcher Systeme ist mit einer beschleunigten Verbreitung und Durchdringung am Markt zu rechnen. Diese Systeme haben das Potenzial, zukünftig zumindest über einen situativen Einsatz des AVAS nachdenken zu können. Eine akustische Warnung beim rückwärts Rangieren würde dann beispielsweise nur ertönen, wenn sich hinter dem Fahrzeug oder in der Nähe dahinter eine Person befände.

Auch auf Nutzerseite existieren eine Reihe von persönlichen Geräten (Gadgets) oder Hilfsmitteln, die als Hinweisgeber auf die Anwesenheit von E-Kfz infrage kämen. Dabei wäre in der Regel ein Sender-Empfänger-Prinzip erforderlich. Ein E-Kfz sendet seine Anwesenheit in die Umgebung und persönliche Geräte melden die Anwesenheit an den jeweiligen Nutzenden. Diese verfügbaren Geräte fokussieren sich derzeit mit wenigen Ausnahmen allerdings nicht auf die Anwendung im Bereich der Konnektivität im Verkehr. Es fehlt daher eine Schnittstelle für die Kommunikation mit den Fahrzeugen. Eine standardisierte Schnittstelle wäre jedoch für eine Verbreitung und die Akzeptanz der Systeme entscheidend. Zudem könnte die Umsetzung insbesondere bei den nutzerbasierten Maßnahmen an hohen Anschaffungskosten für die AnwenderInnen scheitern. Für blinde und sehbehinderte Menschen werden solche Zusatzfunktionen für Hilfsmittel in der Regel nicht von den Krankenkassen bezahlt. Erschwerend kommt hinzu, dass die nutzerbasierten Maßnahmen im Bereich Hilfsmittel nur für einen kleinen Anwenderkreis bestimmt sind (z. B. sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen). Neben Problemen bei der Entwicklung einer standardisierten Schnittstelle kann ein umfangreicher Schutz für den gesamten Fuß- und Radverkehr nicht sichergestellt werden. Entsprechend dürfte das Potenzial für Smartphone-Applikationen und kompatible Gadgets (z. B. Smartwatches) am größten sein. Hier gibt es in der praktischen Anwendung bereits Lösungsansätze speziell für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen (Kommunikation über das Smartphone mit Lichtsignalanlagen und in der Fahrgastinformation).

Als begleitende Maßnahmen kommen vor allem eine Reduktion der zulässigen Geschwindigkeit sowie Verkehrssicherheitskampagnen infrage.

Abschließend ist festzustellen, dass ein vollständiger Ersatz eines AVAS – zunächst unabhängig vom Regelungsrahmen betrachtet – derzeit nicht umzusetzen sein wird. Auch eine Kombination von Maßnahmen wird in der Regel nicht ersetzend wirken können. Die Verkehrssicherheit ließe sich somit zwar erhöhen, ein vollständiger Ersatz scheitert aber vornehmlich an einer fehlenden Marktdurchdringung mit geeigneten Schnittstellen und einer fehlenden Nutzerakzeptanz. Letzteres gilt vor allem für die nutzerbezogenen Maßnahmen.

Wahrscheinlicher dürfte es sein, Maßnahmen zur Unterstützung heranzuziehen, um das AVAS damit beispielsweise gezielter und situativ einsetzen zu können. Dies gilt insbesondere für Maßnahmen im Bereich der Fahrzeugtechnik (Fahrerassistenzsysteme), aber auch auf Seiten der nutzerbasierten Maßnahmen. Hier wird ein Potenzial für eine hohe Akzeptanz und Verbreitung vor allem im Bereich der Wearables gesehen. Insgesamt sind hier aber keine kurzfristigen Lösungsansätze zu erwarten, da insbesondere auch die Zeit für die technische Entwicklung (z. B. Sicherheitslevel, Schnittstellen) und für eine Marktdurchdringung zu berücksichtigen ist. Auch für notwendige regulatorische Änderungen wird ein eher mittelfristiger Zeitbedarf von fünf bis zehn Jahren zu erwarten sein.

Weitere Informationen hierzu finden Sie im Bericht in Kapitel 5.

5. Einbindung von InteressenvertreterInnen

5.1 Befragung

Das übergeordnete Ziel der im Projekt durchgeführten Befragung lag darin, die unterschiedlichen Positionen und Blickwinkel, welche die aktuelle Diskussion zum AVAS bestimmen, in Erfahrung zu bringen. Hierfür wurden insgesamt 27 InteressenvertreterInnen aus unterschiedlichen Fachbereichen befragt (Fragebogen mit anschließendem Telefoninterview).

Die meisten InteressenvertreterInnen waren sich einig, dass der Vorteil der Elektromobilität – das geräuscharme Fahren – nicht durch eine künstliche Schallquelle verspielt werden dürfe. Allerdings wurde auch betont, dass eine sichere Mobilität für alle Verkehrsteilnehmenden zu gewährleisten sei. Die meisten der Befragten sprechen sich daher für eine Modifikation des derzeitigen AVAS aus, welche Gesundheitsschutz und Verkehrssicherheit gleichermaßen berücksichtigen würde. Dies könnte möglicherweise auch die Effektivität und Akzeptanz des Warnsystems erhöhen.

So befürwortete beispielsweise der Großteil der InteressenvertreterInnen ein einheitliches, markantes und einem Fahrzeug zuordenbares Signal, um die Aufmerksamkeit aller VerkehrsteilnehmerInnen zu erregen und so mögliche Zusammenstöße zwischen E-Pkw und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen zu vermeiden. Das akustische Signal wurde insbesondere für Menschen mit SehSchädigung, für Kinder und für ältere VerkehrsteilnehmerInnen als eine große Hilfe im Straßenverkehr gesehen. Zudem sollte das Geräusch bei Fahrgeschwindigkeiten bis 20 km/h nicht dauerhaft ertönen, sondern situativ in kritischen Verkehrssituationen. Aus Sicht des Lärmschutzes wurde gefordert, dass sich das Signal automatisch an den Schallpegel der Umgebung anpasst. Die Störung sollte keinesfalls größer sein als der Nutzen des Warnsystems.

Ein markenspezifisches Warngeräusch wurde im Allgemeinen abgelehnt, da dies weder im Hinblick auf die Verkehrssicherheit noch im Hinblick auf den Lärmschutz einen Vorteil brächte. Vielmehr wurde angenommen, dass durch die Vielzahl unterschiedlicher Warntöne eine Kakophonie im Straßenverkehr entstehen könnte, welche die Wahrnehmbarkeit der leiseren Fahrzeuge möglicherweise erschweren könnte.

Weitere Informationen hierzu finden Sie im Bericht in Kapitel 6.1.

5.2 Workshop

Zum Projektende wurde ein Workshop mit insgesamt 34 InteressenvertreterInnen aus unterschiedlichen Fachbereichen durchgeführt. Der Workshop verfolgte dabei folgende Ziele:

- ▶ Neue Perspektiven im Zusammenhang mit AVAS ermöglichen,
- ▶ das eigene Wissen in Bezug auf AVAS erweitern,
- ▶ Verständnis für die Sichtweisen anderer InteressenvertreterInnen entwickeln,
- ▶ mögliche Alternativen im Zusammenhang mit AVAS diskutieren,
- ▶ Lösungsansätze für Kompromisslösungen erarbeiten sowie
- ▶ Gleichgewicht zwischen Verkehrssicherheit und Lärmschutz schaffen.

Die zum Teil sehr emotionalen Diskussionen im Workshop zeigten, dass die Ansichten der InteressenvertreterInnen im Hinblick auf die Notwendigkeit des AVAS teilweise stark variieren. Insbesondere die VertreterInnen aus dem Bereich Lärmschutz und die VertreterInnen der Menschen mit Behinderung vertraten teilweise grundlegend unterschiedliche Meinungen zum AVAS. Hierbei wurde sehr deutlich die Meinung vertreten, dass E-Pkw insbesondere für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen eine Gefährdung darstellen könnten; auch wenn bisher kaum persönliche Erfahrungen vorlagen. Ein akustisches Warngeräusch sei u. a. für diese

Personengruppe von großer Bedeutung, um sich auch zukünftig selbstbestimmt und sicher im Straßenverkehr bewegen und orientieren zu können.

Die VertreterInnen aus dem Bereich Lärmschutz stimmten zu, dass der Verkehrssicherheit höchste Priorität eingeräumt werden müsse. Sie sprachen sich jedoch auch dafür aus, dass ein AVAS bei E-Pkw nicht zu zusätzlichem Verkehrslärm beitragen dürfe. Die erzeugten Geräusche dürften von AnwohnerInnen oder den Fahrzeuglenkenden keinesfalls als lästig empfunden werden. Insbesondere in ruhigen Wohngebieten und bei Nacht wurde das AVAS als vermeidbare Lärmquelle angesehen. Weiterhin wurde vertreten, dass die Wirksamkeit eines AVAS nicht abschließend erwiesen sei. Zum derzeitigen Zeitpunkt lägen sowohl auf Seiten der Fahrzeuglenkenden als auch auf Seiten der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen zu wenig Erfahrungen mit E-Pkw vor. Daher ließe sich über das von E-Pkw ausgehende Risikopotenzial derzeit keine verlässliche Aussage treffen.

VertreterInnen der Verkehrssicherheit hielten dagegen, dass sich die Gefährdung durch leisere E-Kfz nicht an quantitativen Unfallzahlen festmachen ließe. Es müsse frühzeitig und präventiv gehandelt werden, um Zusammenstöße zwischen E-Pkw und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen zu vermeiden.

Die zukünftige Aufgabe bestehe darin, einhergehend mit steigender Verbreitung von AVAS dessen Wirksamkeit zu überprüfen und diese gemeinsam mit allen beteiligten Interessengruppen geeignet fortzuentwickeln, um so den Belangen des Lärmschutzes und den Belangen der Verkehrssicherheit gleichermaßen gerecht zu werden.

Weitere Informationen hierzu finden Sie im Bericht in Kapitel 6.2.

6. Fazit und Empfehlungen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Ziel und die gleichzeitige Herausforderung zukünftig darin liegen, eine maximale Sicherheit für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen bei minimalem Umgebungslärm und minimaler Lästigkeit zu erzeugen. Das AVAS sollte zukünftig dahingehend optimiert werden, dass es nicht lauter ertönt als notwendig, jedoch bei gleichzeitiger Gewährleistung der Sicherheit für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen. Eine Überdimensionierung der Warngeräusche von E-Pkw ist auf jeden Fall auch in Zukunft zu vermeiden. Weiterhin sollte mit steigender Verbreitung des AVAS dessen Wirksamkeit abschließend überprüft und diese gemeinsam mit allen beteiligten Interessengruppen entsprechend fortentwickelt werden, um so den Lärmschutz und die Verkehrssicherheit besser zu vereinen.

Zudem sollte der Schwerpunkt zukünftig weniger auf dem Sounddesign des AVAS liegen, sondern vielmehr auf der Reduzierung des Maskierungseffektes. Denn dieser trägt maßgeblich dazu bei, dass die Wahrnehmbarkeit leiser Fahrzeuge verschlechtert wird. Würde der Schallpegel der Umgebung im Allgemeinen sinken, könnte auch das AVAS zukünftig leiser gestaltet werden. Dies hätte eine positive Auswirkung auf den Lärmschutz sowie die Gesundheit der Menschen.

Bei den nachfolgend aufgeführten Empfehlungen handelt es sich um Ansätze für zukünftige Änderungen bzw. Optimierungen in den unterschiedlichen Untersuchungsbereichen, welche im Rahmen des Forschungsvorhabens betrachtet wurden.

Regelungen

- ▶ Zur Verhinderung unnötig erhöhter akustischer Emissionen sollten, wie in der amerikanischen Regelung auch, maximale Gesamtpegel vorgegeben werden.
- ▶ Eine Befassung der Arbeitsgruppe Geräusche und Reifen (Working Party on Noise and Tyres der UNECE) im Rahmen der Regelungen für zusätzliche Bestimmungen zur Schallemission (Additional Sound Emission Provisions (ASEP)) könnte die Nutzung der AVAS-Geräte zur zusätzlichen Soundgenerierung einschränken.

Unfallanalyse

- ▶ Das Unfallmonitoring sollte bei Zusammenstößen von E-Pkw mit ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen zukünftig verbessert werden, z. B. mittels
 - detaillierter Aufnahme der Unfallursachen in den Polizeibericht. Hier wäre zukünftig ggf. das Unfallprotokoll der Polizei entsprechend anzupassen.
 - Aufnahme, ob eine Person mit Behinderung (v. a. sensorischen und körperlicher Einschränkungen) an dem Unfall beteiligt war. Ist dies der Fall, sollte die Art der Behinderung ins Unfallprotokoll aufgenommen werden, um möglichst Rückschlüsse auf das Gefährdungspotenzial von E-Pkw ziehen zu können.
- ▶ Es sollte eine verbesserte Unfallauswertung bei allen Arten von Elektro- und Hybridfahrzeugen (Pkw, LKW, Busse, Lieferwagen, E-Mofa, E-Roller usw.) erfolgen.

Durchführung von Studien zur Wahrnehmbarkeit von Fahrzeuggeräuschen

- ▶ Bei zukünftigen empirischen Untersuchungen zum AVAS sollten die Randbedingungen entsprechend der Vorgaben in der UNECE R 138 festgelegt werden, um eine Vergleichbarkeit der Untersuchungen gewährleisten zu können. Bisher variieren die untersuchten Faktoren in den Studien zum Teil stark, z. B. hinsichtlich des Fahrzeugtyps, der Anzahl der betrachteten Fahrzeuge, des Geschwindigkeitsbereichs, der Position der Mikrofone, des Umgebungspegels, der Reifen, der Bodenbeläge, der Einschränkungen der Nutzergruppen usw. Einheitliche Randbedingungen könnten die Vergleichbarkeit der Studien erleichtern.

Einbindung von InteressenvertreterInnen

- ▶ Es sollten zukünftig mehr FahrerInnen von E-Pkw in Befragungen eingebunden werden. Ein entsprechender Fragebogen könnte beispielsweise in Elektromobilitätsvereinen, in entsprechenden Foren oder bei sogenannten E-Stammtischen verteilt werden. Die praktischen Erfahrungen von FahrerInnen von E-Pkw könnten neue Erkenntnisse im Hinblick auf kritische Situationen mit FußgängerInnen bzw. RadfahrerInnen sowie die Wirksamkeit des heutigen AVAS bringen.

Technische Empfehlungen

- ▶ Aus akustischer und technischer Sicht liegt großes Potenzial in adaptiven Warnsystemen. Bei ausreichender Marktreife und Zuverlässigkeit ergibt sich ein großes allgemeines

Lärminderungspotenzial bei gleichzeitiger Stressminderung der Fahrerin bzw. des Fahrers. Mit bedarfsgerechter Warnung erhöht sich außerdem die Warnqualität im Vergleich zu Dauersignalen. Die Akzeptanz von allen InteressenvertreterInnen ist Voraussetzung zur Umsetzung solcher Maßnahmen.

Weitere Empfehlungen

- ▶ Geräuschemissionen im Straßenverkehr sollten nach Möglichkeit reduziert werden, um den Maskierungseffekt zu verringern und dadurch die akustische Wahrnehmbarkeit von E-Pkw zu verbessern. Hier könnte beispielsweise bei der Reduktion des Geräuschpegels lauter Fahrzeuge angesetzt werden, wie z. B. Lastkraftwagen, Bussen, Fahrzeugen der Müllabfuhr usw.
- ▶ Erfahrungsberichte der FahrerInnen von E-Pkw sollten genauer analysiert werden. Diese werden jedoch frühestens in den nächsten Jahren (d. h. mit steigenden Zulassungszahlen von E-Pkw) zur Verfügung stehen. Die Störwirkung des AVAS für FahrerInnen im Fahrzeug könnte ein zusätzlicher Aspekt sein, z. B. auch bei städtischen Linienbussen.
- ▶ Krankenkassen sollten zukünftig spezielle „Wearables“ (Zusatzgeräte) für Personen mit sensorischen bzw. kognitiven Einschränkungen bezuschussen und auch die Schulung für solche Geräte übernehmen. Dadurch könnte auch die Akzeptanz für diese Systeme gesteigert werden. Die Umsetzung scheitert derzeit zum einen an teils hohen Anschaffungskosten, die mehrere tausend Euro betragen können. Zum anderen fehlt es an Kompetenzen für die Bedienung insbesondere digitaler Hilfsmittel.
- ▶ Es sollten bewusstseinsbildende Maßnahmen sowohl für FußgängerInnen und RadfahrerInnen als auch FahrerInnen von E-Pkw zum Einsatz kommen, um diese auf die Risiken von E-Pkw bei niedrigen Geschwindigkeiten aufmerksam zu machen. Die Informationen könnten beispielsweise in öffentlichen Kampagnen und Fahrschulen vermittelt werden.
- ▶ Eine regelmäßige Überprüfung der Vorgaben von AVAS-Systemen kann zur Verbesserung der Warnqualität führen und minimiert gleichzeitig akustische Emissionen einhergehend mit steigender Zahl zugelassener elektrischer Fahrzeuge und ist gerade in der Übergangsphase zu vorwiegend elektrischem Verkehr erforderlich.

Summary

Introduction

Road traffic noise upsets or disturbs more than half the German population and has been seen for many years as the most disturbing source of noise (Umweltbundesamt 2017). This is shown by evaluation of altogether 61 international studies into the effects of noise by the Umweltbundesamt (Babisch 2006). The studies also show that long-term exposure to noise can impair health.

Electric drive technologies for powered vehicles result in a reduction of noise emitted from the drive and exhaust, above all at low speeds. Effects are to be expected particularly in inner-city areas, with repeated stopping and starting (Fürst und Kühne 2010, S. 35). At speeds above about 30 km/h, the rolling noise of the tyre-road contact is normally dominant, independent of the road surfacing, so that electrically driven vehicles no longer have noise emission advantages compared to vehicles with internal combustion engines (ICE).

While the positive effects on noise emissions are undisputed, the possible effects of reduced vehicle noise on road safety due to reduced vehicle noise are often discussed critically. Many international studies have delivered indications that the rate of accidents involving powered vehicles and pedestrians or cyclists (unprotected road users) could worsen due to the increasing electrification of drive trains. The reason given for this supposition is above all the worse acoustic perception of these vehicles due to the considerably reduced noise at low speeds or in certain operational states (e.g. emerging from a parking space). Risks are also seen from so-called masking effects, where the emissions of quiet electrically driven vehicles are masked by emissions from louder ICE vehicles or other ambient noise.

Considering this, in addition to a general hazard for pedestrian and cycle traffic, particular danger is described for people with sensory or cognitive impairment, e.g. children, elderly people or those with hearing or sight difficulties. Above all blind and visually impaired road users are repeatedly mentioned as especially endangered by the increasing numbers of registered electric and hybrid vehicles (hereafter: electric cars) if the drive and exhaust noise lacking from electrically driven vehicles is not adequately replaced.

In order to better reflect the safety needs of unprotected road users in urban environments⁴, many countries – including EU and thus also Germany – have now introduced binding requirements for the installation of acoustic warning systems (Acoustic Vehicle Alerting System, abbreviated AVAS) in electric cars. AVAS is not primarily intended to warn unprotected road users but rather to improve perceptibility of the vehicle. In the countries of the European Union, AVAS has been a mandatory installation in *new types* of hybrid electric and purely electric vehicles since 1 July 2019 and from 1 July 2021 in *all new* hybrid electric and purely electric vehicles (cf. Art. 8 VO (EU) Nr. 540/2014).

This work seeks solution approaches for the exploitation of the noise reduction potential of electrically powered vehicles under the condition of maintaining or improving road safety. For this purpose, firstly the particularly endangered groups regarding the perception of quiet vehicles are identified and described. Data of accidents between electrically driven vehicles and pedestrians and cyclists at the national and international levels is evaluated. The legal framework and technical requirements for AVAS are also considered. Based on numerous

⁴ cf. also here the recitals Nos. 19 and 20 of VO (EU) Nr. 540/2014.

national and international studies, the work investigates what factors are decisive for the acoustic perception of electric cars and vehicles with combustion engine and which traffic and environmental situations are particularly significant for perceptibility. Finally, measures are identified to the vehicle side, for the user side and attendant measures. These measures are then evaluated to discover, for example whether they could supplement the current AVAS in order to use the noise more appropriately (depending on situation) or even replace the AVAS. The evaluation also considers user acceptance, readiness for market and costs. Representatives of the interests of various professions were involved through a questionnaire and workshop in the findings of the project.

The results of this research work are summarised below.

1. Aspects of road safety / accident analysis

Pedestrians and cyclists belong to the group of unprotected road users. They often suffer severe injury from collisions with powered vehicles. Furthermore, various sensory or cognitive impairments can restrict the perception of vehicles in general and quiet vehicles in particular.

Most (94 %) accidents between unprotected road users and vehicles occur in built-up areas. Children and older people are particularly frequently involved in road accidents. Figures for road accidents involving people with disabilities are only available in exceptional cases since the statistical feature "disability" is not included in the recording of accidents in order to record without discrimination.

Pedestrians and cyclists most often suffer accidents with powered vehicles. Manoeuvring of the vehicle at low speed, for example starting, parking or reversing, plays a not inconsiderable role in accidents involving vehicles and pedestrians. In an investigation from the Allianz, this situation was determined for about a quarter of the investigated accidents. With older people using walking frames, a third of the accidents were connected with low-speed manoeuvring of a car.

The stock of electrically driven vehicles in Germany has indeed risen noticeably in recent years but related to the overall number of cars, the proportion of electrically driven cars is still low at about 1.4 % (as of 2020). The absolute number of accidents or the proportion of overall accidents is also correspondingly low, also for collisions of electric cars with an unprotected road user. There is indeed a tendency in Germany to a slightly increased accident risk with these accidents, but due to the limited data basis, reliable statements are still subject to uncertainty. It is assumed that the fact that electric cars are driven for a larger part of their total kilometres in urban traffic than ICE cars could also be reflected in the accident statistics. In the course of debates about climate protection and as a result of statutory subsidies, increasingly larger rates of increase and proportion of electric cars in the overall vehicle stock in Germany are to be expected. For noteworthy market shares to be reached leading to valid figures appearing in the statistics might however take some years.

Evaluation of accident analyses from abroad shows an inconsistent picture. In the American studies, an increased accident risk for pedestrians and cyclists has sometimes been determined for accidents with electric cars compared to traditionally powered cars. In these studies, accidents with cars manoeuvring at low speed (e.g. braking, turning, reversing and parking and leaving parking spaces) were also noticeable. However, studies from some scientists in the USA have sometimes been questioned. Studies from other countries (e.g. Switzerland, Netherlands,

Japan) have not yet shown any increased accident risk for pedestrians and cyclists with alternatively driven vehicles.

You can find further information about this in Section 2 of the long version.

2. The Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)

The German highway code (StVZO) regulates in § 19 the issue and validity of operating permits for vehicles, including the acoustic requirements. The requirement, specification and approval of AVAS systems are then derived from the underlying national and European regulations and guidelines. Replacement regulations of the European Parliament, like for example VO (EU) 2018/858, apply without explicit mention in the StVZO.

The decisive regulation for current developments and the EU type approval is Regulation VO (EU) 2018/858 on the approval and market surveillance of motor vehicles and their trailers, and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles, which has been valid since September 2020.

The noise level of powered vehicles is regulated in Richtlinie 2014/50/EU and rolling noise emitted by tyres are covered by Verordnung 661/2009/EG. UNECE R 28 defines requirements for audible warning devices of motor vehicles with regard to their audible signals. The approval of tyres concerning rolling noise emissions, wet adhesion and rolling resistance are laid down in UNECE R 117. Specification and testing of AVAS is performed according to UNECE R 138⁵ from October 2016 with an associated revision from January 2017.

Of essential importance for internationally active car manufacturers is also the FMVSS No. 141, which describes the specification and testing of AVAS systems for the US market.

The applicable regulations make it possible to implement very different sounds in the implementation of an AVAS. For the issue of an operational permit, UNECE R 138 and FMVSS No. 141 are essentially decisive. Both are based on the definition of minimum noise levels in fixed third octave bands and specify the testing speeds. While an overall noise level to be reached depending on speed is laid down in both regulations, a noise upper limit is only to be found in FMVSS No. 141.

Fundamentally, it is also possible to make sounds with sharp tonal parts, repeating frequency patterns, beats, ticks and other impulse-type parts within the framework of the thresholds. Such sounds are perceived as unpleasantly rough and annoying. The threshold levels to be maintained according to statutory regulations therefore permit as a conclusion no precise statements about warning quality, annoyance or disturbance by the sound. Independent of the different implementation variants in approved vehicles, a corresponding supplement or revision of the regulations may be necessary in the future.

Both regulations are open for 2-band or 4-band options, meaning that at least two or four non-adjacent third bands have to reach the required minimum level. The National Highway Traffic Safety Administration has explicitly kept FMVSS No. 141 open for a 2-band option. The regulation mentions an investigation to allow this. In any case the speed-dependant signal change has to be implemented differently. It is conceivable to design a frequency shift for the

⁵ Regulation No. 138 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE) — Uniform provisions concerning the approval of Quiet Road Transport Vehicles with regard to their reduced perceptibility.

European market so that it remains inside the third band and can simultaneously comply with Regulation FMVSS No. 141, which only intends one change of volume.

At the moment, all the regulations in the world forbid a pause function⁶. From a purely technical point of view, however, it is simple to implement a pause function for local markets or even depending on the vehicle localisation.

The high speed-independent upper thresholds in UNECE R 138 enable with the option of variable sounds an adaptive reaction to masking ambient noise. The regulation FMVSS No. 141 expressly permits no change by the driver or an external person, although a so-called set with different sounds under the control of the manufacturer is expressly permitted and intended. This provides another way of implementing an adaptive reaction within certain limits. But for example, a device with pedestrian interaction cannot be implemented under this regulation.

In order to prevent unnecessarily increased noise emissions, the maximum overall level given in the American regulations is welcome. It is to be assumed that these upper thresholds will with all probability also be implemented in the future for vehicles according to UNECE R 138 due to the savings potential in the development of warning systems.

Outside the specified test speeds, free design of the sound is possible in principle and AVAS devices can be used for sound generation. In order to regulate this, the Working Party on Noise and Tyres of the UNECE is working on additional sound emission provisions (ASEP) as a supplement to UNECE guideline 51 (UNECE R 51).

You can find further information about this in Section 3 of the long version.

3. Acoustic perceptibility of vehicles

Electrically driven vehicles are quieter than ICE vehicles at low speed up to about 20 km/h. At higher speeds, the rolling noise of the tyres on the road surface is the dominant noise from all vehicles, independent of the method of propulsion. In certain situations, electric cars may not be noticed soon enough by pedestrians and cyclists. This is a problem particularly for people with sensory and age-related restrictions.

The differences in the acoustic perceptibility between electric vehicles and conventionally powered vehicles and the estimation of the possible effects on road safety were part of a range of scientific investigations in the last ten years, with the empirical investigations coming to different results.

In general, it was determined that electrically driven vehicles cannot be perceived as well at low speeds as conventionally driven vehicles. Most of the studies found that the perceptibility of electric vehicles is generally improved by an acoustic signal, which replaces the missing engine noise, and that road safety can thus be improved. Through the additional sound signal, electric cars were noticed almost as well under the same conditions as ICE vehicles. With regard to the perceptibility and effectiveness of acoustic warning sounds, it was found that persons who rely on their hearing for orientation and to localise vehicles due to their impaired visibility can greatly profit from the additional vehicle noise in road traffic. For example blind test subjects could notice an electric car with an artificially produced signal considerably earlier than the

⁶ Pause function: The driver can actively switch off the AVAS after starting the vehicle.

same vehicle without such a signal. However, one challenge was to determine the exact travel of the electric vehicle (driving straight on or turning).

Some studies however came to the conclusion that an artificially produced acoustic signal is not sensible or effective in improving the perceptibility of electric cars. These investigations were based on surveys of drivers of electrically driven vehicles (partly already equipped with AVAS), who had mostly not experienced any dangerous situations with pedestrians or cyclists. The theory was also posed that there have already been quiet vehicles in road traffic for some time without having had any effect on the accident statistics.

In studies, which found an additional signal to be effective, the sound properties of the specific sound were evaluated as decisive for the perceptibility and effectiveness of the acoustic warning sound. For example, the sound should include a share of higher frequencies (from about 1.000 Hz) for better perceptibility. Generally, the perceptibility of the artificially produced acoustic signal could be improved by targeted adaptation of acoustic parameters (oscillation, amplitude modulation, frequency modulation). In order to achieve sufficient effectiveness, an acoustically "pleasant" noise is still recommended. This should not sound disturbing or annoying, particularly considering the requirements of noise protection. It was also determined that the effectiveness of the additional acoustic sound from electric cars depends greatly on the ambient noise level. In order to achieve particularly high effectiveness, it is recommended in some studies that the level of the emitted signal should be about 2 to 3 dB louder than the sound level in the surroundings

In summary it can be stated that an acoustic sound signal emitted from electric cars at low travel speeds is seen by the majority as a sensible and necessary measure for the safety of pedestrians and cyclists. Quiet vehicles can be detected and localised better by unprotected road users thanks to this additional sound source, which can potentially avoid collisions. Furthermore, not only road users with sensory or cognitive impairments profit from acoustic warning sound but also all unprotected road users since the perceptibility of the electric car is generally improved.

It should however be mentioned that investigations until now of the effectiveness of acoustic warning sounds are not completely transferable to current AVAS. In recent years, numerous additional acoustic signals have indeed been tested but not all of these complied with the currently valid regulations for an AVAS according to UNECE R 138. Accordingly, there is a need for further research here.

You can find further information about this in Section 4 of the long version.

4. Alternative Measures

In order to investigate the basic potential of supplementary or alternative solutions for AVAS, various measures were analysed, estimated and evaluated regarding the technology used, their market readiness, user acceptance and cost. The current regulatory framework was intentionally neglected. The findings are based on extensive research in the literature as well as interviews with experts. The analysis covered vehicle, user-based and traffic management or information measures. The measures can be carried out either as an independent solution or a combination of different measures can be sensible.

Vehicle systems, e.g. driver assistance systems like emergency braking or parking assistants, have become increasingly common on the market in recent years. Due to the current binding requirements for the installation of such systems, accelerated propagation and penetration of the market is to be expected. These systems have the potential in the future to at least be able to

consider application of the AVAS according to situation. An acoustic warning when reversing for example would only sound if a person is behind the vehicle or nearby.

Also on the user side, there is a range of personal devices (gadgets) or aids, which could be used to indicate the presence of an electric car. This would normally necessitate a transmitter-receiver principle. An electric car transmits its presence into the surroundings and personal devices report the presence of the relevant user. The available devices are however with few exceptions not mainly intended for traffic connectivity use, so there is no interface for communication with vehicles. A standardised interface would however be decisive for the propagation and acceptance of the systems. Implementation could also fail due to high purchase costs for the users, particularly for user-based measures. For blind and visually handicapped people, such additional functions for aids are not normally paid for by health insurance. Another difficulty is that user-based measures in the field of assistance aids are only intended for a small circle of users (e.g. visually impaired road users). In addition to problems with the development of such an interface, comprehensive protection for all pedestrian and cycle traffic cannot be guaranteed. Accordingly, the potential could be greatest for smart phone applications and compatible gadgets (e.g. smart watches). There are already solutions in practical application here, especially for visually impaired road users (communication over the smart phone with traffic lights and passenger information systems).

As accompanying measures, particularly a reduction of permissible speeds and road safety campaigns could be considered.

Finally, it can be stated that complete replacement of an AVAS – initially considered independent of the regulatory framework – cannot be implemented at the moment. Even a combination of measures will not normally be able to act as a replacement. Road safety could indeed be improved in this way, but a complete replacement would be unsuccessful, mainly due to a lack of market penetration with suitable interfaces and a lack of user acceptance. The latter also applies for user-related measures.

It may be more probable to use measures for support in order for example to be able to use the AVAS more practically and according to situation. This applies particularly for measures of automotive technology (driver assistance systems), but also for user-based measures. Potential is seen here for high acceptance and propagation, above all in the field of wearables. Altogether however no short-term solutions are to be expected, in particular since the timespan for technical development (e.g. safety level, interfaces) and for market penetration have to be considered here. The necessary regulatory changes can also be expected to take five to ten years.

You can find further information about this in Section 5 of the long version.

5. Involvement of stakeholders

5.1 Questionnaire

The prime aim of the questionnaire carried out as part of the project was to gain experience of the various positions and viewpoints, which determine the current discussion about AVAS. For this purpose altogether 27 representatives of interests from various technical fields were surveyed (questionnaire with subsequent telephone interview).

Most of the stakeholders were agreed that the advantage of electric mobility – quiet driving – should not be spoilt by an artificial source of noise. However many also emphasised that safe

mobility has to be guaranteed for all road users. Most of those questioned were therefore in favour of a modification of the current AVAS, which should equally consider health protection and road safety. This could possibly also improve the effectiveness and acceptance of the warning system.

So for example the largest part of the stakeholders were in favour of a uniform, distinctive signal that can be assigned to one vehicle in order to activate the awareness of all road users and thus avoid possible collisions between electric vehicles and unprotected road users. The acoustic signal was seen as of great assistance in road traffic, especially for people with visual impairment, children and older road users. The sound should not be continuous at speeds of up to 20 km/h but according to critical traffic situations. From the viewpoint of noise protection, the signal should be automatically adapted to the ambient noise level. The disturbance should never be greater than the use of the warning system.

A specific warning sound for each make was generally disapproved since this would not be of advantage for road safety or with regard to noise protection. Rather more it was assumed that the range of different warning sounds could lead to a cacophony in road traffic, which could possibly make the perception of quiet vehicles more difficult.

You can find further information about this in Section 6.1 of the long version.

5.2 Workshop

At the end of the project, a workshop was held with altogether 34 stakeholders from various technical fields. The workshop had the following aims:

- ▶ Enable new perspectives in regard to AVAS,
- ▶ Extend our own knowledge about AVAS,
- ▶ Develop understanding for the viewpoints of other stakeholders,
- ▶ Discuss possible alternatives to AVAS,
- ▶ Produce solutions for compromise solutions and
- ▶ Find a balance between road safety and noise protection.

The sometimes very emotional discussions in the workshop showed that the viewpoints of the stakeholders sometimes differed greatly with regard to the necessity of the AVAS. Particularly those representing the field of noise protection and those representing people with impairments sometimes expressed fundamentally different opinions about AVAS. The opinion was very clearly expressed that electric vehicles could represent a particular danger for visually impaired road users, even with little personal experience until now. An acoustic warning sound was of great importance for this group in order to continue to be able to move and orient themselves independently and safely among road traffic.

The stakeholders from the field of noise protection agreed that road safety has to be given the highest priority. They did however express the opinion that an AVAS-equipped electric vehicle should not contribute to additional traffic noise. The sounds produced should in no case be perceived as annoying by residents or drivers. Particularly in quiet residential areas and at night, the AVAS was regarded as an avoidable source of noise. The point was also made that the

effectiveness of an AVAS has not been finally proved. At the moment there is too little experience with electric vehicles, neither on the side of drivers nor unprotected road users. Therefore no reliable statement can be made at the moment about the risk potential from electric vehicles.

Representatives of road safety on the other hand considered that the hazard from quieter vehicles cannot be determined from quantitative accident figures. Early preventative action is necessary in order to avoid collisions between electric cars and unprotected road users.

The future task will be to test the effectiveness of AVAS as it becomes increasingly used and to appropriately further its development in collaboration with all involved stakeholders in order to equally take into account the needs of both noise protection and of road safety.

You can find further information about this in Section 6.2 of the long version.

6. Conclusion and recommendations

In summary it can be stated that the aim and at the same time the challenge in the future will be to create maximum safety for unprotected road users with a minimum of ambient noise and annoyance. The AVAS should be optimised in the future so that it does not sound louder than necessary while also ensuring the safety of all road users. Over-dimensioning of the warning sound from electric cars should continue to be avoided in all cases. Furthermore, as the AVAS becomes more widespread, its effectiveness should be finally checked and appropriately further developed together with all involved interest groups in order to better combine noise protection with road safety.

Also the emphasis in the future should be less on the sound design of the AVAS but rather on the reduction of the masking effect, because this contributes greatly to worsening the perception of quiet vehicles. If the general noise level in the surroundings was reduced, then the AVAS could also be made quieter. This would have a positive effect on noise protection and on public health.

The recommendations listed represent approaches for future changes or optimisation in the various areas of investigation, which were considered as part of this research work.

Regulations

- ▶ The predefinition of maximum overall sound pressure levels, as in the U.S. regulations, will prevent unnecessarily increased acoustic emissions.
- ▶ Involvement of the UNECE Working Party on Noise and Tyres within the framework of the drafting of rules for Additional Sound Emission Provisions (ASEP) may limit the use of AVAS devices for additional sound generation.

Accident analysis

- ▶ Accident monitoring of collisions between electric cars and unprotected road users should be improved, for example through
 - more detailed recording of accident causes in the police report. The police accident report would have to be appropriately changed in this regard.
 - Recording whether people with disabilities (including sensory and bodily impairment) were involved in the accident. If this is the case, then the type of disability should be

recorded in the accident protocol in order to be able to draw conclusions about the hazard potential.

- ▶ Accident evaluation should be improved for all types of electric and hybrid vehicles (cars, tucks, busses, delivery vans, electric mopeds, scooters etc.).

Performance of studies into the perceptibility of vehicle noises

- ▶ In future empirical investigations of AVAS, the constraints should be specified according to the requirements in the UNECE R 138 in order to ensure comparability of the investigations. Until now, the factors investigated in studies have sometimes varied greatly, e.g. regarding the vehicle type, number of vehicles considered, speed range, position of the microphones, ambient noise level, tyres, road surfacing, the disabilities of the user groups etc. Uniform constraints could simplify the comparability of the studies.

Involvement of stakeholders

- ▶ More drivers of electric vehicles should be involved in future investigations. An appropriate questionnaire could for example be distributed among electric mobility organisations, in corresponding forums, or at electric mobility meetings. The practical experience of drivers of electric cars could deliver new findings with regard to critical situations with pedestrians or cyclists as well as the effectiveness of the current AVAS.

Technical recommendations

- ▶ From an acoustic and technical point of view, there is a great potential in adaptive warning systems. With sufficient market readiness and reliability, there is a great general noise reduction potential with simultaneous stress relief for the drivers. Furthermore, warning quality increases with demand-responsive systems compared to continuous sound signals. The acceptance of all stakeholders is a prerequisite for the implementation of such measures.

Further recommendations

- ▶ Noise emissions in road traffic should be reduced if possible, in order to reduce the masking effect as much as possible and thus improve the acoustic perceptibility of electric vehicles. One approach would be to reduce the noise level from loud vehicles such as e.g. trucks, busses, waste disposal vehicles etc.
- ▶ Reports of the experience of drivers of electric vehicles should be analysed more precisely. These will however be available at the earliest in the next few years (i.e. with increasing numbers of registered electric cars). The disturbing effect of AVAS for drivers in the vehicles could be an additional aspect, e.g. also for urban busses.
- ▶ Health insurers should in the future subsidise special "wearables" (additional devices) for people with sensory or cognitive impairments and also pay for training in their use. This could improve the acceptance of such systems. Their implementation currently fails partly

due to the high purchase costs, which can amount to thousands of Euros, and there is also a lack of competence for their operation, particularly for digital aids.

- ▶ Awareness-raising measures should be used both for pedestrians and cyclists and also for drivers of electric vehicles in order to inform them about the risks from electric cars at low speeds. Information could be propagated for example in public campaigns and driving schools.
- ▶ Regular checking of the requirements of AVAS systems can lead to improvement of the warning quality and simultaneously minimise acoustic emissions associated with the increasing number of registered electric vehicles. This is particularly necessary in the transition phase to predominantly electric traffic.

1 Problemstellung und Ziel

Straßenverkehrslärm stört oder belästigt mehr als die Hälfte der deutschen Bevölkerung. Er wird seit vielen Jahren als am meisten störende Lärmquelle wahrgenommen (Umweltbundesamt 2017). Dies zeigt die Auswertung von insgesamt 61 internationalen Lärmwirkungsstudien des Umweltbundesamtes (Babisch 2006). Diese belegen zudem, dass Lärm bei längerer Einwirkung krankmachen kann. So steigt beispielsweise die Beanspruchung des Herz-Kreislaufsystems durch Straßenverkehrslärm mit Mittelungspegeln oberhalb 65 dB(A) tagsüber deutlich an.

Durch elektrische Antriebstechnologien bei Kraftfahrzeugen ergibt sich eine Reduktion der Schallemissionen aus dem Antriebs- und Abgasstrang vor allem in niedrigen Geschwindigkeitsbereichen (Fürst und Kühne 2010, S. 35). Effekte sind vor allem für den Innenstadtbereich mit zahlreichen Abbrems- und Anfahrvorgängen zu erwarten. Bei schnellerer Fahrt ab ca. 30 km/h dominieren in der Regel die Abrollgeräusche infolge des Reifen-Fahrbahn-Kontaktes, sodass die Vorteile bezüglich der Schallemissionen der elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeuge gegenüber Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotoren entfallen.

Während die positiven Effekte auf die Schallemissionen unstrittig sind, werden mögliche Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit infolge der verringerten Fahrzeuggeräusche durchaus kritisch diskutiert. In mehreren internationalen Studien gibt es Hinweise, dass die Unfallrate zwischen Kraftfahrzeugen und FußgängerInnen bzw. RadfahrerInnen (ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen) infolge der zunehmenden Elektrifizierung des Antriebsstranges ansteigen könnte. Als Grund dafür wird vor allem die schlechtere akustische Wahrnehmbarkeit dieser Fahrzeuge infolge der deutlich reduzierten Geräusche bei niedrigen Geschwindigkeiten bzw. in bestimmten Betriebszuständen (z. B. bei Ausparkvorgängen) angegeben. Risiken werden dabei auch durch sogenannte Maskierungseffekte gesehen, bei denen die Emissionen geräuscharmer, elektrisch angetriebener Fahrzeuge durch die Emissionen der lauterer Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor oder andere Geräusche überdeckt werden.

Neben einer Gefährdung des Fuß- und Radverkehrs im Allgemeinen, gelten Menschen mit bestimmten sensorischen oder kognitiven Einschränkungen als besonders gefährdet, z. B. Kinder, ältere Menschen sowie Menschen mit Hörbehinderungen oder Sehschädigungen. Insbesondere letztgenannte Gruppe der blinden und sehbehinderten Menschen wird immer wieder als besonders gefährdet genannt, wenn die bei elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen wegfallende Signalquelle des Antriebs- und Abgasstranges nicht adäquat ersetzt wird. Auf die Problematik der geräuscharmen Kraftfahrzeuge mit elektrischem Antrieb wies in diesem Zusammenhang bereits im Jahr 2005 die National Federation of the Blind (NFB) hin. Sie setzte sich daraufhin verstärkt für die Einführung von künstlich erzeugten Mindestgeräuschen bei Elektro- und Hybridelektro-Pkw (im Folgenden: E-Pkw) in den USA ein. Das von der NFB geforderte Warngeräusch sollte den konventionellen Motorengeräuschen ähneln und ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen auf die Kraftfahrzeuge aufmerksam machen.

Mit dem Ziel, dem Sicherheitsbedürfnis ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen in städtischer Umgebung besser gerecht zu werden⁷, wird inzwischen auf Grundlage verbindlicher Vorgaben auf internationaler Ebene in vielen Ländern – so auch in der EU und damit in Deutschland – der

⁷ Vgl. dazu auch Erwägungsgründe Nr. 19 und 20 der VO (EU) Nr. 540/2014.

Einbau eines akustischen Warnsystems (Acoustic Vehicle Alerting System, kurz AVAS) vorgeschrieben. AVAS zielt dabei weniger auf eine Warnung der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen ab, sondern vielmehr auf die verbesserte Wahrnehmbarkeit geräuscharmer Fahrzeuge. In den Staaten der Europäischen Union muss das AVAS seit dem 1. Juli 2019 in *neuen Typen* von Hybridelektro- und reinen Elektrofahrzeugen und ab dem 1. Juli 2021 in *allen neuen* Hybridelektro- und reinen Elektrofahrzeugen eingebaut werden (vgl. Art. 8 VO (EU) Nr. 540/2014).

In dieser Arbeit wurden Lösungsansätze gesucht, inwiefern das Lärminderungspotenzial von Kraftfahrzeugen mit elektrischem Antrieb unter der Bedingung der Erhaltung bzw. Erhöhung der Verkehrssicherheit ausgeschöpft werden könnte. Dafür wurden zunächst die besonders gefährdeten Personengruppen und ihre Defizite bei der Mobilität identifiziert. Im Anschluss wurden Daten zu Unfällen zwischen elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen und dem Fuß- und Radverkehr auf nationaler und internationaler Ebene ausgewertet. Darüber hinaus wurden der rechtliche Rahmen sowie die technischen Anforderungen in Bezug auf das AVAS aufgearbeitet. Auf Basis zahlreicher nationaler und internationaler Studien wurde zudem untersucht, wie sich die akustische Wahrnehmbarkeit von E-Pkw und Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor unterscheidet und welche Faktoren für die Fahrzeugwahrnehmung ausschlaggebend sind. Einen weiteren Baustein dieser Arbeit stellte die Identifizierung und Analyse möglicher Alternativen zum derzeitigen AVAS dar. Dabei standen insbesondere fahrzeugtechnische und nutzerbasierte Maßnahmen im Fokus. InteressenvertreterInnen unterschiedlicher Fachrichtungen wurden über eine Befragung und einen Workshop in die Ergebnisfindung des Projekts eingebunden.

2 Aspekte der Verkehrssicherheit

2.1 Mobilitätseinschränkungen und Auswirkungen auf die Verkehrsteilnahme

Als so genannte ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen⁸ gelten FußgängerInnen und RadfahrerInnen, die im Straßenverkehr innerorts besonders gefährdet sind (Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) 2013, S. 2). Entsprechend nennt die VO (EU) Nr. 540/2014 als grundsätzliches Ziel eines AVAS die Verbesserung der Sicherheit der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen in städtischer Umgebung (vgl. Erwägungsgründe Nr. 19 und 20 in der VO).

Im Zusammenhang mit der Wahrnehmung von Fahrzeuggeräuschen spielen vor allem sensorische Einschränkungen (Sehen, Hören) sowie weitere altersbedingte Einschränkungen (bei Kindern und älteren Menschen) eine Rolle. Im Folgenden werden die Auswirkungen verschiedener Einschränkungen auf die Verkehrssicherheit insbesondere im Zusammenhang mit der Wahrnehmung von Fahrzeugen dargestellt.

2.1.1 Blinde und sehbehinderte Menschen

Ein großer Teil der Informationen in der Umgebung eines Menschen – und damit auch bei der Mobilität im Verkehrsraum – wird über den Sehsinn erfasst. Neben dem direkten (fovealen) Anvisieren eines Objektes dient zur Vororientierung das periphere Sehen. Blinde und sehbehinderte Menschen⁹ sind in ihrer visuellen Wahrnehmung auf unterschiedliche Weise in ihrem fovealen oder peripherem Sehen eingeschränkt (z. B. Einschränkung der Sehschärfe, Einschränkung des Gesichtsfeldes usw.). Die Qualität des Sehvermögens wird durch den Visus beschrieben. Ein Visus von 0,1 oder 10 Prozent bedeutet beispielsweise: Wenn ein Normalsehender aus 100 Meter einen bestimmten Gegenstand erkennen kann, dann erkennt jemand mit einem Visus von 10 Prozent diesen erst aus 10 Meter Entfernung.

In Deutschland wird nach folgender gesetzlicher Definition in drei unterschiedliche Gruppen von Sehbehinderungen unterschieden (Robert Koch-Institut 2017, S. 6):¹⁰

- ▶ Ein Mensch gilt als **sehbehindert**, wenn er auf dem besser sehenden Auge selbst mit Brille oder Kontaktlinsen einen Visus von nicht mehr als 30 % aufweist.
- ▶ Als **hochgradig sehbehindert** gilt ein Mensch, wenn seine Sehschärfe auf keinem Auge und auch nicht beidäugig mehr als 5 Prozent beträgt oder wenn andere hinsichtlich des Schweregrades gleichzusetzende Störungen der Sehfunktion vorliegen (z. B. Einschränkung des Gesichtsfeldes).
- ▶ Als **blind** gilt ein Mensch, dem das Augenlicht vollständig fehlt oder dessen Sehschärfe auf keinem Auge und auch nicht beidäugig mehr als 2 % beträgt oder wenn andere Störungen

⁸ Ungeschützt, da diese Gruppen nicht über passive Schutzvorrichtungen verfügen, welche die Unfallfolgen im Falle eines Zusammenstoßes abmildern.

⁹ Per Definition wird in Deutschland in blind und sehbehindert unterschieden. Zusammenfassend spricht man von Menschen mit Sehschädigung. Im Folgenden wird grundsätzlich dieser Begriff verwendet.

¹⁰ International erfolgt teils gegenüber der deutschen Definition eine abweichende Einstufung für Blindheit und Sehbehinderung. Beispielsweise erfolgt gemäß WHO bereits ab einem Visus von 0,05 eine Einstufung als „blind“ (Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) 2020).

des Sehvermögens von einem solchen Schweregrad vorliegen, dass sie dieser Beeinträchtigung der Sehschärfe gleichzustellen sind.

Die Ausprägung der visuellen Einschränkungen kann dabei in Abhängigkeit vom Alter, von der Art der Augenerkrankung und des Stadiums der Erkrankung auch innerhalb einer der drei Gruppen individuell sehr unterschiedlich sein. So kann ein großer Teil der Menschen, die per gesetzlicher Definition als blind eingestuft sind, zumindest Hell-Dunkel-Kontraste wahrnehmen. Menschen mit einer hochgradigen Sehbehinderung können aufgrund einer Einschränkung des Gesichtsfeldes nur sehr schwer den Raum erfassen und bewegen sich dort unsicher fort, während sie beispielsweise ohne Probleme eine Zeitung lesen können, da ihr foveales Sehen nicht beeinträchtigt ist.

Zur Kompensation ihrer visuellen Einschränkung sind sehgeschädigte Menschen auf starke visuelle und taktile Kontraste sowie vor allem akustische Informationen angewiesen. Im Verkehrsraum finden sich Beispiele unter anderem an Lichtsignalanlagen, an denen taktile und akustische Signale die Grünzeit anzeigen. Leise Fahrzeuge können daher von Menschen mit eingeschränktem Sehsinn nicht oder schwer wahrgenommen werden. Umgebungsgeräusche erschweren die Wahrnehmung zusätzlich, wenn sie wichtige Geräusche überlagern oder sogar übertönen. Geschwindigkeiten von Fahrzeugen lassen sich bei verminderter Sehkraft schlecht abschätzen.

Gerade im Alter nehmen Erkrankungen wie die altersbedingte Makuladegeneration (AMD), Grüner Star (Glaukom) oder Netzhautschädigungen durch Diabetes mellitus (diabetische Retinopathie) stark zu. (Robert Koch-Institut 2017, S. 11) Aufgrund der steigenden Lebenserwartung und der zunehmenden Anzahl von älteren und hochbetagten Menschen in der Gesellschaft, ist daher in Deutschland mit einem Anstieg der Anzahl von Personen mit visuellen Einschränkungen zu rechnen.¹¹

2.1.2 Menschen mit Hörschädigungen

Auch das Hörvermögen spielt im Straßenverkehr eine wichtige Rolle, um Informationen erfassen zu können. Wie das periphere Sehen dient es der Aufmerksamkeitszuwendung. Informationen über die Verkehrsumgebung werden im Unterbewusstsein aufgenommen. Droht Gefahr, wird die Aufmerksamkeit fokussiert (vgl. Hagemeister und Tegen-Klebingat 2011, S. 42).

Eine Hörschädigung wird nach dem Grad des Hörverlustes unterschieden in Taubheit, hochgradige Schwerhörigkeit, mittelgradige Schwerhörigkeit und leichtgradige Schwerhörigkeit (Deutscher Gehörlosen-Bund e. V. 2021). Die Gruppe hörgeschädigter Menschen lässt sich aufteilen in gehörlose Menschen und schwerhörige Menschen.

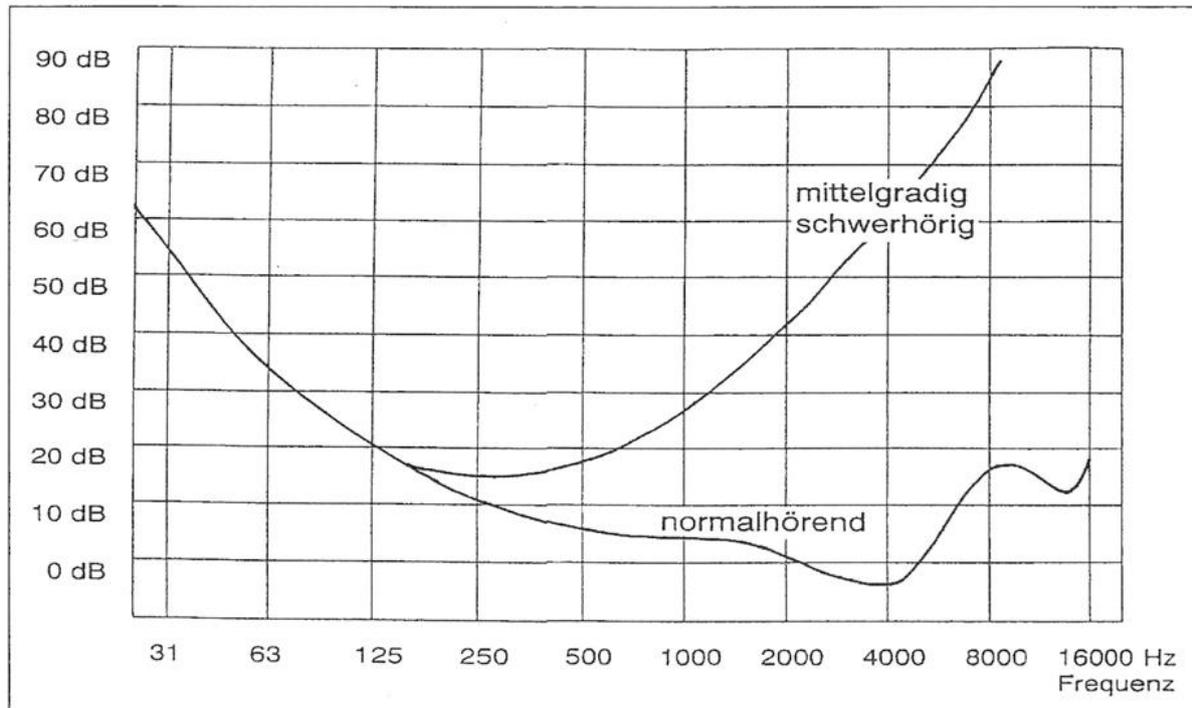
Gehörlose Menschen sind in der Regel hochgradig schwerhörig oder taub. Sie können herannahende Fahrzeuge außerhalb ihres Blickfeldes sowie Warnhinweise (z. B. Hupen) nicht wahrnehmen. Dies gilt gleichsam für Fahrzeuge mit Verbrennungsantrieb als auch für E-Pkw mit einem akustischen Warnsystem. Für diese Gruppe hat das AVAS demnach keine Bedeutung. Diese Gruppe der gehörlosen Menschen ist auf visuelle oder taktile Informationen angewiesen, um die sensorischen Defizite des Hörens kompensieren zu können.

Schwerhörige Menschen (leicht- bis mittelgradig schwerhörig) können akustische Hinweise wahrnehmen, jedoch in Abhängigkeit von der Art und Ausprägung ihrer Einschränkung sowie der Umgebungsbedingungen in unterschiedlicher Qualität. Sie benötigen für eine bestimmte Schallempfindung einen in Abhängigkeit von der Hörschädigung höheren Schallpegel. Dies gilt

¹¹ Diese Entwicklung könnte abgeschwächt auftreten, wenn der zukünftige medizinische Fortschritt Kompensationen ermöglichen würde (vgl. Robert Koch-Institut 2017, S. 9).

insbesondere für hohe Frequenzen (vgl. Abbildung 1). Durch entsprechende technische Hilfsmittel können die behinderungsbedingten Defizite zum Teil ausgeglichen und akustische Informationen besser aufgenommen werden. In ungünstigen akustischen Situationen, z. B. bei Störgeräuschen oder langen Nachhallzeiten, kann die Aufnahme und Verarbeitung wesentlicher akustischer Informationen zusätzlich erschwert sein (Grossmann et al. 2008, S. 11).

Abbildung 1: Hörschwellenkurven guthörender Menschen und eines mittelgradig schwerhörigen Menschen



Quelle: Grossmann et al. 2008, S. 11

Für Hörschädigungen gilt zudem, dass die Einschränkung für andere VerkehrsteilnehmerInnen nicht ohne Weiteres erkannt wird und es dadurch grundsätzlich zu Kommunikationsproblemen kommen kann.

Wie für Seheinschränkungen gilt auch für Hörbehinderungen, dass die Ausprägung der Einschränkung mit steigendem Alter zunimmt und aufgrund des demografischen Wandels zukünftig mit mehr Menschen mit einer Hörbehinderung gerechnet werden muss.

2.1.3 Kinder im Straßenverkehr

Kinder erleben ihre Umwelt anders als Erwachsene. Im Zusammenhang mit leisen Fahrzeugen bzw. einem AVAS sind hier folgende Faktoren von Bedeutung (vgl. Limbourg 2018, S. 98ff.):

- ▶ Das Hörvermögen erreicht in der Regel erst im sechsten Lebensjahr seine volle Ausbildung. Bis zum Alter von ca. acht Jahren überhören Kinder im Straßenverkehr trotz des gut entwickelten Gehörs jedoch häufig Geräusche, u. a. auch Warngeräusche wie Hupen, Klingeln oder Warnrufe. Dies ist darin begründet, dass Kinder auf für sie interessante Reize reagieren und ihre Konzentration voll auf diese richten (z. B. Freunde, Tiere oder Spielen).
- ▶ Auch die Fähigkeit, die Geschwindigkeit von Fahrzeugen korrekt einzuschätzen, ist erst ab einem Alter von ca. acht Jahren vollständig vorhanden. Jüngere Kinder schätzen Fahrzeuge

fast immer als „schnell“ ein. Zudem spielt das Fahrzeugmodell oder die Fahrzeugart eine Rolle. Kinder orientieren sich bei ihrer Einschätzung am Fahrzeugmodell, nicht an der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit. Lastwagen werden daher als langsam eingestuft, auch wenn diese schnell unterwegs sind. Ein Sportwagen wird in der Regel als schnell bewertet, auch wenn dieser langsam unterwegs ist.

- ▶ In einem Versuch mit 40 Kindern im Alter zwischen fünf und 14 Jahren wurde zudem festgestellt, dass die Lautstärke eines Fahrzeugs eine Rolle bei der Einschätzung seiner Geschwindigkeit spielte. Laute Autos wurden häufiger als „schnell“ eingestuft als leise Autos.

Zudem sind Kinder auch kognitiv noch nicht voll entwickelt. Sie durchlaufen mehrere Entwicklungsstufen, bis sie das Niveau eines Erwachsenen erreichen. Kinder unterscheiden sich in ihrem Erleben und Verhalten im Straßenverkehr daher von Erwachsenen. Die daraus resultierenden Verhaltensmuster führen zu einer grundsätzlich höheren Gefährdung der Kinder im Straßenverkehr. Das Gefahrenbewusstsein von Kindern ändert sich mit zunehmendem Alter wie folgt (vgl. Limbourg 2018, S. 96):

- ▶ Bereits ab einem Alter von ca. sechs Jahren besteht ein verkehrsbezogenes Gefahrenbewusstsein. Gefahren werden allerdings erst als solche erkannt, wenn sie akut sind.
- ▶ Ab einem Alter von ca. acht Jahren bildet sich ein vorausschauendes Gefahrenbewusstsein aus, womit Kinder in der Lage sind, Gefahrensituationen vorausschauend zu erkennen.
- ▶ Erst ab einem Alter von ca. elf Jahren können Kinder auch präventiv handeln, weil sie die Gefahren des Straßenverkehrs entsprechend einschätzen können.

Unabhängig davon führt ein gut entwickeltes Gefahrenbewusstsein bei Kindern nicht automatisch zu einer höheren Verkehrssicherheit, da ablenkende Reize dazu beitragen können, dass die Gefahren des Straßenverkehrs ausgeblendet werden.

Auch die Reaktionsfähigkeit ist im Kindesalter gegenüber Jugendlichen oder Erwachsenen herabgesetzt. Die Reaktionszeit auf Reize kann bei achtjährigen Kindern doppelt so hoch sein wie bei einem Erwachsenen im jüngeren oder mittleren Alter.

In Zusammenhang mit einer Diskussion über einen möglicherweise selektiven Einsatz eines AVAS (z. B. ortsabhängige Steuerung), ist von Interesse, dass Eltern die verkehrsbezogene Risikoeinschätzung auf Basis des Verkehrsaufkommens durchführen. Straßen mit einem hohen Verkehrsaufkommen werden von den Eltern in der Regel als gefährlicher eingestuft. Daher dürfen in Gebieten mit geringer Verkehrsdichte Kinder häufiger auf der Straße spielen (79 %). Oftmals sind auf Straßen mit geringer Verkehrsdichte Fahrzeuge langsamer unterwegs (z. B. Tempo 30-Zone oder verkehrsberuhigte Bereiche). Das kann im Falle eines Unfalls die Unfallfolgen verringern. Allerdings sind Kinder an diesen Straßen in der Regel weniger aufmerksam, da der Reiz „Fahrzeuggeräusche“ für Aufmerksamkeit fehlt bzw. geringer ausgeprägt ist (vgl. Limbourg 2018, S. 111).

2.1.4 Ältere Menschen

Die Einschränkungen im Alter sind individuell sehr unterschiedlich. Bedeutung für die Teilnahme am Straßenverkehr im Zusammenhang mit leisen Kraftfahrzeugen bzw. einem AVAS haben hier vor allem folgende Faktoren (vgl. Kocherscheid und Rudinger 2005, S. 22f.):

- ▶ Sensorische Einschränkungen, vor allem des Seh- und Hörvermögens. Dies geht u. a. einher mit einer schlechteren Wahrnehmung bewegter Objekte (z. B. herannahender Fahrzeuge) und einer zunehmenden Blendempfindlichkeit. Weiterhin werden infolge eines zunehmend reduzierten Frequenzumfangs Motoren- bzw. Signalgeräuschen sich nähernder Fahrzeuge schlechter wahrgenommen und das Richtungshören verschlechtert sich (vgl. Abschnitte 2.1.1 und 2.1.2).
- ▶ Kognitive Einschränkungen, nachlassende Beweglichkeit und Ermüdungserscheinungen. In der Folge verlängert sich die Reaktionszeit. Der Zeitbedarf für Information und Orientierung ist größer. Signale müssen entsprechend frühzeitig erkannt werden, um angemessen reagieren zu können. Die Ursache hierfür ist eine längere Wahrnehmungs- und Entscheidungszeit, weniger eine Verlängerung der Zeit, die zur Ausführung der Bewegung benötigt wird. Bei begrenzter Zeit für eine Entscheidung und unter Stress erhöht sich die Gefahr, dass die Verkehrslage nicht korrekt eingeschätzt wird.

2.2 Verkehrsunfälle ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen

Die Auswertung der polizeilich erfassten Verkehrsunfälle in Deutschland zeigt: Während die Anzahl der Verkehrstoten in den letzten Jahrzehnten beständig zurückging und im Jahr 2017 mit 3.180 einen vorläufigen Tiefstwert¹² erreichte, stagniert die Zahl der Verunglückten nach einem zuvor kontinuierlichen Rückgang für etwa 10 Jahre und stieg in den letzten Jahren wieder leicht an auf zuletzt 396.018 im Jahr 2018 (Statistisches Bundesamt 2018a).

Die meisten Verkehrsunfälle (73,8 % im Jahr 2018) registrierte die Polizei innerhalb geschlossener Ortschaften. Von diesen entfielen 88.472 Ereignisse (28,7 %) auf Unfälle mit Beteiligung des Radverkehrs und 31.869 Ereignisse (10,3 %) auf Unfälle mit Beteiligung von FußgängerInnen (Statistisches Bundesamt 2018a). Betrachtet man nur die Unfälle mit ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen, steigt der Anteil der Unfälle in innerörtlichen Lagen sogar auf 94 % an (Schleh et al. 2018, S. 29).

Ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen sind besonders gefährdet, getötet zu werden oder schwere Verletzungen zu erleiden. Lediglich 42,6 % der Verunglückten, aber 60,8 % der Getöteten und 54,4 % der Schwerverletzten, waren zu Fuß oder mit dem Fahrrad unterwegs. Häufigster Unfallgegner bei FußgängerInnen (72 %) und RadfahrerInnen (61 %) innerorts war ein Kraftfahrzeug (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 2018, 18-21).

Kubitzki und Fastenmeier stellten im Rahmen einer Auswertung von 405 Unfällen zwischen Fußgängern und Kraftfahrzeugen fest, dass 23 % der Fußgängerunfälle mit rückwärtsfahrenden Kraftfahrzeugen passieren. Des Weiteren ereignen sich Unfälle zwischen FußgängerInnen und Kraftfahrzeugen oft bei niedrigen Geschwindigkeiten (Anfahr-, Rangiergeschwindigkeit unter 10 km/h. Jeder sechste analysierte Unfall ereignete sich auf Parkflächen. (Kubitzki und Fastenmeier 2019, S. 8)

Besonders deutlich wird das Risiko schwerer Unfallfolgen für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen bei der Betrachtung bestimmter Altersgruppen. Der Unfallverhütungsbericht Straßenverkehr des BMVI stellt dahingehend fest, dass Kinder und

¹² Im Jahr 2018 ist die Zahl der im Verkehr getöteten Personen erstmals wieder geringfügig angestiegen. Für eine sichere Trendeinschätzung fehlen allerdings derzeit weitere Daten.

ältere Verkehrsteilnehmende besonders häufig in Fußgängerunfälle verwickelt sind. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 2018, S. 17)

2.2.1 Unfälle von Kindern im Straßenverkehr

Im Jahr 2017 verunglückten in Deutschland 29.259 Kinder unter 15 Jahre im Straßenverkehr. 37,5 % (10.965) von ihnen als Insasse in einem Pkw, 33,7 % (9.858) auf einem Fahrrad und 22,3 % (6.528) waren zu Fuß unterwegs (Statistisches Bundesamt 2018b, S. 5). Die Art der Verkehrsbeteiligung bei den verunglückten Kindern ist stark altersabhängig. So sind Kinder im Alter von bis zu sechs Jahren meist im Pkw ihrer Eltern unterwegs, weshalb sie relativ selten zu Fuß oder mit dem Rad verunglücken. Mit zunehmendem Alter steigen dann allerdings die Zahlen der verunglückten Kinder an, die zu Fuß oder mit dem Fahrrad unterwegs sind. In der Altersgruppe 6 bis 9 Jahre gab es im Jahr 2017 insgesamt 8.168 Verunglückte, von denen 29,1 % (2.375) zu Fuß und 24,5 % (2.003) mit dem Rad unterwegs waren. In der Altersgruppe der 10 bis 14-jährigen steigt der Anteil der Verunglückten (15.111) beim Radverkehr auf 48,9 % (7.383) an. (Statistisches Bundesamt 2018b, S. 14). Zudem ist erwähnenswert, dass Kinder im Alter von 6 bis 14 Jahren am meisten Fehler beim Überschreiten der Straße machten (88,8 %). Dabei war das Überschreiten der Fahrbahn, ohne auf den Fahrzeugverkehr zu achten, die häufigste Ursache (56,8 %). (Statistisches Bundesamt 2018b, S. 11)

2.2.2 Unfälle von älteren Menschen

Betrachtet man das Unfallrisiko von älteren Menschen im Alter von mindestens 65 Jahren im Vergleich zum Bevölkerungsdurchschnitt, ist dieses zwar nur halb so hoch, allerdings erleiden ältere Menschen im Durchschnitt schwerere Verletzungen als Personen aus jüngeren Altersgruppen. Ältere VerkehrsteilnehmerInnen haben im Vergleich mit jüngeren zudem ein höheres Sterberisiko bei einem Verkehrsunfall. Dies ist auch dadurch bedingt, dass sie zunehmend häufiger als ungeschützte FußgängerInnen unterwegs sind (Statistisches Bundesamt 2018c). Die erhöhten Unfallzahlen bei älteren Menschen sind zum einen darauf zurückzuführen, dass diese aufgrund der demografischen Entwicklung eine immer größere Rolle als TeilnehmerInnen im Straßenverkehr spielen. Zum anderen ist die heutige Generation der älteren Menschen deutlich aktiver als frühere Generationen und nutzt deshalb beispielsweise öfter ein Fahrrad, als beispielsweise noch vor etwa 30 Jahren (vgl. Statistisches Bundesamt 2018c, S. 6). Auch die vermehrte Nutzung von Pedelecs, die höhere Fahrgeschwindigkeiten ermöglichen, spielen bei der Verkehrsunfallentwicklung eine Rolle. (Statistisches Bundesamt 2018a)

Niedrige Kfz-Geschwindigkeiten beim Anfahren und Rangieren sowie Rückwärtsfahren spielen nach Kubitzki und Fastenmeier bei Unfällen mit FußgängerInnen eine nicht unerhebliche Rolle. Eine Auswertung der polizeilichen Daten eines Jahres zeigte zudem, dass Unfälle mit rückwärtsfahrenden Kraftfahrzeugen zu den besonderen Merkmalen vieler Fußgängerunfälle mit älteren Menschen mit Rollator zählen (Kubitzki und Fastenmeier 2019, S. 103f.). Die Auswertung von Polizeipressedaten¹³ im Zeitraum von September 2017 bis September 2018 ergab 97 Verkehrsunfälle mit Beteiligung eines Rollators in Deutschland. Jeder dritte dieser Unfälle ereignete sich mit einem rückwärtsfahrenden Kraftfahrzeug.

¹³ Polizeiangabe kurz nach dem Unfall.

2.2.3 Unfälle von Menschen mit Behinderungen

Über Unfälle im Straßenverkehr in Deutschland mit Beteiligung von Menschen mit verkehrsrelevanten sensorischen Einschränkungen (Sehen, Hören) bzw. Unfälle von Menschen mit Behinderungen im Allgemeinen liegen praktisch keine Daten vor. Ob ein besonderes Unfallrisiko dieser Gruppen im Straßenverkehr vorliegt, lässt sich daher auf diesem Wege nicht näher beschreiben. Untersuchungen, die Unfälle mit Menschen mit Behinderungen im Straßenverkehr analysieren, tun dies in der Regel mit dem Hintergrund der Prävention bzw. Rehabilitation. Daher fehlen relevante Merkmale in der Unfallstatistik, um den Unfall als Straßenverkehrsunfall auswerten zu können, z. B. hinsichtlich des Unfalltyps (vgl. Gerlach et al. 2014, S. 52). Von der Polizei werden zudem körperliche Einschränkungen – nicht zuletzt aus Gründen des Datenschutzes und der Diskriminierungsfreiheit – nicht verpflichtend erhoben und sind daher als Merkmal nicht in der polizeilichen Statistik enthalten.

Die Berliner Polizei führt in ihren Unfalldatenbanken das Sondermerkmal „Mobilitätsbehinderung“ und stellt damit eine Ausnahme bei der Erhebung derartiger Unfälle dar. Ein Eintrag beim Merkmal erfolgt allerdings nur dann, wenn der Beamte vor Ort die Mobilitätsbehinderung eindeutig erkennen kann (z. B. aufgrund eines benutzten Hilfsmittels). Eine Auswertung der Unfallzahlen für einen Sieben-Jahres-Zeitraum (2004 bis 2010) ergab insgesamt 63 Unfälle in Berlin mit Beteiligung eines Menschen mit Behinderung. Davon entfielen fast alle Unfälle auf Beteiligung von RollstuhlnutzerInnen. Die Unfälle ereigneten sich in der Regel beim Abbiegen eines Kraftfahrzeugs an einem Knotenpunkt. Ein Unfall war mit Beteiligung eines Rollatornutzenden, zwei der erfassten Unfälle waren mit Beteiligung einer sehgeschädigten Person (vgl. Gerlach et al. 2014, S. 54). In einem Fall trat eine blinde Person mit Führhund unvermittelt auf die Fahrbahn, sodass ein herannahender Bus eine Gefahrenbremsung durchführen musste. Die blinde Person blieb unverletzt und entfernte sich vom Unfallort, sodass keine Befragung durchgeführt werden konnte. Im zweiten Fall wurde eine sehgeschädigte Person von einem Fahrzeug angefahren, welches in einer untergeordneten Zufahrt stand und gerade anfuhr. Der Fahrer hatte beim Anfahren nur nach links geschaut und die Person, die sich von rechts näherte, übersehen. Inwieweit die akustische Wahrnehmung der Fahrzeuge im jeweiligen Fall eine Rolle beim Unfall spielte, blieb in beiden Fällen unklar.

2.3 Unfälle zwischen elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen

Es werden bereits seit einigen Jahren statistische Daten zu Unfällen mit E-Pkw erhoben und ausgewertet. Die zentralen Ergebnisse aus nationalen und internationalen Studien zur Verkehrsunfallentwicklung von E-Pkw werden im Folgenden zusammengefasst. Dabei beschränkt sich die Analyse infolge der Aufgabenstellung des Forschungsvorhabens auf Unfälle von E-Pkw mit ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen.

Die Länderauswahl ergab sich hierbei infolge der verfügbaren Studien, die sich mit der Fragestellung des Unfallrisikos von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen und Kraftfahrzeugen mit elektrischem Antrieb beschäftigt hatten.

2.3.1 Bestand an elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen in Deutschland

Das Kraftfahrt-Bundesamt gibt zum Stichtag 01.01.2020 einen Bestand von 47,7 Mio. Pkw und ca. 5,9 Mio. Nutzfahrzeugen (Lkw, Sattelzugmaschinen und Busse) für Deutschland an (Kraftfahrt-Bundesamt 2020). Im Jahr 2008 hatte die Bundesregierung das Ziel ausgegeben, bis zum Jahr 2020 eine Million Elektroautos auf die deutschen Straßen zu bringen. In den zurückliegenden Jahren verharrten die Zulassungszahlen stets auf einem niedrigen Niveau,

erfahren nun aber zuletzt im Zuge von Debatten zum Klimaschutz und infolge staatlicher Fördermaßnahmen größere Steigerungsquoten. So war im Jahr 2020 bei den elektrisch angetriebenen Pkw eine Zunahme um 64,3 % bei den rein elektrischen Antrieben und um 58,0 % bei den Hybriden festzustellen, allerdings auf Basis einer niedrigen Grundgesamtheit im Vergleich zum Bestand an Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Den ca. 46,6 Mio. Kraftfahrzeugen mit Benzin- oder Dieselantrieb standen am Stichtag in der Fahrzeuggruppe der Pkw 136.617 Elektrofahrzeuge (83.175 im Jahr 2019) und 539.383 Hybridfahrzeuge (341.411 im Jahr 2019) gegenüber. Bezogen auf den Gesamtbestand von Pkw in Deutschland lag der Anteil der elektrisch angetriebenen Pkw insgesamt bei 1,4 % (0,9 % in 2019). Für Nutzfahrzeuge machte das Kraftfahrt-Bundesamt keine Angaben über den Anteil der zugelassenen Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb. Es ist davon auszugehen, dass dieser noch weit unterhalb des Anteils bei den Pkw liegt. 453.670 Pkw waren zum Stichtag gasbetrieben, 507 wasserstoffbetrieben.

2.3.2 Unfallgeschehen in Deutschland

Gemäß der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) waren im Jahr 2013 durchschnittlich bei 18 % (N =64.247) aller Unfälle mit Personenschaden genau ein Pkw und zu Fuß gehender oder Rad fahrender beteiligt. Innerhalb von Ortschaften war der Anteil mit 26 % etwas höher. (Schleh et al. 2017) Benzin- und dieselbetriebene Kraftfahrzeuge stellen mit mindestens 98 % der Unfälle nach wie vor den größten Anteil bei Unfällen von Kraftfahrzeugen mit Personenschaden. Sie stellen auch den größten Anteil an zugelassenen Kraftfahrzeugen in Deutschland dar (vgl. Abschnitt 2.3.1). Gasbetriebene Fahrzeuge machen hingegen nur einen Anteil von 1,7 % (2013) bzw. 1,6 % (2015) an allen Unfällen mit Personenschaden aus, gefolgt von Hybridfahrzeugen mit einem Anteil von 0,18 % (2013) bzw. 0,3 % (2015)¹⁴. (Schleh et al. 2017; Schleh et al. 2018)

Im Durchschnitt wurden 66 % (2013) bzw. 65 % (2015) der Unfälle mit Personenschaden und Pkw-Beteiligung innerorts registriert. Hybrid-Pkw und Pkw mit reinem Elektro-Antrieb wiesen dabei jeweils einen erhöhten Anteil auf. Bei Hybrid-Pkw waren es in 2013 76 % (N =475) und in 2015 77 % (N =803), bei den elektrischen Antrieben 2013 77 % (N =64) und auch in 2015 77 % (N =186). Die überdurchschnittlichen Anteile wurden nach Vermutung der Autoren durch die Nutzungsstruktur begünstigt. Aufgrund der Vorteile im innerörtlichen Verkehr wird eine höhere Verkehrsteilnahme angenommen. Dies ließ sich jedoch nicht abschließend klären. Zudem weisen die Verfasser auf die insgesamt geringen Fallzahlen hin. (Schleh et al. 2017, S. 28; Schleh et al. 2018, S. 27)

Um das Unfallrisiko für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen bei Zusammenstößen mit elektrisch angetriebenen und konventionell angetriebenen Kraftfahrzeugen vergleichen zu können, haben Schleh et al. die Unfälle innerorts an denen genau ein Kraftfahrzeug und ein ungeschützter Verkehrsteilnehmer beteiligt war, verglichen. Dabei stellen sie die Unfälle jeweils mit Beteiligung eines ungeschützten Verkehrsteilnehmers für die Jahre 2013 bis 2015 gegenüber. Eine weitere Unterteilung nach Kraftstoffart des Fahrzeugs (Benzin, Diesel, Hybrid, Elektro usw.) zeigt in allen Vergleichsjahren geringfügig höhere Anteile von elektrisch angetriebenen Pkw bei Unfällen mit ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen¹⁵, während die Anteile bei den Unfällen mit konventionellen Antrieben gleich sind. Beispielsweise betrug der Anteil der Hybrid-Pkw bei Unfällen mit dem Fuß- oder Radverkehr im Jahr 2015 (N =40.245) 0,61 % (246 Unfälle), während der Anteil bei den Unfällen ohne Beteiligung des Fuß- oder Radverkehrs (N =63.171) 0,38 % (239 Unfälle) betrug. Wirklich deutlich wird der Unterschied allerdings erst, wenn man die geringeren Anteile der Unfälle ohne Beteiligung eines

¹⁴ Bei dem Bericht aus dem Jahr 2015 handelt es sich um die aktuelle Fassung. Es wurde bisher (Januar 2021) kein weiterer Bericht von der BASt veröffentlicht.

¹⁵ Auch der Anteil bei den gastbetriebenen Pkw ist geringfügig höher. Diese Antriebsart wird hier jedoch nicht weiter betrachtet.

ungeschützten Verkehrsteilnehmenden auf die Gruppe mit Fuß- oder Radbeteiligung überträgt. Rechnerisch würde sich die Anzahl von 153 Hybrid-Pkw ergeben (0,38 % von N =40.245). Tatsächlich hatten sich jedoch 246 Unfälle ereignet. (Schleh et al. 2018, S. 31)

Zudem sind zufällig erfasste Einzelereignisse bekannt, bei denen es zum Zusammenstoß zwischen einem E-Pkw und einer Person mit einer Seheinschränkung gekommen ist.¹⁶ In Deutschland ereignete sich beispielsweise im Juli 2019 ein Unfall, bei dem ein stark sehbehinderter Fußgänger mit einem Langstock von einem rückwärtsfahrenden, elektrisch angetriebenen Pkw angefahren wurde. Die sehbehinderte Person hatte mehreren Medienberichten zufolge das Fahrzeug nicht wahrgenommen (sz.de 2019). Unfallberichte der Polizei zum genauen Unfallhergang wurden nicht ausgewertet. Als Informationsquelle dienten hier unterschiedliche Medienberichte. Unklar blieb, ob es sich bei dem Fahrzeug tatsächlich um ein Elektro- oder Hybridfahrzeug gehandelt hat oder ob das Fahrzeug zum Zeitpunkt des Unfalls im elektrischen Betrieb fuhr. Vereinzelt berichteten Medien, dass der sehbehinderte Fußgänger aus unerklärlichen Gründen plötzlich umgekehrt sei und die Gehrichtung geändert habe. Die mögliche Geräuscharmheit des Fahrzeugs kann somit nicht zweifelsfrei als eine der Unfallursachen gelten.

Andere Einzelereignisse wurden aus den USA (s. Abschnitt 2.3.6) und aus Japan (s. Abschnitt 2.3.8) erhoben.

2.3.3 Unfallgeschehen in den Niederlanden

Trotz umfangreicher Recherchen zum Unfallgeschehen in den Niederlanden sowie einer eigens durchgeführten Studie¹⁷ mit FahrerInnen von E-Pkw kam Hoogeveen zu der Erkenntnis, dass es nahezu keinen Unterschied zwischen den Unfallzahlen von E-Pkw (71,9 %) und herkömmlichen Verbrennerfahrzeugen (75,1 %) gäbe (Hoogeveen 2010, S. 8). Die meisten Unfälle mit ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen ereigneten sich in Bereichen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. In den Niederlanden ereigneten sich in den Jahren 2007 bis 2009 in Verkehrsbereichen mit geringen Geschwindigkeiten (15 km/h bis 30 km/h) etwas mehr Unfälle zwischen Fuß- und Radverkehr und E-Pkw (17,5 %) als mit herkömmlich angetriebenen Fahrzeugen (16,3 %) (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2). Dies könnte darauf hindeuten, dass die bei geringen Fahrgeschwindigkeiten schlechtere akustische Wahrnehmbarkeit eine Rolle beim Unfallrisiko spielt. Jedoch war die Datenbasis mit insgesamt 11 Fußgänger- und 46 Radfahrunfällen sehr gering. Dies war vor allem auf die geringe Anzahl von E-Pkw zum Untersuchungszeitpunkt zurückzuführen. (Hoogeveen 2010)

¹⁶ Auf eine gezielte Recherche in Zeitungsartikeln oder Pressemeldungen usw. wurde verzichtet, da die Qualität und Vollständigkeit der Daten zweifelhaft einzuschätzen ist (vgl. Menzel 2002).

¹⁷ Die Studie umfasste Interviews sowie eine Online-Befragung mit insgesamt 55 FahrerInnen von E-Pkw. 46 Fragebögen konnten schlussendlich für die Auswertung verwendet werden.

Tabelle 1: Verkehrsunfälle von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen mit E-Pkw in den Niederlanden von 2007 bis 2009

Verkehrsunfälle	v weniger als 15 km/h	v = 15 bis 30 km/h	v = 30 bis 50 km/h	v mehr als 50 km/h	Summe
E-Pkw mit FußgängerIn	1	0	9	1	11
E-Pkw mit RadfahrerIn	0	10	32	4	46
Summe	1	10	41	5	57
Anteil [%]	1,8 %	17,5 %	71,9 %	8,8 %	100 %

Quelle: Hoogeveen 2010

Tabelle 2: Verkehrsunfälle von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen mit Verbrennerfahrzeugen in den Niederlanden von 2007 bis 2009

Verkehrsunfälle	v weniger als 15 km/h	v = 15 bis 30 km/h	v = 30 bis 50 km/h	v mehr als 50 km/h	Summe
Verbrenner mit FußgängerIn	35	683	2421	267	3.406
Verbrenner mit RadfahrerIn	73	3631	17.411	1887	23.002
Summe	108	4314	19.832	2154	26.408
Anteil [%]	0,4 %	16,3 %	75,1 %	8,2 %	100 %

Quelle: Hoogeveen 2010

Auch wenn gemäß Verheijen und Jabben Hybridfahrzeuge in den Niederlanden auf den gesamten Fahrzeugbestand bezogen in Europa statistisch gesehen am häufigsten vorkommen (Stand 2010), konnte kein erhöhtes Unfallrisiko durch E-Pkw nachgewiesen werden. Gemäß dem niederländischen Forschungsinstitut für Straßenverkehrssicherheit (SWOV) sind die Unfallzahlen bisher zu gering, um eindeutige Schlüsse hinsichtlich des Gefahrenpotenzials leiser Fahrzeuge ziehen zu können. (Verheijen und Jabben 2010, S. 17) Im Jahr 2008 lag der Anteil der in einen Unfall verwickelten E-Pkw in den Niederlanden bei 0,2 %. Bei insgesamt 140.000 registrierten Unfällen mit Kraftfahrzeugen¹⁸ im Jahr 2008 in den Niederlanden waren E-Pkw in 230 Unfälle involviert. Bei 17 der 230 Unfälle mit einem E-Pkw war ein zu Fuß gehender oder Rad fahrender betroffen. Diese 17 Unfälle wurden intensiver analysiert. Dabei gab es jedoch keinerlei Hinweise darauf, dass die geringere Schallemission der E-Pkw bei geringen Geschwindigkeiten zu einem erhöhten Unfallrisiko beitrug. Die bisher bekannten, wenigen Unfälle zwischen ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen mit E-Pkw ließen sich nicht eindeutig auf die verringerten Fahrzeuggeräusche zurückführen. Es wurde zwar vermutet, dass das Sicherheitsrisiko für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen durch leise Fahrzeuge ansteigen könnte. Jedoch konnten aufgrund fehlender statistischer Absicherung zum Zeitpunkt der Studie noch keine Prognosen zu den Unfallraten in diesem Zusammenhang abgegeben werden. Hier wurde weiterer Forschungsbedarf gesehen. (Verheijen und Jabben 2010, S. 17)

¹⁸ Ohne Unfälle auf Autobahnen.

2.3.4 Unfallgeschehen in der Schweiz

In der Schweiz war zwischen 2000 und 2016 ein deutlicher Anstieg bei den Zulassungszahlen elektrisch angetriebener Personenkraftwagen zu verzeichnen. Während im Jahr 2000 lediglich 64 elektrisch angetriebene Personenkraftwagen in der gesamten Schweiz registriert waren, waren es im Jahr 2010 bereits 4.500. Die meisten dieser Fahrzeuge verfügten über einen Hybridantrieb. Bis zum Jahr 2015 verdreifachte sich die Anzahl der Personenkraftwagen mit elektrischem Antrieb gegenüber 2010 auf 12.500 und im Jahr 2016 waren es sogar 14.000. (Ewert 2017)

Im Jahr 2010 wurde ein aktualisiertes Unfallaufnahmeprotokoll eingeführt. Seitdem besteht die Möglichkeit, die Antriebsart des Unfallfahrzeugs anzugeben. Im Zeitraum von 2011 bis 2016 waren insgesamt 4.700 elektrisch angetriebene Fahrzeuge (u. a. auch E-Bikes) an Unfällen beteiligt.¹⁹

Die Auswertung der schweizerischen Unfalldaten ergab Folgendes (Ewert 2017):

- ▶ Wie in Tabelle 3 ersichtlich, waren im Zeitraum von 2011 bis 2016 elektrisch angetriebene Personen- und Lieferwagen am häufigsten an Unfällen in der Schweiz beteiligt (714 Unfälle).²⁰
- ▶ Von 2011 bis 2015 steigen die Unfallzahlen bei den elektrisch angetriebenen Personen- und Lieferwagen jährlich an. Im Jahr 2016 ist erstmals ein minimaler Rückgang bei den Unfallzahlen zu verzeichnen.
- ▶ Wie in Tabelle 4 ersichtlich, waren auch NutzerInnen von elektrisch betriebenen Personen- oder Lieferwagen von tödlichen Folgen bzw. schweren Verletzungen als Folge eines Unfalls betroffen.

Tabelle 3: Unfälle von Elektro- und Hybridfahrzeugen in der Schweiz von 2011 bis 2016

Art des Elektrofahrzeugs	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Summe
Personen- und Lieferwagen	80	87	90	122	170	165	714
Mofas, Motorräder usw.	25	23	37	46	35	33	199
Behindertenfahrstühle ²¹	19	23	25	26	28	41	162
Trolleybus ²²	43	24	19	19	18	13	134
Summe	167	157	171	211	251	252	1.209

E-Bikes und Kraftfahrzeuge über 3,5 Tonnen werden – abgesehen von Trolleybussen – im Rahmen dieser Untersuchung nicht berücksichtigt.

Quelle: Ewert 2017

¹⁹ Jedoch scheinen die Angaben in den Unfallaufnahmeprotokollen teilweise unvollständig und widersprüchlich zu sein, z. B. keine Angabe zu Unfällen von Hybridfahrzeugen, obwohl diese in der Schweiz weit verbreitet sind (z. B. Toyota Prius).

²⁰ Die Unfälle umfassen alle Unfälle in diesem Zeitraum und nicht nur die Unfälle mit FußgängerInnen und RadfahrerInnen.

²¹ In Deutschland unter dem Begriff Krankenfahrstühle geläufig.

²² Als „Trolleybus“ wird in der Schweiz ein Oberleitungsomnibus bezeichnet.

Tabelle 4: Anzahl Getöteter und Schwerverletzter bei Unfällen mit E-Pkw in der Schweiz

Art des Elektrofahrzeugs	Getötete insgesamt	Getötete Nutzer von E-Pkw	Getötete Unfallgegner	Schwer-verletzte insgesamt	Schwer-verletzte Nutzer von E-Pkw	Schwer-verletzte Unfallgegner	davon FußgängerInnen
Personen- und Lieferwagen	6	5	1	47	19	28	11
Mofas, Motorräder usw.	4	4	0	38	28	10	2
Behindertenfahrstühle ²¹	4	4	0	39	37	2	0
Trolleybus	0	0	0	17	2	15	10
Summe	14	13	1	141	86	55	23

Quelle: Ewert 2017

Die in Tabelle 4 dargestellten Unfälle von FußgängerInnen mit E-Pkw wurden in der Untersuchung von Ewert einer detaillierten Analyse unterzogen.

Bei der Unfallanalyse der Unfälle mit FußgängerInnen und Pkw stellte sich heraus, dass diese bei Fahrgeschwindigkeiten unter 20 km/h stattgefunden hatten. Alle 11 Unfälle ereigneten sich in einem Ort in der Schweiz, in dem Kraftfahrzeuge nur mit Sondergenehmigung zugelassen waren und das Verkehrsaufkommen von Kraftfahrzeugen insofern stark reduziert war. Zweiter Unfallbeteiligter war immer ein Taxi. Da die Situation nicht mit Orten ohne Beschränkungen für den allgemeinen Kraftfahrzeugverkehr zu vergleichen war, wurden diese Unfälle nicht weiter betrachtet. Anschließend zeigte sich folgendes Ergebnis: Bei der betrachteten Fahrzeugart „Personen- und Lieferwagen“ ergab sich beim Unfallrisiko für FußgängerInnen kein Unterschied zwischen Fahrzeugen mit konventionellem und elektrischem Antrieb. Für beide Antriebsarten lagen der Anteil der Fußgängerunfälle bei 2,1 % aller Unfälle. Das relative Risiko eines Unfalls mit einem E-Pkw wurde mit $RR = 0,9965^{23}$ ermittelt, also gegenüber einem Zusammenstoß mit einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor leicht erhöht. Dies wurde auf die geringere Wahrnehmbarkeit infolge der geringeren Schallemissionen bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten von unter 20 km/h gegenüber einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor zurückgeführt. Für RadfahrerInnen wurde das Risiko eines Zusammenstoßes mit Pkw für beide Antriebsarten gleich eingeschätzt²⁴. (Ewert 2017, S. 9)

Betrachtet man für den Zeitraum von 2011 bis 2016 die Unfälle zwischen FußgängerInnen und Elektromotorrädern und Elektro-Leichtfahrzeugen (EML), waren hier mehr Unfälle zu verzeichnen als mit konventionell betriebenen Motorrädern und konventionell angetriebenen Leichtfahrzeugen (KML). Unfälle mit EML machten laut Ewert 5,0 % aller Unfälle aus, wohingegen Unfälle mit KML nur 2,7 % aller Unfälle ausmachten. Dies ergibt ein um 83,6 % höheres Risiko für FußgängerInnen mit einem EML zusammenzustoßen²⁵. In dem sechsjährigen Betrachtungszeitraum wurden keine Unfälle von RadfahrerInnen mit EML erfasst.²⁶ (Ewert 2017)

²³ Das relative Risiko (RR) gibt die Relation eines Risikos in zwei verschiedenen Gruppen an, die sich durch das Vorhandensein eines oder mehrerer Merkmale unterscheiden. Das Konfidenzintervall (KI) lag hier zwischen 0,7240 und 1,3715.

²⁴ Das Konfidenzintervall lag zwischen 0,8117 und 1,466, $p = 0,5637$.

²⁵ Das Konfidenzintervall lag zwischen 0,9668 und 3,4872, $p = 0,0633$.

²⁶ Hinweis: Da Unfälle von EML überwiegend innerorts stattfinden, wurde die Unfallanalyse hier auf Unfälle innerorts beschränkt.

Da sich die Unfallzahlen von FußgängerInnen mit Trolleybussen in der Schweiz seit 2014 stabilisiert hatten bzw. sogar rückläufig waren, wurden diese Unfälle nicht näher betrachtet. Gemäß Ewert handelt es sich bei diesen Unfällen nicht um einen „Brennpunkt des Unfallgeschehens mit Elektrofahrzeugen“. Dies liegt vor allem daran, dass die Trolleybusse beim Anfahren durch die elektronische Leistungsregelung der Fahrmotoren ein relativ lautes Geräusch erzeugen. Hinzu kommt, dass zumindest einige Trolleybusse akustische Warngeräusche von sich geben. Ewert kommt zu dem Schluss, dass Trolleybusse im Hinblick auf die Geräuscharmheit von Elektrofahrzeugen nur ein geringes Risiko für andere VerkehrsteilnehmerInnen darstellen. (Ewert 2017)

2.3.5 Unfallgeschehen in England

In einer englischen Studie wurden die Unfallzahlen zwischen FußgängerInnen und Elektro- bzw. Hybridfahrzeugen im Zeitraum von 2005 bis 2008 näher untersucht (Morgan et al. 2011). In Tabelle 5 ist die Anzahl der elektrisch und herkömmlich angetriebenen Kraftfahrzeuge dargestellt, die in diesem Zeitraum mit einem zu Fuß gehenden zusammengestoßen sind. Bei den E-Pkw kam es absolut betrachtet zu deutlich weniger Fußgängerunfällen (61) als bei Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor (63.575). Die Anzahl der Fußgängerunfälle mit Beteiligung eines E-Pkw stieg allerdings von Jahr zu Jahr an. Elektro- und Hybridfahrzeuge machten im Zeitraum von 2005 bis 2008 jedoch nur einen geringen Teil (0,10 %) der zugelassenen Fahrzeuge in England aus (Tabelle 6). Insgesamt waren zwei Personen mit Behinderung (ohne genauere Angaben zur Behinderung im Detail) an Unfällen mit E-Kfz beteiligt.²⁷

Tabelle 5: Anzahl der Kraftfahrzeuge, die im Zeitraum 2005 bis 2008 mit einem zu Fuß gehenden zusammenstießen

Bei den hier betrachteten Fahrzeugen handelt es sich um Pkw und kleinere Lieferwagen.

Jahr	Elektrisch angetriebene Kraftfahrzeuge	Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor
2005	3	17.443
2006	9	16.084
2007	13	14.080
2008	36	15.968
Summe 2005 bis 2008	61	63.575

Quelle: Morgan et al. 2011

Die relativ geringe Anzahl an Fußgängerunfällen mit E-Pkw ist vor allem auf die Anzahl der niedrigen Zahl an zugelassenen Fahrzeugen mit entsprechenden Antriebsarten zurückzuführen. Die Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge nahm von 2005 bis 2008 zwar stark zu, jedoch überwog die Anzahl der konventionell angetriebenen Fahrzeuge im Vergleich dazu deutlich (Tabelle 5/Tabelle 6).

Tabelle 6: Anzahl zugelassener Fahrzeuge nach Antriebsart (2005 bis 2008)

Bei den hier betrachteten Fahrzeugen handelt es sich um Pkw und kleinere Lieferwagen.

²⁷ In der Statistik wird nur aufgeführt „Behinderung oder Krankheit, mental oder physisch“, ohne dies weiter aufzuschlüsseln. (Morgan et al. 2011, S. 5)

Jahr	E-Kfz	Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor	Fahrzeuge insgesamt	Anteil des Bestands der E-Kfz an allen Fahrzeugen [%]
2005	8.629	25.511.769	27.520.398	0,03
2006	17.456	27.591.715	27.609.171	0,06
2007	32.966	27.967.298	28.000.264	0,12
2008	46.071	28.112.631	26.160.702	0,17
Summe 2005 bis 2008	107.122	111.183.413	111.290.535	0,10

Quelle: Morgan et al. 2011

Für die Untersuchung von Morgan et al. ist Folgendes festzuhalten (Morgan et al. 2011, S. 11f.):

- ▶ Bezogen auf die Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge war die Wahrscheinlichkeit für FahrerInnen von elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen (E-Pkw inkl. Lieferwagen), an einem Unfall beteiligt zu sein, 30 % geringer als für FahrerInnen herkömmlich angetriebener Fahrzeuge.
- ▶ In Relation zur Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge waren E-Pkw (ohne Lieferwagen) gleichermaßen in eine Kollision mit einem zu Fuß gehenden verwickelt, wie herkömmlich angetriebene Fahrzeuge. Wurden die Lieferwagen (Gesamtgewicht unter 3,5 Tonnen) in die Betrachtung einbezogen, wurde das Risiko für die E-Pkw als 10 % geringer ermittelt.
- ▶ Der Vergleich des relativen Risikos²⁸ aller elektrisch angetriebene Fahrzeuge, die an einem Unfall beteiligt waren, mit dem relativen Risiko der E-Pkw, mit einem Fußgänger zu kollidieren deutet darauf hin, dass im Vergleich mit konventionell angetriebenen Fahrzeugen E-Pkw proportional häufiger mit einem zu Fuß gehenden zusammenstoßen. Eine Erklärung dafür wurde in der Annahme der überwiegend innerstädtischen Nutzung der Elektrofahrzeuge gesehen, wodurch sich wiederum eine höhere Unfallrate als bei herkömmlich angetriebenen Fahrzeugen ergibt.
- ▶ Die meisten Unfälle zwischen Kraftfahrzeugen und FußgängerInnen ereigneten sich (erwartungsgemäß) in Bereichen mit Geschwindigkeiten von bis maximal 30 mph (48 km/h). Dabei waren zwischen E-Pkw und konventionell angetriebenen Kraftfahrzeugen jedoch kaum Unterschiede zu erkennen (93,4 % der Unfälle mit E-Pkw, 91 % der Unfälle mit herkömmlich angetriebenen Fahrzeugen). Die genaue Geschwindigkeit der Fahrzeuge zum Unfallzeitpunkt konnte nicht festgestellt werden. Daher war nicht festzustellen, ob Hybridfahrzeuge zum Zeitpunkt des Unfalls im elektrischen Modus gefahren sind. Insofern konnte keine Aussage darüber getroffen werden, ob ein geringeres Fahrzeuggeräusch einen Einfluss auf das Unfallgeschehen hatte.

²⁸Das relative Risiko gibt die Relation eines Risikos in zwei verschiedenen Gruppen an, die sich durch das Vorhandeneins eines oder mehrerer Merkmale unterscheiden.

- ▶ Von insgesamt 497²⁹ Unfällen mit E-Pkw in Großbritannien gab es im Zeitraum von 2005 bis 2008 nur zwei Unfälle, bei denen es zu einer Kollision mit einem Menschen mit Behinderung kam. Weitere Angaben zur Behinderung wurden nicht erfasst. Daher und aufgrund der insgesamt geringen Datenbasis war es für Morgan et al. nicht möglich ein abschließendes Urteil über ein möglicherweise von E-Pkw ausgehendes Sicherheitsrisiko, insbesondere für blinde VerkehrsteilnehmerInnen, zu fällen. Es wurde ein potenzielles Sicherheitsrisiko vermutet, insbesondere im Stadtbereich. Das Risiko wurde jedoch grundsätzlich als gering eingeschätzt.

Es ist anzumerken, dass im Rahmen dieser Studie bei der Beurteilung des Fußgänger-Risikos weder die Geschwindigkeit des Fahrzeugs noch das Fahrmanöver, noch der Unfallort (z. B. ob sich der Unfall in einem bebauten Bereich ereignet hat) betrachtet wurden. Dies hing mit der geringen Datenbasis der Unfälle zusammen. Daher war keine Bewertung potenzieller Unfallfaktoren, wie z. B. Fahrmanöver oder Standort (an oder abseits von Knotenpunkten oder Fußgängerüberwegen) möglich.

2.3.6 Unfallgeschehen in den USA

Um das von leisen Fahrzeugen ausgehende Sicherheitsrisiko für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen besser beurteilen zu können, untersuchte die National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) für den Zeitraum von 2000 bis 2007 die Unfallzahlen von FußgängerInnen und RadfahrerInnen mit Hybridelektrofahrzeugen. Diese verglich sie mit den Unfallzahlen von herkömmlichen Verbrennungsfahrzeugen (Hanna 2009). Die Unfallstatistik zeigte statistisch signifikante Unterschiede ($\alpha = 0,05$) hinsichtlich des Unfallrisikos. In der Studie wurden insgesamt 8.387 Hybridelektrofahrzeuge und 559.703 Fahrzeuge³⁰ mit Verbrennungsmotor in unterschiedlichen Fahrsituationen untersucht. Hier kam es jeweils bezogen auf die Grundgesamtheit der Unfälle der Fahrzeuge einer Antriebsart zu 77 (0,9 %) Fußgängerunfällen mit Hybridelektrofahrzeugen und 3.578 (0,6 %) Fußgängerunfällen mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.

Es ergab sich somit ein 1,4-fach erhöhtes Fußgänger-Unfallrisiko bei E-Pkw im Vergleich zu herkömmlich angetriebenen Fahrzeugen. Bei geringen Geschwindigkeiten von bis zu 35 Meilen pro Stunde (56 km/h) sowie bestimmten Fahrmanövern wurde sogar ein bis zu doppelt so hohes Unfallrisiko für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen für Unfälle mit einem E-Pkw im Vergleich zu einem konventionell angetriebenen Fahrzeug ermittelt. Das erhöhte Unfallrisiko für FußgängerInnen zeigte sich insbesondere bei Fahrmanövern mit geringeren Geschwindigkeiten, wie Abbremsen oder Anhalten, Ein- und Ausparken, Abbiegen und Rückwärtsfahren. (Hanna 2009, S. 18f.) Eine weitere Aufschlüsselung der Unfallsituationen fand nicht statt, da die Datenbasis als zu gering erachtet wurde. Für weitere Untersuchungen, die sich auf eine breitere Grundgesamtheit stützen könnten, wurde eine genauere Unterscheidung empfohlen.

Für Unfälle mit FußgängerInnen und geradeausfahrenden Kraftfahrzeugen wurden hinsichtlich des Unfallrisikos keine signifikanten Unterschiede zwischen den Antriebsarten ermittelt. Für Unfälle mit dem Radverkehr wurden vergleichbare Ergebnisse ermittelt. An Kreuzungen und Einmündungen wurde für den Radverkehr allerdings ein signifikant höheres Risiko festgestellt ($\alpha = 0,05$), mit einem Hybridelektrofahrzeug zusammenzustoßen. Geringe Geschwindigkeiten

²⁹ Gesamtzahl der Unfälle von Pkws und kleineren Lieferwagen sowie Transportern (zulässiges Gesamtgewicht < 3,5 Tonnen).

³⁰ Bei den 559.703 Verbrennerfahrzeuge kamen vergleichbare Honda- und Toyota Modelle zum Einsatz wie bei den Elektrofahrzeugen. Der Unterschied lag in der Antriebsart der unterschiedlichen Fahrzeuge.

der Fahrzeuge spielten bei den Radfahrunfällen im Vergleich zu den Fußgängerunfällen eine geringere Rolle.

Nach Veröffentlichung der Untersuchungsergebnisse, wurde die NHTSA-Studie aus dem Jahr 2009 von einigen Wissenschaftlern kritisch betrachtet, z. B. von Verheijen und Jabben (2010), Sandberg et al. 2010 usw. Gründe dafür waren beispielsweise, dass

- ▶ Unfallzahlen aus lediglich 12 der 50 US-Bundesstaaten betrachtet wurden;
- ▶ Die Fallzahlen mit 77 Fußgängerunfällen und 48 Fahrradunfällen sehr gering waren;
- ▶ Insgesamt lediglich fünf Fahrzeuge mit Hybridantrieb (zwei Honda- und drei Toyota-Hybridfahrzeuge³¹) bei allen Geschwindigkeiten und allen Fahrmanövern untersucht wurden;
- ▶ Die Ergebnisse der NHTSA Studie nicht zu der sogenannten „Fahrgeräusch-These“ passen, da bei Geschwindigkeiten über 35 mph (56 km/h) das Antriebsgeräusch nur noch eine untergeordnete Rolle spielt. Denn mit zunehmender Geschwindigkeit ist nicht mehr das Antriebsgeräusch die dominierende Geräuschquelle, sondern das Reifen-Fahrbahngeräusch sowie Windgeräusche. Der Fokus müsste folglich auf den Fahrzeugaußengeräuschen bei geringen Geschwindigkeiten von bis zu 20 km/h liegen (Ewert 2017, S. 10).

Zahlreiche potenzielle Einflussfaktoren, die im Rahmen der Studie unberücksichtigt blieben, waren z. B.

- ▶ verstärkte Nutzung der Hybridelektrofahrzeuge in den letzten Jahren,
- ▶ Einfluss des Lärmpegels der Umgebung,
- ▶ gesamte Kilometerlaufleistung der Hybridelektrofahrzeuge,
- ▶ der Einfluss der geringen Fahrzeuggröße (und dadurch ggf. schlechtere Erkennbarkeit des herannahenden Fahrzeugs),
- ▶ Einsatzort der Elektrofahrzeuge (Stadtbereich, Autobahn usw.),
- ▶ Bevölkerungsdichte der Städte,
- ▶ Einflüsse des Fahrverhaltens der FahrerInnen von E-Pkw (z. B. Fahrdauer, Fahrdistanz usw.),
- ▶ Ablenkung der VerkehrsteilnehmerInnen usw.

Im Jahr 2011 wurde eine weitere Studie der NHTSA veröffentlicht (Wu 2017). In dieser Studie wurde die Analyse von zwölf auf 16 Bundesstaaten ausgeweitet und es wurden höhere Unfallzahlen betrachtet (186 Fußgängerunfälle und 116 Fahrradunfälle). In dieser Analyse wurde etwa die dreifache Anzahl an Hybridelektrofahrzeugen (insgesamt 24.297) und die doppelte Anzahl an Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (insgesamt 1.001.100, erneut Honda und Toyota Modelle) berücksichtigt. Die Forschungsergebnisse von 2011 glichen jedoch denen von 2009: Es wurde ein höheres Unfallrisiko zwischen ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen

³¹ Toyota Corolla, Toyota Camry, Toyota Prius, Honda Civic und Honda Accord.

und E-Pkw im Vergleich zu herkömmlich angetriebenen Fahrzeugen festgestellt. Dies galt insbesondere für Fahrmanöver mit geringen Geschwindigkeiten. Für FußgängerInnen wurde eine 35 % höhere Wahrscheinlichkeit, mit einem Hybridelektrofahrzeug zusammenzustoßen, ermittelt, als für einen Unfall mit einem herkömmlich betriebenen Fahrzeug. Bei RadfahrerInnen wurde diesbezüglich eine um 57 % höhere Wahrscheinlichkeit ermittelt. Anzumerken ist jedoch, dass die Anteile der an Fußgänger- und Radfahrerunfällen beteiligten Fahrzeuge an den Gesamtfahrzeugen sehr klein sind (unter 1,0 %). Demzufolge ist auch die statistische Aussagekraft der Analyse als eher gering einzustufen.

Im Jahr 2017 veröffentlichte Wu eine weitere, aktualisierte Studie, in der erneut das von Hybridelektrofahrzeugen ausgehende Risiko für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen untersucht wurde. Diesmal wurden nicht nur die beiden Fahrzeugmodelle Toyota und Honda betrachtet, sondern alle Fahrzeugmodelle mit elektrischem Antrieb. Im betrachteten Zeitraum, der an die letzten NHTSA Studie aus dem Jahr 2011 anschloss und sich bis 2017 erstreckte, kam es zu insgesamt 420 Fußgängerunfällen mit Hybridelektrofahrzeugen. Die Untersuchung ergab folgende zentrale Ergebnisse (Wu 2017, S. 7):

- ▶ Bei Hybridelektrofahrzeugen zeigte sich die Wahrscheinlichkeit für Fußgängerunfälle im Vergleich zu konventionellen Verbrennerfahrzeugen um 20 % erhöht, sofern alle geschwindigkeitsabhängigen Fahrmanöver³² und nur eine Antriebsart der Fahrzeuge (elektrisch oder mit Verbrennungsmotor) betrachtet werden.
- ▶ Bei Fahrmanövern mit geringen Geschwindigkeiten³³ wurde für Hybridfahrzeuge eine um 50 % höhere Wahrscheinlichkeit für Fußgängerunfälle ermittelt.
- ▶ Das Fußgänger-Kollisions-Risiko war bei Hybridelektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionell angetriebenen Fahrzeugen um ca. 17 % höher, sofern alle geschwindigkeitsabhängigen Fahrmanöver²⁷ berücksichtigt werden.
- ▶ In größeren Städten zeigte sich ein erhöhter Trend für Fußgängerunfälle, sowohl für Hybridelektrofahrzeuge, als auch Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Dies hing damit zusammen, dass der Anteil von Hybridelektrofahrzeugen in Großstädten (> 600.000 Einwohner) größer war, als in anderen Gegenden.
- ▶ Das Risiko für RadfahrerInnen, mit einem Elektrofahrzeug zusammenzustoßen, war im Vergleich zum konventionellen Verbrennungsfahrzeug um 50 % höher. Diese Wahrscheinlichkeit war für unterschiedliche Fahrgeschwindigkeiten (der Fahrzeuge) ähnlich.
- ▶ Insgesamt war die Unfallrate von Hybridelektrofahrzeugen im Vergleich zur Unfallrate von konventionellen Verbrennerfahrzeugen in dieser Untersuchung sehr gering (ca. 0,5 %). Dies wurde mit dem geringen Fahrzeugbestand von Hybridelektrofahrzeugen erklärt.

Zusammenfassend für die aktualisierte Studie von Wu (2017) lässt sich sagen, dass die Untersuchungsergebnisse vergleichbar mit denen der NHTSA Berichte von 2009 und 2011 sind.

³² Hierzu zählen: Fahren mit Geschwindigkeiten unter 56 km/h (d. h. Abbiegen, Bremsen, Rückwärtsfahrt, Ein- und Ausparken, Losfahren) und Geradeausfahrt mit Geschwindigkeiten über 56 km/h. (In der Studie sind die Fahrgeschwindigkeiten in Miles per hour [mph] angegeben. Es erfolgte eine Umrechnung.)

³³ Dazu zählen: Abbiegevorgang (links, rechts und Wenden), Bremsvorgang, Rückwärtsfahrt, Ein- und Ausparkvorgang, Anfahren.

In der Studie von 2011 wurden weitere Einflussfaktoren explizit betrachtet, z. B. Vergleich der Unfallzahlen in Groß- und Kleinstädten, Vergleich von alten und neuen Hybridelektrofahrzeugen, größere Stichprobengröße an Fahrzeugen (doppelt so hoher Fahrzeugbestand an Hybridelektrofahrzeugen im Vergleich zu 2011 und fünfmal so hoch wie in 2009) usw.

Im Rahmen einer weiteren US-Untersuchung wurden die Unfallzahlen von blinden VerkehrsteilnehmerInnen mit dem Hybridfahrzeug Toyota Prius analysiert. Dieses Fahrzeugmodell kommt auf amerikanischen Straßen häufig zum Einsatz. Hier kam es im Untersuchungszeitraum von 2002 und 2006 zu keinen tödlichen Unfällen von blinden VerkehrsteilnehmerInnen – weder mit einem Toyota Prius noch mit anderen Hybridfahrzeugen. Es ist jedoch nicht bekannt, wie hoch der Anteil der Toyota Prius-Fahrzeuge an der Gesamtzahl der Kraftfahrzeuge in den USA in diesem Zeitraum war. Durchschnittlich kam es in den USA in dem o. g. Zeitraum pro Jahr zu fünf tödlichen Unfällen zwischen blinden FußgängerInnen und motorisierten Fahrzeugen. Hinsichtlich der Unfallrate aller tödlich verunglückten FußgängerInnen in Amerika konnte für den Toyota Prius keine erhöhte Unfallgefahr im Vergleich zu konventionell betriebenen Fahrzeugen für den Zeitraum von 2002 bis 2006 nachgewiesen werden. (Sandberg 2012, S. 212; Morgan et al. 2011, S. 26)

Im darauffolgenden Jahr (2007) gab es in Amerika sechs tödliche Unfälle mit blinden VerkehrsteilnehmerInnen, wobei auch hier bei keinem der Unfälle ein E-Pkw beteiligt war. (Verheijen und Jabben 2010)

Im Jahr 2008 ereignete sich einer der ersten Unfälle in den USA, der auf die verminderte Schallemission eines elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugs zurückgeführt wurde. Hier kam es zu einem Zusammenstoß zwischen einem achtjährigen Kind und einem Hybridfahrzeug. Das Kind hatte das herannahende Hybridfahrzeug nicht wahrgenommen. (Johnson 2008)

2.3.7 Unfallgeschehen in Australien

Dass ein erhöhtes Sicherheitsrisiko für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen nicht nur von leisen E-Pkw ausgehen könnte, stellten Liu et al. auf Basis einer Onlineumfrage mit insgesamt 246 sehgeschädigten TeilnehmerInnen fest. Das Ziel der Befragung lag darin, die alltäglichen Erfahrungen sehgeschädigter VerkehrsteilnehmerInnen sowohl mit E-Pkw als auch mit Fahrrädern zu ermitteln und bezüglich Sicherheitsaspekten zu bewerten.

Die Umfrageergebnisse zeigten Folgendes (Liu et al. 2018, S. 9–10):

- ▶ 35 % der Befragten gaben an, bereits einen Zusammenstoß bzw. einen Beinahe-Zusammenstoß („near-collision“) mit einem Elektro- oder Hybridfahrzeug erlebt zu haben.³⁴
- ▶ 74 % der Befragten gaben an, dass sie sich aufgrund der zunehmenden Anzahl von Elektro- und Hybridfahrzeugen auf den Straßen Australiens weniger selbstsicher im Straßenverkehr (insbesondere beim Überqueren von Fahrbahnen) bewegen würden.
- ▶ 78 % der Befragten erwähnten, dass sie bereits einen Zusammenstoß bzw. einen Beinahe-Zusammenstoß („near-collision“) mit dem Radverkehr erlebt hätten.³⁵

³⁴ Davon 14 % mindestens einen Zusammenstoß, 77 % mindestens einen Beinahe-Zusammenstoß und 9 % mindestens einen Zusammenstoß und einen Beinahe-Zusammenstoß.

³⁵ Davon 19 % mindestens einen Zusammenstoß, 65 % mindestens einen Beinahe-Zusammenstoß und 16 % mindestens einen Zusammenstoß und einen Beinahe-Zusammenstoß.

- ▶ 40 % der Befragten, die angaben, bereits einen Zusammenstoß oder Beinahe-Zusammenstoß erlebt zu haben, berichteten von negativen Auswirkungen auf ihr alltägliches Mobilitätsverhalten.
- ▶ 75 % der Befragten gaben an, dass die Anwesenheit von RadfahrerInnen auf den Straßen ihr Vertrauen in Fortbewegung im Straßenverkehr verringere.

Zudem wurden mit insgesamt 22 sehgeschädigten TeilnehmerInnen Interviews geführt. Ziel war es, die Auswirkungen leiser Fahrzeuge für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen besser beurteilen zu können.

Die Interviews ergaben Folgendes (Liu et al. 2018, S. 9):

- ▶ Alle befragten Personen berichteten von erlebten Schwierigkeiten dabei, E-Pkw als FußgängerInnen im Straßenverkehr wahrnehmen zu können. Die Mehrheit der TeilnehmerInnen fühlte sich aufgrund der E-Pkw im Straßenverkehr zunehmend gefährdet.
- ▶ Die Mehrheit der Befragten berichtete über ihre Angst vor Kollisionen und Beinahe-Kollisionen mit RadfahrerInnen, insbesondere bei gemeinsam genutzten Wegen. Ähnlich wie bei E-Pkw teilten die Befragten ihre Schwierigkeiten mit, RadfahrerInnen wahrzunehmen und ihnen rechtzeitig auszuweichen.
- ▶ Aufgrund der erlebten Interaktionen mit E-Pkw, RadfahrerInnen und teilweise auch Elektro-Scootern, gaben die Befragten an, dass sie geringes Selbstvertrauen und verstärkt Angst bei der Teilnahme am Straßenverkehr hätten.

Basierend auf den Untersuchungsergebnissen, kommen Liu et al. zu dem Schluss, dass für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen ein erhöhtes Risiko bestünde, wenn sie als FußgängerInnen im Straßenverkehr unterwegs sind. Die Studie hat ergeben, dass ein erheblicher Anteil der Befragten sowohl mit E-Pkw als auch mit dem Radverkehr Kollisionen oder Beinahe-Kollisionen erlebt hatte. Es stellen folglich nicht nur Elektro- und Hybridfahrzeuge eine Herausforderung bzw. Gefährdung für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen dar, sondern auch andere leise, nicht elektrisch angetriebene Fahrzeuge, wie z. B. Fahrräder. (Liu et al. 2018, S. 10)

2.3.8 Unfallgeschehen in Japan

In einer japanischen Untersuchung aus dem Jahr 2009 konnte kein höheres Unfallrisiko für FußgängerInnen durch Elektrofahrzeuge im Vergleich zu konventionell angetriebenen Fahrzeugen nachgewiesen werden (JASIC 2009). Dennoch bestehen hier große Bedenken, dass insbesondere sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen aufgrund der leisen elektrischen Antriebe der Kraftfahrzeuge einem erhöhten Sicherheitsrisiko ausgesetzt sind. Diese These wurde durch einen Unfall aus dem Jahr 2015 bestärkt, bei dem in Japan ein blinder Mann mit seinem Blindenführhund von einem rückwärtsfahrenden Lastkraftwagen überfahren und dabei getötet wurde. Der Fahrer des Lkw hatte das akustische Warnsystem an seinem Fahrzeug abgestellt (Weinrichter 2016). Dies wurde als eine der Unfallursachen vermutet. Der Unfall war einer der Treiber für die Forderung nach einem akustischen Warnsystem bei elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen

2.4 Fazit Verkehrssicherheit und Ausblick

Fuß- und Radverkehr bilden die Gruppe der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen. Diese tragen bei Zusammenstößen mit einem Kraftfahrzeug häufig schwere Verletzungen davon. Dazu kommt, dass verschiedene sensorische oder kognitive Einschränkungen die Wahrnehmung von Fahrzeugen im Allgemeinen und leisen Fahrzeugen im Speziellen erschweren können.

Der überwiegende Teil (94 %) von Unfällen zwischen ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen und Kraftfahrzeugen ereignet sich innerhalb von geschlossenen Ortschaften. Kinder und ältere Menschen sind hier besonders häufig in Fußverkehrsunfälle verwickelt. Zahlen über Verkehrsunfälle von Menschen mit Behinderungen liegen nur in Ausnahmefällen vor, da das statistische Merkmal „Behinderung“ bei der Unfallaufnahme nicht erfasst wird, um diskriminierungsfrei zu erheben.

Häufigster Unfallgegner des Fuß- und Radverkehrs ist ein Kraftfahrzeug. Fahrmanöver mit niedrigen Geschwindigkeiten der Kraftfahrzeuge, wie beispielsweise Anfahren, Rangieren oder Rückwärtsfahren, spielen bei Unfällen mit Beteiligung eines Kraftfahrzeugs und einem zu Fuß gehenden eine nicht unerhebliche Rolle. Etwa bei einem Viertel dieser Unfälle wurde in einer Untersuchung dieser Zusammenhang festgestellt. Gerade für ältere Menschen mit Rollator ergibt sich hier offensichtlich eine besondere Gefahr, da diese infolge des Sturzes durch den Zusammenstoß schwere Verletzungen bis hin zum Tode erleiden.

Der Bestand an elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen in Deutschland steigt in den letzten Jahren zwar merklich an. Bezogen auf den Gesamtbestand der Pkw ist der Anteil von elektrisch angetriebenen Pkw mit derzeit (Stand 2020) etwa 1,4 % allerdings gering. Entsprechend gering ist die absolute Zahl der Unfälle bzw. der Anteil am Gesamtunfallgeschehen sowohl insgesamt als auch bei Zusammenstößen der E-Pkw mit einem ungeschützten Verkehrsteilnehmenden. Tendenziell zeigt sich in Deutschland zwar ein leicht erhöhtes Unfallrisiko bei diesen Unfällen, aufgrund der überschaubaren Datenlage sind gesicherte Aussagen derzeit allerdings noch mit Unsicherheiten behaftet. Zudem wird angenommen, dass das Unfallgeschehen auch die erhöhte Verkehrsteilnahme der elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeuge im innerstädtischen Verkehr widerspiegeln könnte. Im Zuge von Debatten zum Klimaschutz und infolge staatlicher Fördermaßnahmen sind zunehmend größere Steigerungsquoten und Anteile von E-Pkw am Gesamtkraftfahrzeugbestand in Deutschland zu erwarten. Bis nennenswerte Marktanteile erreicht werden und sich valide Zahlen in der Unfallstatistik zeigen, dürfte es noch einige Jahre dauern.

Die Auswertung der Unfallanalysen aus dem Ausland zeigt ein uneinheitliches Bild. In den amerikanischen Studien wurde ein zum Teil erhöhtes Unfallrisiko für FußgängerInnen und RadfahrerInnen für Unfälle mit elektrisch angetriebenen Fahrzeugen im Vergleich zu herkömmlichen Verbrennerfahrzeugen ermittelt. Hier waren ebenfalls Fahrmanöver mit niedrigen Geschwindigkeiten (u. a. Abbremsen, Abbiegen, Rangieren sowie Ein- und Ausparken) auffällig. Allerdings wurden die Studien aus den USA von anderen WissenschaftlerInnen teilweise methodisch infrage gestellt. In anderen Ländern, z. B. Schweiz, Niederlande, Japan, konnte bislang kein erhöhtes Unfall-Risiko mit alternativ angetriebenen Fahrzeugen für den Fuß- und Radverkehr nachgewiesen werden.

Abschließend ist festzustellen, dass bestimmte sensorische oder kognitive Einschränkungen einen Einfluss auf die Wahrnehmbarkeit von Kraftfahrzeugen im Verkehr haben können. Diese Einschränkungen treten häufig in Gruppen auf, die bei einem Unfall mit einem Kfz bereits heute als FußgängerInnen oder RadfahrerInnen einem höheren Risiko für schwere Verletzungen ausgesetzt sind. Zudem scheinen gerade im niedrigen Geschwindigkeitsbereich der Kraftfahrzeuge mit in der Regel geringen Schallemissionen nicht zu unterschätzende Risiken für

Unfälle mit FußgängerInnen zu bestehen. Wenn sich bislang auch ein höheres Risiko durch den Wegfall der Geräusche des Antriebs- und Abgasstrangs bei elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen bei niedrigen Geschwindigkeiten nicht mit letzter Sicherheit an den Unfallzahlen festmachen lässt, ist der Wunsch insbesondere der Gruppen ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen nach einer Kompensation der Geräuschreduktion nachvollziehbar. Bei leisen Fahrzeugen bzw. Fahrmanövern mit geringen Geräuschemissionen scheint bereits unabhängig von der Antriebsart ein gewisses Risiko für Unfälle zu bestehen. Dabei könnte vor allem die Wahrnehmung der Fahrzeuge eine Rolle spielen. Das AVAS hat primär den Fokus, die Sicherheit ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen zu erhöhen. Dabei steht weniger die akustische Warnung im Vordergrund (wie es z. B. bei einer Fahrzeughupe der Fall ist), sondern vielmehr die verbesserte akustische Wahrnehmbarkeit der im geringen Geschwindigkeitsbereich leiseren Kraftfahrzeuge mit elektrischem Antrieb. Insofern ist die Implementierung aus Sicht der Verkehrssicherheit nachvollziehbar.

3 Akustische und technische Anforderungen an ein AVAS

3.1 Rechtlicher Rahmen für Einbau und Betrieb

Das folgende Kapitel befasst sich mit den rechtlichen Regelungen, aus der sich Einbau und Betrieb des AVAS ergeben. Es ist insofern auch auf jene Ordnungen, Verordnungen und Richtlinien beschränkt, für die ein AVAS vorgesehen ist oder aus denen sich diese ableiten lassen.

Die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) regelt in § 19 die Erteilung und Wirksamkeit der Betriebserlaubnis von Fahrzeugen. Unter anderem sind hier auch akustische Anforderungen geregelt, auf diese soll passend zum Thema im Folgenden eingegangen werden.

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten zur Erteilung der Betriebserlaubnis. Zum einen gemäß Vorschriften der StVZO selbst oder zum anderen an Stelle dieser Vorschriften die Erfüllung von Einzelrichtlinien entsprechender Zulassungs-Richtlinien des Europäischen Parlamentes in gültiger Fassung. Für Kraftfahrzeuge ist in der StVZO zum Beispiel die Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments angegeben, in der die anzuwendenden Einzelrichtlinien aufgeführt sind. Ersetzende Verordnungen des Europäischen Parlamentes, wie zum Beispiel die VO (EU) 2018/858 gelten ohne explizite Erwähnung in der StVZO.

Ausgeschlossen im Sinne dieser Rechtsverordnung sind ausschließlich nicht motorbetriebene oder mit einem Hilfsantrieb ausgerüstete Fortbewegungsmittel mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 6 km/h. Nach § 19 Absatz 2 Nr. 3 StVZO bleibt die Betriebserlaubnis eines Fahrzeuges bis zur Außerbetriebsetzung bestehen, außer diese wird ausdrücklich entzogen. Eine Änderung am Fahrzeug, durch die beispielsweise eine Gefährdung von VerkehrsteilnehmerInnen zu erwarten ist oder die zu einer Verschlechterung des Geräuschverhaltens führt, würde u. a. das sofortige Erlöschen der Betriebserlaubnis nach sich ziehen.

Erfolgt die Erteilung der Betriebserlaubnis nach StVZO, so sind die Vorschriften zur Geräuschentwicklung in § 49 festgelegt. Konkret wird hier auf die Richtlinie 70/157/EWG über den zulässigen Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtung von Kraftfahrzeugen verwiesen. Mit der Richtlinie 92/97/EWG über den zulässigen Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtungen gilt seit dem Jahr 1992 eine überarbeitete Fassung hierzu. In beiden Richtlinien gibt es keine Vorschriften zum AVAS oder einem vergleichbaren System. Die Erteilung einer nationalen Betriebserlaubnis ist Stand 2020 auf diesem Wege weiterhin möglich und zulässig. Die Verordnung (VO (EU) 2018/858) schränkt diese Möglichkeit jedoch stark ein.

Die Erteilung der Betriebserlaubnis nach Rahmenrichtlinie für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern, Richtlinie 2007/46/EG, war bis zu deren Außerkraftsetzung am 01.09.2020 zulässig (Aufhebung durch Verordnung VO (EU) 2018/858). Es ist erforderlich, die im Anhang der Rahmenrichtlinie befindlichen Einzelrichtlinien zu erfüllen. Mit Bezug zur Akustik sind dies:

- ▶ Richtlinie 70/157/EWG über den zulässigen Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtung von Kraftfahrzeugen

- geändert durch: Richtlinie 92/97/EWG über den zulässigen Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtung von Kraftfahrzeugen
- zukünftig aufgehoben durch: VO (EU) Nr. 540/2014, Verordnung des Europäischen Parlamentes und des Rates über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämpferanlagen (diese ersetzt Richtlinie 70/157/EWG, aber nicht Richtlinie 92/97/EWG)
- ▶ 70/388/EWG Richtlinie zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Vorrichtungen für Schallzeichen von Kraftfahrzeugen (Richtlinie 70/157/EWG)
 - aufgehoben durch: Verordnung 661/2009/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit
- ▶ UNECE R 51: Regelung der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern hinsichtlich ihrer Geräuschemissionen
- ▶ UNECE R 28: Regelung der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa — Einheitliche Vorschriften für die Genehmigung der Vorrichtungen für Schallzeichen und der Kraftfahrzeuge hinsichtlich ihrer Schallzeichen
- ▶ UNECE R 117: Regelung der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Reifen hinsichtlich der Rollgeräuschemissionen und der Haftung auf nassen Oberflächen und/oder des Rollwiderstandes

Mit Ersatz der Rahmenrichtlinie 2007/46/EG durch die Verordnung VO (EU) 2018/858 über die Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge ist die Erteilung der Betriebserlaubnis neu geregelt. Mit Bezug zur Akustik und im Zusammenhang mit Schallzeichen und AVAS sind folgende Einzelrichtlinien zu erfüllen:

- ▶ VO (EU) Nr. 540/2014: Verordnung des Europäischen Parlamentes und des Rates über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämpferanlagen (diese ersetzt Richtlinie 70/157/EWG, aber nicht Richtlinie 92/97/EWG)
- ▶ Verordnung 661/2009/EG: Verordnung des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit. Darin geregelt sind insbesondere Rollgeräuschemissionen von Reifen.
- ▶ UNECE R 28: Regelung der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa — Einheitliche Vorschriften für die Genehmigung der Vorrichtungen für Schallzeichen und der Kraftfahrzeuge hinsichtlich ihrer Schallzeichen

- ▶ UNECE R 117: Regelung der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Reifen hinsichtlich der Rollgeräuschemissionen und der Haftung auf nassen Oberflächen und/oder des Rollwiderstandes
- ▶ UNECE R 138: Regelung der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen — Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung geräuscharmer Straßenfahrzeuge hinsichtlich ihrer verringerten Hörbarkeit
- ▶ UNECE R 138.01 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen — Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung geräuscharmer Straßenfahrzeuge hinsichtlich ihrer verringerten Hörbarkeit.

In der VO (EU) Nr. 540/2014 ist neben dem Verfahren zur Messung der Geräuscentwicklung von Kraftfahrzeugen auch die technische Ausführung eines AVAS geregelt. Diese gilt seit Inkrafttreten am 1. Juli 2016 und ist ein im Anhang der VO (EU) 2018/858 aufgeführter verbindlicher Rechtsakt, welcher die Betriebserlaubnis und Bauartgenehmigung mit Bezug auf Geräusch und AVAS regelt. Akustische Fahrzeug-Warnsysteme sind demnach in reinen Elektrofahrzeugen und Hybridelektrofahrzeugen ab dem 1. Juli 2019 für neue Fahrzeugtypen und bis spätestens ab dem 1. Juli 2021 für alle Neufahrzeuge vorgeschrieben. Mit Inkrafttreten gelten die Regeln zur technischen Ausführung außerdem, sofern ein AVAS frühzeitig verbaut wird.

Die Verordnung gilt für Fahrzeuge zur Personenbeförderung der Klassen M1, M2, M3. Dies umschließt Fahrzeuge bis zu (Pkw) und über acht Sitze (Busse) ohne den Fahrersitz und unabhängig von der Gesamtmasse; geländegängige Fahrzeuge der Klasse M1G sind ausgeschlossen. Ferner ist die Verordnung auf Fahrzeuge zur Güterbeförderung, Klassen N1, N2, N3 (alle Gewichtsklassen) anzuwenden.

In Anhang VIII der VO (EU) Nr. 540/2014 sind die Systemleistungen für das akustische Fahrzeug-Warnsystem hinsichtlich Betriebsbedingungen sowie der Art und Lautstärke des Schallzeichens in einem geringen Detaillierungsgrad beschrieben. Hier wird auch auf eine akustische Obergrenze eines vergleichbaren Fahrzeuges der Klasse M1 hingewiesen. Gleichzeitig gilt gemäß § 30 StVZO, dass Fahrzeuge so gebaut und ausgerüstet sein müssen, dass ihr verkehrüblicher Betrieb niemanden schädigt oder mehr als unvermeidbar gefährdet, behindert oder belästigt.

Die Richtlinien oder Regelungen zum Schallzeichen beziehen sich offensichtlich auf akustische Warneinrichtungen vom Typ Horn oder Hupe und nicht auf ein AVAS, eine klare begriffliche Abgrenzung ist in den zugehörigen Dokumenten nicht zu finden.

Die Bauartgenehmigung für zwei- und dreirädrige Kraftfahrzeuge sowie leichte vierrädrige Kraftfahrzeuge (KBA Klasse L: Motorräder, Trikes, Quads) erfolgt gemäß (VO (EU) Nr. 168/2013) des Europäischen Parlaments und des Rates über die Genehmigung und Marktüberwachung von zwei- oder dreirädrigen und vierrädrigen Fahrzeugen. Ein System vergleichbar mit dem AVAS ist hier nicht beschrieben und kann aus den referenzierten Vorschriften nicht abgeleitet werden. Als Beispiel für ein solches Fahrzeug ist der Renault Twizy zu nennen, der als rein elektrisch angetriebenes Fahrzeug der Klasse L7e zugelassen ist.

In der Verordnung VO (EU) Nr. 167/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Genehmigung und Marktüberwachung von land- und forstwirtschaftlichen Fahrzeugen sind im Anhang die Vorschriften für Schallzeichen und Geräuschpegel geregelt. Ein System vergleichbar mit dem AVAS ist nicht beschrieben und kann aus den referenzierten Vorschriften nicht abgeleitet werden.

3.2 Technische Anforderungen

3.2.1 Nationale technische Vorgaben

Detaillierte Vorschriften zu den Betriebsbedingungen eines AVAS finden sich in der UNECE R 138 — Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung geräuscharmer Straßenfahrzeuge hinsichtlich ihrer verringerten Hörbarkeit vom 5. Oktober 2016 sowie in einer zugehörigen Änderung vom 13. Januar 2017 (UNECE R 138.01).

Zur Erarbeitung der technischen Vorgaben wird auf die englische Version der UNECE R 138 zurückgegriffen, da die deutsche Version an entscheidenden Stellen missverständlich und aus technischer Sicht ungenau ist.

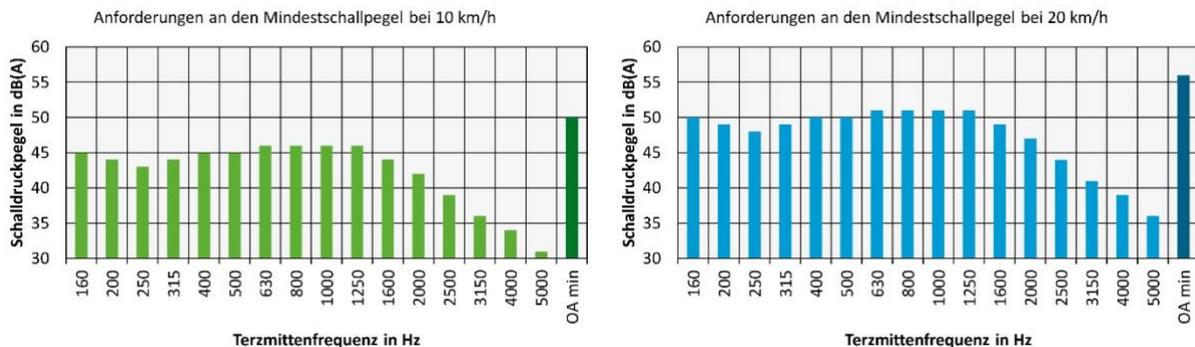
Folgende Vorgaben muss ein Fahrzeug erfüllen, welches mit einem AVAS ausgerüstet ist:

- ▶ Im Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 20 km/h ist ein Warngeräusch mit festgelegtem Mindestpegel und zumindest zwei tonalen Anteilen abzustrahlen.
- ▶ Auch bei Rückwärtsfahrt ist ein Warngeräusch abzustrahlen.
- ▶ In ein Fahrzeug muss kein akustisches Fahrzeug-Warnsystem verbaut sein, wenn die geforderten Gesamtpegel gemäß der Messvorschrift mit einer Sicherheitsspanne von +3 dB bereits erreicht werden.
- ▶ Eine Pausenfunktion ist gemäß der UNECE R 138.01 vom 13. Januar 2017 nicht zulässig.
- ▶ Mindestens ein vom Fahrzeug abgegebener Ton muss eine Geschwindigkeitsänderung durch eine proportionale Frequenzverschiebung anzeigen.
- ▶ Das AVAS System darf im Stand ein Geräusch abgeben.
- ▶ Der Hersteller kann mehrere, durch den Fahrer bzw. die Fahrerin frei wählbare Klänge implementieren. Jeder unterliegt jeweils den vorgegebenen Vorschriften.
- ▶ Ein Gesamtpegel von 75 dB(A) gemäß der Messvorschrift darf nicht überschritten werden.

In Vorwärtsfahrt wird die akustische Anforderung erfüllt, wenn unter vorgegebenen Prüfbedingungen ein Gesamtpegel von mindestens 50 dB(A) für eine Geschwindigkeit von 10 km/h und ein Gesamtpegel von mindestens 56 dB(A) für eine Geschwindigkeit von 20 km/h erreicht wird. Weiterhin muss in mindestens zwei Terzbändern ein vorgegebener Mindestpegel erreicht werden (siehe Abbildung 2). Zumindest einer dieser ist in den Terzbändern mit Mittenfrequenzen zwischen 160 Hz und 1.600 Hz zu erreichen. In Rückwärtsfahrt ist unabhängig von Frequenzinhalten nur ein Gesamtpegel von mindestens 47 dB(A) zu erreichen, die Prüfgeschwindigkeit hierzu beträgt 6 km/h.

Abbildung 2: Anforderungen an den Mindestschallpegel gemäß UNECE R 138 hinsichtlich ihrer verringerten Hörbarkeit in Abhängigkeit von der vorgesehenen Prüfgeschwindigkeit

Dargestellt ist der zu erfüllende Mindestpegel je Terzband für 10 km/h und 20 km/h, von denen zumindest zwei erreicht werden müssen, und der zu erreichende Gesamtpegel (OA: Over All).



Quelle: Eigene Darstellung (Rainer Haas, lizenziert unter [CC-BY-SA-4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/))

Zur Anzeige einer Geschwindigkeitsänderung muss sich mindestens ein vom AVAS abgegebener Ton, der die Anforderung des Mindestpegels erfüllt, proportional zur Geschwindigkeit mit einer Steigung von 8 % je 10 km/h Geschwindigkeitsunterschied, in seiner Frequenz verändern. Diese Tonänderung ist zwischen 5 und 20 km/h zu realisieren. Weitere tonale Anteile dürfen anderen Änderungsraten unterliegen oder gänzlich unverändert bleiben.

Eine Pegelobergrenze für das zulässige Standgeräusch kann aus Anhang VIII VO (EU) Nr. 540/2014 abgeleitet werden, hier wird ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor der Klasse M₁ herangezogen. Ein konkreter Wert ist damit nicht festgelegt, die Geräuschemissionen des AVAS müssten so hinsichtlich ihrer Obergrenze nach und nach sinkenden Geräuschemissionen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor angepasst werden. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass leise Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren nicht durch Fahrzeuge mit AVAS verdeckt werden. Davon unberührt ist die problematische akustische Wahrnehmung von Fahrzeugen mit Start-Stopp-Automatik.

Die Vorschriften zur Durchführung der akustischen Messungen nach UNECE R 138 sind bezüglich der zu verwendenden Messtechnik und der erlaubten Prüfstrecken vergleichbar mit der Messvorschrift zur Fahrgeräuschmessung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor nach VO (EU) Nr. 540/2014. Die erfassten Schalldruckpegel werden mit einem Mikrofonabstand von 2 Meter zur Fahrzeugmittelebene gemessen und liegen daher etwa 9 dB über jenen Werten, die bei der Messung zur Geräuschentwicklung bei Vorbeifahrt mit einem Mikrofonabstand von 7,5 Meter erfasst werden (VO (EU) Nr. 540/2014). Die genannte Differenz ergibt sich aus der unterschiedlichen Distanz des Messmikrofons zur dominanten Quelle und den physikalischen Grundlagen der Ausbreitung von Schall. Die Berücksichtigung von zulässigem Hintergrundgeräusch erfolgt nach gleichen Grundsätzen. Die zulässigen Werte sind entsprechend den zu erwartenden geringeren Messpegeln angepasst. Da die Erreichung von Mindestpegeln nachgewiesen werden soll, wird zur Wertermittlung das Messmikrofon mit den geringsten Messamplituden herangezogen.

Hybridfahrzeuge, deren Verbrennungsmotor generell unter den vorgesehenen Prüfbedingungen anspringt oder läuft, sind von der Prüfung ausgenommen. Diese Regelung gilt getrennt für Prüfung in Vorwärts- oder Rückwärtsrichtung. Entsprechend kann auch die Prüfung zur Frequenzverschiebung unter der genannten Bedingung entfallen.

3.2.2 Technische Vorgaben außerhalb der EU

Für den nordamerikanischen Wirtschaftsraum gilt der Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS) Nr. 141 – Minimum Sound Requirements for Hybrid and Electric Vehicles, herausgegeben von der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), zivile Bundesbehörde im Geschäftsbereich des Department of Transportation (DOT). Die Vorschrift ist gültig für vierrädrige reinelektrische und Hybridfahrzeuge bis zu einem zulässigen Fahrzeuggesamtgewicht von 4.536 kg. Gemäß dieser Vorschrift muss ein Fahrzeug, welches mit einem Acoustic Vehicle Alerting System ausgerüstet ist, folgende Vorgaben erfüllen:

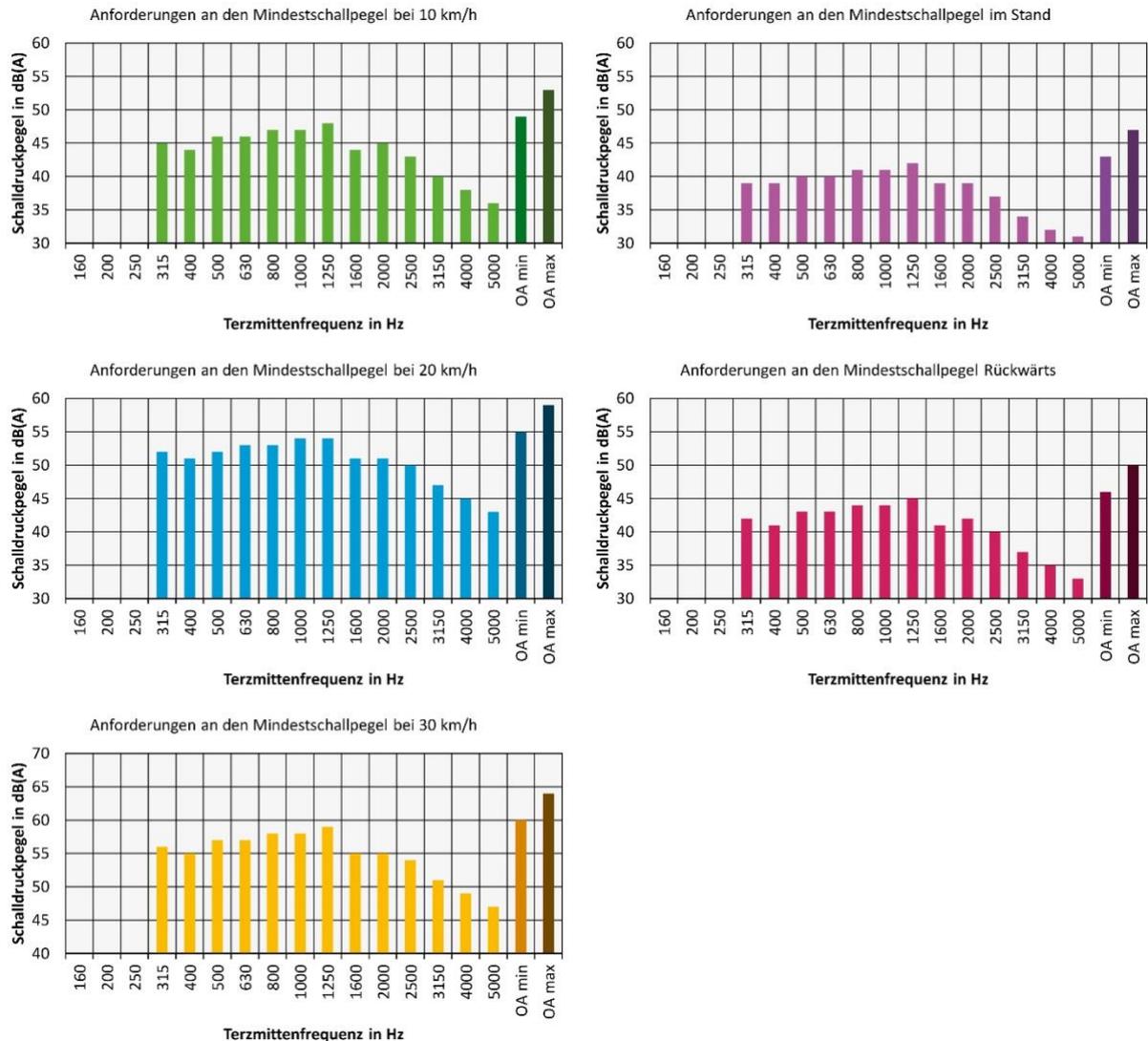
- ▶ Im Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 30 km/h (18,6 mph) ist ein Warngeräusch in einem festgelegten Pegelbereich abzustrahlen.
- ▶ Auch bei Rückwärtsfahrt ist ein Warngeräusch in einem festgelegten Pegelbereich abzustrahlen.
- ▶ Eine Pausenfunktion ist ebenso wie eine freie Klangwahl durch den Fahrer bzw. die Fahrerin nicht zulässig.
- ▶ Eine Geschwindigkeitsänderung wird einzig durch eine Lautstärkeänderung angezeigt, eine proportionale Frequenzverschiebung tonaler Anteile ist nicht vorgesehen.
- ▶ Das AVAS System muss im Stand ein Geräusch in einem festgelegten Pegelbereich abgeben.
- ▶ Der Hersteller kann für ein Fahrzeugmodell sogenannte Sound-Sets für unterschiedliche Betriebsmodi implementieren. Jedes Klangbild des Sets unterliegt selbstverständlich den vorgegebenen Vorschriften.
- ▶ Für jeden Geschwindigkeitsbereich sind Maximalpegel festgelegt.

Inhaltlich folgt die Vorschrift vergleichbaren Grundsätzen zur europäischen Richtlinie. Es muss ein Mindestpegel erreicht werden, der sich aus mehreren signifikanten Terzbändern zusammensetzt. Die geforderten Summenpegel liegen etwas niedriger. Die gesetzten Maximal-Summenpegel liegen deutlich niedriger und sind geschwindigkeitsabhängig abgestuft.

Bei der tonalen Gestaltung gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten: Zum einen kann eine sogenannte 4-Band Option umgesetzt werden, bei der die Mindestpegel in zumindest vier Terzbändern erreicht werden müssen. Diese dürfen nicht benachbart sein und müssen sich insgesamt über eine Spanne von neun Bändern erstrecken (Abbildung 3). Alternativ können zwei Bänder genutzt werden, von denen eines in Terzbändern mit Mittenfrequenzen von 315 Hz bis 1000 Hz liegen muss und das andere in den Terzbändern mit Mittenfrequenzen von 1250 Hz bis 3150 Hz. Für alle geforderten Geschwindigkeitsbereiche ist für diese Option ein gleicher Mindestpegel und ein erforderlicher Bandsammenpegel für die zwei betrachteten Bänder angegeben. Bei allen Vorgaben sind die Terzbänder mit den Mittenfrequenzen 160 Hz, 200 Hz und 250 Hz unberücksichtigt.

Abbildung 3: Mindestschallpegel und Maximalpegel der Minimum Sound Requirements for Hybrid and Electric Vehicles für die sogenannte 4-Band-Option

Dargestellt ist der zu erfüllende Mindestpegel je Terzband, von denen zumindest vier nicht benachbarte Terzbänder den gegebenen Pegelwert erreichen müssen. Für den Gesamtpegel (OA: Over All) ist sowohl Minimum als auch Maximum festgelegt.



Quelle: Eigene Darstellung (Rainer Haas, lizenziert unter [CC-BY-SA-4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/))

Die ursprünglich geplante geschwindigkeitsabhängige Frequenzverschiebung mit einer Rate von 10 % je 10 km/h ist mit Verweis auf die problematische technische Umsetzung zum Nachweis, sowie die unklare Definition zur Bandbreite und damit unklare Lage des signifikanten Tones (die Messvorschrift bezieht sich immer auf Frequenzbänder), verworfen und durch eine Lautstärkezunahme ersetzt worden. Dabei wird die Differenz des Summenpegels aus den betrachteten Terzbändern der Mittenfrequenzen 315 Hz bis 5.000 Hz gebildet. Diese sind vor der Bildung des Summenpegels auf die erforderlichen Mindestpegel im Stillstand zu normieren (Bandsumme der Pegelwerte für die gewählte Geschwindigkeit – Pegelwerte Stillstand). Für die Geschwindigkeitsbereiche 0 km/h bis 10 km/h, 10 km/h bis 20 km/h und 20 km/h bis 30 km/h ist eine minimale Pegeldifferenz von jeweils 3 dB vorgegeben. Die maximale Pegeldifferenz zwischen den Bereichen ergibt sich aus den Vorgaben der maximalen Summenpegel zu 5 oder 6 dB.

Die erforderlichen Messungen erfolgen gemäß der Vorschrift SAE J2889/1, Measurement of Minimum Noise Emitted by Road Vehicles.

Japan hat in 2016 eine nationale Regelung im Rahmen der „Test Requirements and Instructions for Automobile Standards (TRIAS)“ erlassen und akzeptiert mit dem Wegfall der Pause-Option auch alternativ die Vorschriften der UNECE R 138. Beide Regeln sollen nahezu identisch sein.

In China liegt ebenfalls mit der GB 7258-2017 eine nationale Regelung vor, in dieser wird ein angemessener Warnton für umstehende Personen in einem Geschwindigkeitsbereich vom Stillstand bis 20 km/h gefordert. Es ist geplant eine Vorschrift in Anlehnung (+ 2 dB für alle Minimalpegel) zur UNECE R 138 in einer nationalen Regelung in Form einer verbindlichen „Technical Guideline“ aufzunehmen.

3.2.3 Umsetzung im Fahrzeug

Die eingesetzten Systeme sind recht einfach aufzubauen und bestehen aus einer Steuerungseinheit (Controller), der als Eingangssignal die Fahrzeuggeschwindigkeit nutzt und mindestens einer Lautsprechereinheit. Diese ist in der Regel wasserfest ausgeführt und im vorderen Bereich des Fahrzeuges montiert. Bezüglich Bauraum, Position und Größe können die verwendeten Klangeinheiten in physikalisch umsetzbaren Grenzen den Gegebenheiten in verschiedenen Fahrzeugen angepasst werden. Es ist aufgrund von finanziellen Vorteilen bei großen Stückzahlen mit einem recht einheitlichen Erscheinungsbild zu rechnen.

In der Umsetzung eines Klangbildes ergeben sich mehrere Zielkonflikte. Ein Warnton oder -klang soll vor einer konkreten Gefahr warnen, es ist also eine gewisse Lästigkeit mit ausreichender Warnqualität des Geräusches notwendig. Diese Lästigkeit begünstigt die Wahrnehmung für zu warnende Personen. Dabei kann ein charakteristisches Klangbild die Wiedererkennung zusätzlich begünstigen. Das erzeugte Warngeräusch wird außerdem auch von den Fahrzeuglenkenden im Innenraum wahrgenommen. Diese werden durch ein solches Geräusch unter Umständen gestresst und reagieren mit verschlechtertem Fahrverhalten. Gerade bei leichten E-Pkw kann dies der Fall sein, da hier möglichst wenige sekundär-akustische Maßnahmen, wie zum Beispiel Isolationsmaterialien, Dämmungen und Schwerematten, verbaut werden. Gestaltet man das Warngeräusch mit Blick auf den Fahrer bzw. die Fahrerin angenehmer, so nimmt im Gegenzug die Warnqualität ab. Gleichzeitig erhöht sich die Gefahr, dass die zu warnende Person das Geräusch nur vermindert wahrnimmt oder sogar gänzlich ausblendet (Zwicker 1982; Möser 2018). Die Tatsache, dass das Geräusch im vorgegebenen Geschwindigkeitsbereich dauerhaft und nicht situationsbedingt wahrgenommen werden kann, begünstigt sowohl Stress- als auch Gewöhnungseffekte. Die als positiv zu bewertende Wiedererkennung kann auch durch gelegentliche Exposition erlernt werden. (FMVSS No. 141)

Die Vorgaben der unterschiedlichen Richtlinien sprechen zwar von tonalen Anteilen, die einzuhaltenden Grenzwerte sind jedoch in Terzbändern angegeben, also auch möglicherweise breitbandiger umzusetzen. In diesem Rahmen lassen sich bei gleichem Schalldruckpegel signifikant unterschiedliche Lästigkeiten und damit auch Warnqualitäten erzielen. Weiterhin ist die Lästigkeit noch stark durch die Impulshaltigkeit, Schärfe und Schwankungsstärke des dargebotenen Klangbildes beeinflussbar.

3.2.4 Fazit technische Anforderungen

Die geltenden Vorschriften ermöglichen es, sehr unterschiedliche Klangbilder in der Umsetzung eines AVAS zu implementieren. Zur Erteilung der Betriebserlaubnis sind im Wesentlichen die UNECE R 138 und die FMVSS No. 141 maßgeblich. Beide beruhen auf der Definition von Mindestschallpegeln in festgelegten Terzbändern und machen Vorgaben für vorgegebene Prüfgeschwindigkeiten (vgl. Abbildung 2 und Abbildung 3).

Grundsätzlich können im Rahmen der Grenzwerte auch Klangbilder mit scharfen tonalen Anteilen, sich wiederholenden Frequenzmustern (z. B. Sägezahn- oder Rechteckverläufe), Schwebungen, Ticks und anderen impulsartigen Anteilen erzeugt werden. Solche Klangbilder werden als unangenehm rau und lästig wahrgenommen. Die im gesetzlichen Rahmen einzuhaltenden Pegelwerte erlauben daher im Rückschluss keine genauen Aussagen über Warnqualität, Lästigkeit oder Störung durch das Klangbild. Abhängig von unterschiedlichen Umsetzungsvarianten in zugelassenen Fahrzeugen kann zukünftig eine entsprechende Ergänzung oder Überarbeitung der Vorschriften erforderlich werden.

Beide Vorschriften sind gegenüber 2-Band- und 4-Band Optionen offen. Die National Highway Traffic Safety Administration hat die FMVSS No. 141 explizit für eine 2-Band Option offengehalten. In der Vorschrift ist dazu von einer Untersuchung, dies zu erlauben, die Rede.

Unterschiedlich umzusetzen ist in jedem Fall die geschwindigkeitsabhängige Signalveränderung. Es ist denkbar, eine Frequenzveränderung für den europäischen Markt so zu gestalten, dass diese innerhalb eines Terzbandes bleibt und gleichzeitig auch die Vorschrift FMVSS No. 141, welche nur eine Lautstärkeänderung vorsieht, erfüllt werden kann.

Weltweit sehen derzeit alle Regelungen ein Verbot einer Pausenfunktion vor. Aus rein technischer Sicht ist es jedoch einfach, eine Pausenfunktion für lokale Märkte oder sogar in Abhängigkeit von der Fahrzeuglokalisierung zu implementieren.

Die hohen geschwindigkeitsunabhängigen Pegelobergrenzen in der UNECE R 138 ermöglichen mit der Option veränderbarer Klangbilder eine adaptive Reaktion auf maskierenden Umgebungslärm. Die Vorschrift FMVSS No. 141 lässt ausdrücklich keine Veränderung durch den Fahrer bzw. die Fahrerin oder eine außenstehende Person zu, allerdings ist ein sogenanntes Set mit unterschiedlichen Klangbildern unter der Regie des Herstellers ausdrücklich erlaubt und vorgesehen. Auf diese Weise kann ebenfalls eine adaptive Reaktion in gewissen Grenzen umgesetzt werden. Ein interaktives Device zum Beispiel mit einem Fußgänger ist nach diesem Regelwerk allerdings nicht umsetzbar.

Zur Verhinderung unnötig erhöhter akustischer Emissionen sind die in der amerikanischen Regelung vorgegebenen maximalen Gesamtpegel zu begrüßen. Es ist anzunehmen, dass diese Obergrenzen sich aufgrund von Einsparpotenzial in der Entwicklung von Warnsystemen für beide Märkte recht wahrscheinlich auch für Fahrzeuge gemäß UNECE R 138 zukünftig durchsetzen werden.

Außerhalb der vorgeschriebenen Prüfgeschwindigkeiten ist die freie Gestaltung des Klangbildes grundsätzlich möglich und AVAS Geräte können zur Soundgenerierung genutzt werden. Um dies zu regulieren erarbeitet die Arbeitsgruppe Geräusche und Reifen (Working Party on Noise and Tyres) zusätzliche Bestimmungen zur Schallemission (Additional Sound Emission Provisions (ASEP)) als Ergänzung zur UNECE 51 (UNECE R 51).

3.3 Aspekte des Emissionsschutzes

Zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken hat der Sachverständigenrat für Umweltfragen einen Zielwert für Lärminderungsmaßnahmen für die Lärmaktionsplanung von L_{den} 65 dB(A) und L_{night} 55 dB(A) empfohlen (Deutscher Bundestag 1999). Die Werte wurden 2013 von der Umweltministerkonferenz ebenfalls als Zielwerte für die kommunale Lärminderungsplanung beschlossen. Nach Auswertung neuer gesundheitsrelevanter Studien geht die WHO mit ihren Empfehlungen vom Oktober 2018 noch einen Schritt weiter (World Health Organization (WHO) 2018). Für die durchschnittliche Lärmbelastung empfiehlt die WHO, durch Straßenverkehr bedingte Lärmpegel auf weniger als 53 dB L_{den} zu verringern, weil Straßenverkehrslärm schon oberhalb dieses Wertes mit schädlichen gesundheitlichen Auswirkungen verbunden sein kann. Für die nächtliche Lärmbelastung empfiehlt die WHO, durch Straßenverkehr bedingte Lärmpegel auf weniger als 45 dB L_{night} zu verringern, weil nächtlicher Straßenverkehrslärm oberhalb dieses Wertes mit Beeinträchtigungen des Schlafes verbunden sein kann.

Aufgrund des geringen Geräuschpegels von Elektrofahrzeugen im Geschwindigkeitsbereich bis ca. 30 km/h kann es schwieriger sein, elektrische Fahrzeuge auditiv wahrzunehmen und ihre Entfernung und Richtung einzuschätzen (vgl. Kapitel 4). Das Geräusch muss dafür deutlich über dem Umgebungsgeräusch liegen. Laut einer Studie der Beratungsstelle für Umwelt in der Schweiz (Ewert 2017), muss das unmittelbare Geräusch mindestens 2 dB(A) und das richtungsorientierende Geräusch sogar 11 dB(A) über dem Umgebungsgeräusch liegen. (Ashmead et al. 2012; Goodes et al. 2009) Der Einfluss der Wahrnehmung in Abhängigkeit vom Umgebungsgeräusch wurde ebenfalls von Pilgerstorfer et al. sowie Verheijen und Jabben (Umgebungsgeräusch 60 dB), Altinsoy und Landgraf (Umgebungsgeräusch 49 bis 55 dB (A)) und Glaeser et al. (52 bis 55 dB(A)) dokumentiert. Wobei auffällt, dass die zitierten Untersuchungen mit einem relativ geringen Umgebungsgeräusch durchgeführt wurden.

Bei einem höheren Umgebungsgeräusch ergibt sich jedoch ein Zielkonflikt. Das in der Verordnung UNECE R 138 vorgeschriebene akustische Warnsystem (AVAS) soll in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ein Geräusch von 50 dB(A) bzw. 56 bis 75 dB(A) emittieren, das mit dem eines mit Verbrennungsmotor ausgestatteten Fahrzeugs gleicher Klasse vergleichbar ist. Der in einer Entfernung von zwei Metern gemessene maximale Schalldruckpegel von 75 dB(A) entspricht dem in einer Entfernung von 7,5 Metern gemessenen Gesamtschalldruckpegel von 66 dB (A) (UNECE R 138, Ziffer 6.2.7).

Das Grundgeräusch des Verkehrs in Wohnstraßen mit einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) von 5.000 bis 6.000 Fahrzeugen am Tag liegt – je nach Bebauungssituation und Schwerverkehrsanteil – zwischen 60 dB(A) und 70 dB(A) und in Hauptverkehrsstraßen mit einer DTV von 25.000 bis 35.000 Fahrzeugen bei 65 dB(A) bis 75 dB(A) (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin 2018). Das heißt, um ein Elektrofahrzeug richtungsabhängig zu orten, müsste es wahrscheinlich ein sehr hohes Dauersignal eher in Richtung des zulässigen Gesamtschallpegels von 66 dB(A) abstrahlen (Pegel in Abhängigkeit vom Umgebungsgeräusch, vgl. Sandberg 2012; Altinsoy et al. 2015 bei Annäherung von Fahrzeugen an einen Fußgängerüberweg). Dabei wird die Hörbarkeit sehr stark von der tonalen Komponente der Pegelspitzen L_{Amax} abhängen, die gegenüber dem Grundpegel des eher tieffrequenten Umgebungsgeräusches des Verkehrs hervorsteht (Spessert und Kühn 2017, S. 204). Insofern könnte es bei einer hohen Durchsetzung des Fahrzeugbestandes mit Elektrofahrzeugen (Anteil höher als 80 %) zu einer zusätzlichen Geräuschbelästigung im unteren Geschwindigkeitsbereich, überwiegend in Wohnstraßen, kommen.

Diesem Effekt der Geräuschbelastung könnte durch eine variable Steuerung des AVAS in Abhängigkeit vom Umgebungsgeräusch oder einer wesentlichen Absenkung des Umgebungsgeräusches entgegengewirkt werden, sollten sich keine Alternativen ergeben. Wobei die Ergebnisse der städtischen Lärmaktionspläne seit 2008 zeigen, dass die Senkung des Umgebungslärms in eher geringen Bereichen von max. 6 dB(A) liegen, so dass AVAS, trotz tonaler Komponente, immer noch einen hohen Gesamtpegel abgeben müsste.

4 Akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen

4.1 Wahrnehmbarkeit in Abhängigkeit des Fahrzeugantriebs

Zahlreiche Studien beschäftigten sich in den letzten Jahren mit der Fragestellung, ob leise Fahrzeuge, insbesondere E-Pkw, bei geringen Fahrgeschwindigkeiten ein erhöhtes Sicherheitsrisiko für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen darstellen. Neben dem Fuß- und Radverkehr im Allgemeinen, fokussierte sich eine Vielzahl der Studien auf die akustische Fahrzeugwahrnehmung von sehgeschädigten Menschen. Die Problematik wurde in den Arbeiten von unterschiedlichen Seiten beleuchtet, wodurch z. T. neue Einflussfaktoren auf die akustische Wahrnehmbarkeit identifiziert werden konnten.

Die wichtigsten Erkenntnisse aus den nationalen und internationalen Studien zur akustischen Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebsarten werden im Folgenden zusammengefasst. Details über Aufbau und Durchführung der jeweiligen Versuche sind den genannten Quellen zu entnehmen.

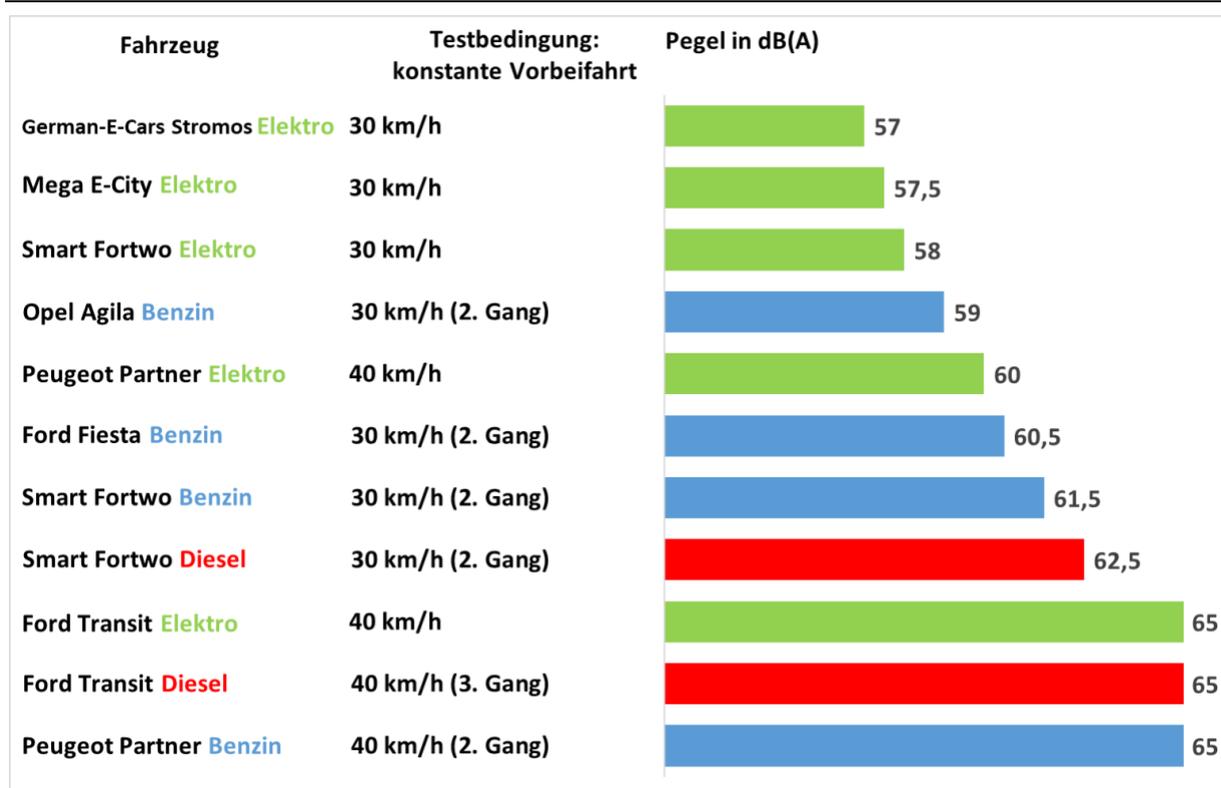
4.1.1 Auswertung nationaler Studien

4.1.1.1 Studie „ColognE-mobil“

Im Rahmen des Projektes ColognE-mobil wurde am Center Automotive Research (CAR) der Universität Duisburg-Essen ein von Elektrofahrzeugen vermutetes Gefahrenpotenzial für bestimmte Personengruppen untersucht. Hierzu wurden Akustik- und Fahrzeugwahrnehmungstests mit insgesamt 240 Testpersonen unterschiedlichen Alters (5 bis 95 Jahre) und mit unterschiedlichen sensorischen Einschränkungen (Hören und Sehen) durchgeführt. In einem verkehrsberuhigten Wohngebiet sollten die Testpersonen die Fahrzeuggeräusche vorbeifahrender Pkw (elektrisch und konventionell angetrieben) bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h einschätzen und das subjektiv empfundene Gefährdungspotenzial bewerten. (Dudenhöffer 2013) Der Fokus der Untersuchung lag dabei auf der Fahrgeschwindigkeit von 30 km/h, da bei höheren Geschwindigkeiten die Abrollgeräusche durch den Reifen-Fahrbahn-Kontakt die dominierende Geräuschquelle darstellen.

Untersucht wurde die Wahrnehmung fünf elektrischer und sechs konventionell angetriebener Fahrzeuge (Benziner und Diesel). Die Akustikmessungen ergaben, dass bei einer konstanten Fahrgeschwindigkeit von 30 km/h im Stadtbereich bei den elf untersuchten Fahrzeugen keine großen Unterschiede in der Wahrnehmung von E-Pkw im Vergleich zu modernen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor feststellbar waren. Ein Vergleich der Geräuschemissionen der untersuchten Fahrzeuge ist in Abbildung 4 dargestellt. Wenn die Fahrzeuge hingegen standen und der Motor lief, wurden deutliche Unterschiede bei der Wahrnehmbarkeit zwischen E-Pkw und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor zurückgemeldet. Bei Vollgasfahrten traten ebenfalls große Unterschiede beim Schallpegel auf. Die im Testfeld verwendeten Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor waren bei Vollgasfahrten deutlich lauter und demzufolge besser wahrnehmbar als die untersuchten Elektrofahrzeuge. (Dudenhöffer 2013)

Abbildung 4: Vergleich der Geräuschpegel von Fahrzeugen mit unterschiedlichem Antrieb bei konstanter Vorbeifahrt



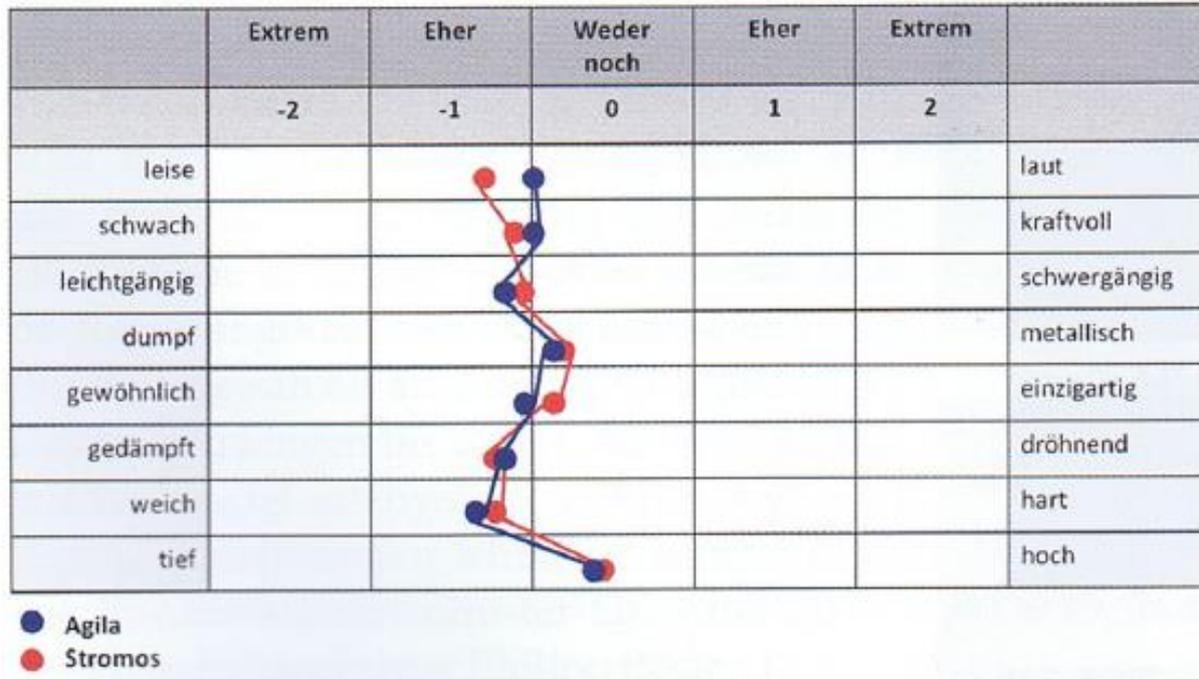
Quelle: Dudenhöffer 2013 (bearbeitet)

Neben den zuvor beschriebenen, objektiven Akustikmessungen wurde im Rahmen der Arbeit auch die subjektive, akustische Wahrnehmung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor untersucht. Dabei bewerteten die sehgeschädigten Testpersonen vom Straßenrand aus die Vorbeifahrt von Fahrzeugen mit unterschiedlichem Antrieb in einem Wohngebiet. Die Bewertung der Fahrzeuggeräusche wurde dabei über ein semantisches Differential³⁶ gemessen. Das sich ergebende Polaritätsprofil der Geräuschwahrnehmung ist beispielhaft für das Elektrofahrzeug „Stromos“ und den modernen Benziner Opel Agila in Abbildung 5 dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass es bei den abgefragten Bewertungskriterien kaum Unterschiede in der Wahrnehmung der beiden Fahrzeugtypen gibt. Sowohl unter den gut sehenden als auch blinden Testpersonen war in der subjektiven Bewertung kein Unterschied in der Geräuschwahrnehmung der Elektrofahrzeuge im Vergleich zu den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor auszumachen.

³⁶ Das semantische Differential ist ein Skalierungsverfahren, mit dem subjektiv empfundene bzw. vermutete Einschätzungen auf objektive Weise dargestellt und untersucht werden.

Abbildung 5: Bewertung der Fahrzeuggeräusche zwischen Verbrenner und E-Pkw mit ähnlichem Geräuschverhalten im Vergleich

Die Gruppe der Testpersonen umfasste auch die blinden Menschen.



Quelle: Dudenhöffer 2013

Ein erhöhtes, von E-Pkw ausgehendes Gefahrenpotenzial für sehgeschädigte Menschen konnte folglich weder durch die Akustikmessungen noch durch die Tests zur subjektiven Wahrnehmung der Fahrzeuge belegt werden. Die Bearbeiter der Studie kamen zu dem Schluss, dass E-Pkw in Bezug auf die Wahrnehmung der Fahrgeräusche durch ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen genauso sicher bzw. unsicher wie moderne Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor einzustufen sind. (Dudenhöffer 2013)

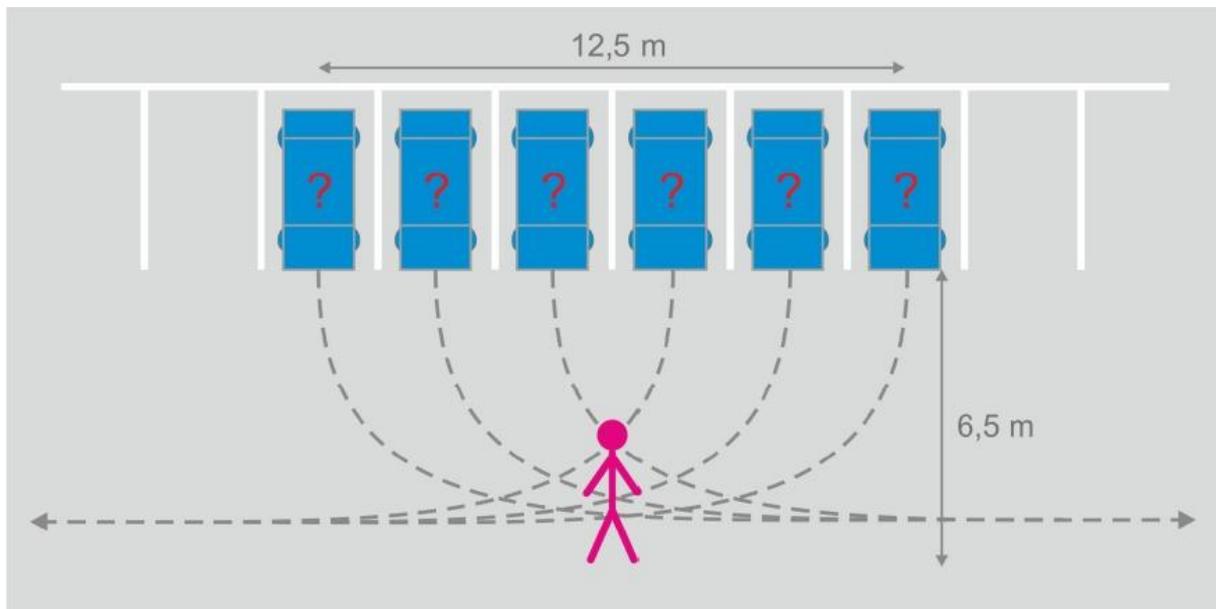
Zudem weisen Dudenhöffer und Hause auf einen weiteren, interessanten Aspekt hin: In bestimmten Situationen emittieren Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor (durch Motorkapselung), Start-Stopp-Automatik und ähnliche Technologien ebenfalls verringerte Außengeräusche. Daraus folgern sie, dass die akustische Wahrnehmbarkeit dieser Fahrzeuge teilweise ebenfalls erschwert sei. (Dudenhöffer und Hause 2012)

4.1.1.2 Studie zur Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugaußengeräuschen in verschiedenen Verkehrssituationen und Betriebszuständen

Auch Altinsoy et al. erforschten in einem Laborversuch die akustischen Wahrnehmbarkeitsunterschiede zwischen elektrisch und konventionell angetriebenen Fahrzeugen. Für den Hörversuch wurde entsprechend der Abbildung 6 eine typische Parkplatzsituation akustisch nachgestellt, bei der ein Passant in 6,5 m Entfernung frontal vor einer Reihe parkender Fahrzeuge stand. Das Ziel der Untersuchung lag darin, die benötigte Reaktionszeit der Testpersonen für die akustische Wahrnehmung eines anfahrenden Fahrzeugs gegenüber einem Hintergrundgeräusch zu messen. Es wurden insgesamt fünf unterschiedliche Anfahrgeräusche untersucht. Als Hintergrundgeräusche wurden die beiden Hintergründe „leise“ mit 49 dB(A) und „laut“ mit 55 dB(A) gewählt. Insgesamt nahmen 53 Probanden an der Studie teil, wovon 36 Personen gut sehend, sieben blind und zehn sehbehindert waren. Neben der Erkennungsreaktion der Testpersonen wurde zusätzlich die räumliche Ortung der Fahrzeuggeräusche analysiert. In dem Versuch der Ortbestimmung waren dieselben

Testpersonen angehalten, die Ausgangsposition der anfahrens Fahrzeuge aus Abbildung 6 (unten) anzugeben. (Altinsoy et al. 2015)

Abbildung 6: Schematische Darstellung der untersuchten Parkplatzsituation



Die gestrichelten Linien symbolisieren die Fahrspuren des Ausparkvorgangs der sechs Fahrzeuge. Die drei linken Fahrzeuge fahren beim Ausparken nach rechts, die drei rechten Fahrzeuge nach links.

Quelle: Altinsoy et al. 2015, S. 29

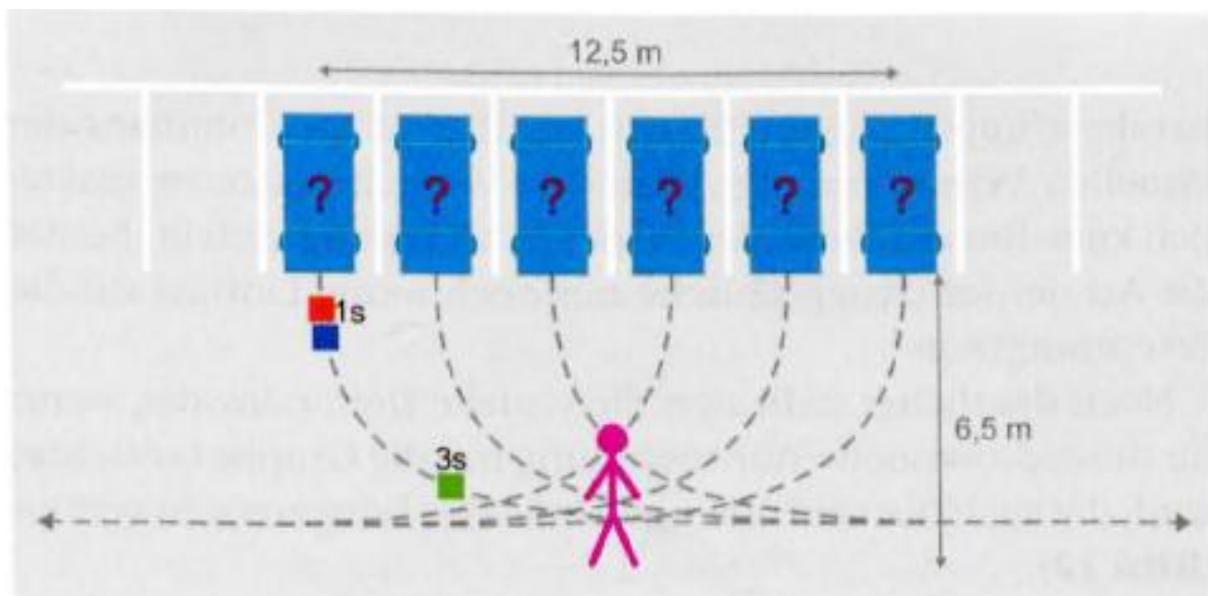
Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der Reaktionszeit und Ortungsbestimmung von Fahrzeuggeräuschen zeigte Folgendes:

► Reaktionszeit

- Für die Erkennung des Fahrzeugs mit Verbrennungsantrieb benötigten die Probanden eine durchschnittliche Reaktionszeit von 1 Sekunde, für die Erkennung des E-Pkw 3,08 Sekunden und für die Erkennung des synthetischen Geräusches 1,3 Sekunden (Abbildung 7).
- Es gab eine deutlich geringere Streuung in der Bewertung der Geräusche des Verbrennungsfahrzeugs im Vergleich zu den ungewohnten synthetischen Geräuschen sowie den Geräuschen der Elektrofahrzeuge.
- Die Unterschiede im Hintergrundpegel (49 dB(A) gegenüber 55 dB(A)) beeinflussten die Reaktionszeiten der Testpersonen kaum. (Der Unterschied lag bei den Verbrennungsfahrzeugen bei 50 Millisekunden und bei den E-Pkw bei 200 Millisekunden).
- Es zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen dem Reaktionsverhalten der gut sehenden und den sehgeschädigten Testpersonen: Die sehgeschädigten Testpersonen reagierten etwa 150 bis 600 Millisekunden später auf die Fahrzeuggeräusche als die gut sehenden Testpersonen. Bei der Bewertung der synthetischen Geräusche betrug die Zeitdifferenz sogar 700 Millisekunden. Als Grund dafür wurde vermutet, dass bei der untersuchten Parkplatzsituation die Hintergrund- und Ablenkungsgeräusche aus

unterschiedlichen Richtungen kamen. Zudem hatten einige sehgeschädigte Personen aufgrund der für sie komplexen Situation Schwierigkeiten sich zu orientieren. Es wird vermutet, dass sehgeschädigte Personen eine größere Sicherheit für die Erkennungsreaktion benötigen. Bei der Bewertung der synthetischen Fahrzeuggeräusche bestand zwischen den gut sehenden und sehgeschädigten Testpersonen mit 0,7 Sekunden die größte Zeitdifferenz. Weiterhin könnte die verspätete Reaktion der sehgeschädigten Testpersonen darauf zurückzuführen sein, dass im selben Versuch die Position der anfahrenden Fahrzeuge ermittelt wurde. Aufgrund der eingeschränkten räumlichen Orientierung könnte den sehgeschädigten Testpersonen die Einschätzung deutlich schwerer gefallen sein als den gut sehenden Testpersonen.

Abbildung 7: Erkennungsorte der Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebsarten



Die drei farbigen Kästchen symbolisieren die Erkennungsorte (Stoßstange) für Verbrennungsfahrzeuge (rot), für Fahrzeuge mit synthetischem Anfahrgeräusch (blau) und für E-Pkw ohne Soundgenerator (grün).
Quelle: Altinsoy und Landgraf 2015

► Ortung der Fahrzeuggeräusche

- Die Ausgangsposition der Fahrzeuge, die das Geräusch eines Verbrennungsmotors abstrahlten, war sehr gut ortbar. Der ermittelte Ortungsfehler lag bei lediglich ein Drittel der Fahrzeugbreite.
- Bei den synthetischen Geräuschen war die Ortung weniger genau.
- Eine rein auditive Ortung der Ausgangsposition des Geräusches des E-Pkw fiel allen Probanden – unabhängig von einer Einschränkung – sehr schwer und war fast unmöglich. Der ermittelte Ortungsfehler lag bei einer ganzen Parkplatzbreite. (Es wird

vermutet, dass der Ortungsfehler im Realverkehr noch größer ist, da den Testpersonen in diesem Versuch die Richtung der Ausparkvorgänge der Fahrzeuge bekannt waren.³⁷⁾

- Bei der Ortungsbestimmung der Fahrzeuggeräusche gab es zwischen den gut sehenden und sehgeschädigten Probanden kaum Unterschiede.

Altinsoy et al. stellten in ihrem Laborexperiment fest, dass es bei bestimmten Fahrsituationen leiser Fahrzeuge, wie z. B. Anfahrtsituation auf einem Parkplatz, offensichtlich einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Fahrzeugaußengeräusch und der Reaktionszeit bis zur Wahrnehmung des Geräuschs sowohl bei gut sehenden als auch bei sehgeschädigten Personen gibt. Beide Probandengruppen erkannten die Motorgeräusche des konventionellen Antriebs schneller als die synthetisch erzeugten Geräusche bzw. das Geräusch des elektrischen Antriebs. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass FußgängerInnen, die aufgrund ihrer Sehbeeinträchtigung verstärkt auf ihre auditive Wahrnehmung angewiesen sind, Elektrofahrzeuge später erkennen als gut sehende Menschen. Parkt ein Elektrofahrzeug aus 6,5 Meter Entfernung in Richtung des zu Fuß gehenden aus, nimmt ein sehgeschädigter Mensch das Elektrofahrzeug erst sehr spät wahr („wenn es ihm quasi über die Füße fährt“). Ein künstliches Anfahrgeräusch wurde hingegen ähnlich gut erkannt wie das Geräusch des Verbrennungsmotors. (Altinsoy et al. 2015)

Für das sichere Überqueren eines Fußgängerüberweges benötigen sehgeschädigte Menschen die akustische Information, ob ein sich näherndes Fahrzeug tatsächlich zum Stehen gekommen ist. Um die Sicherheit der Einschätzung des Anhaltvorgangs zu überprüfen, führten Altinsoy et al. einen weiteren Versuch durch. Es nahmen insgesamt 36 gut sehende, sieben blinde und zehn sehbehinderte Personen an dem Experiment teil. Bei diesem sollten die 53 Testpersonen das Anhalten von Fahrzeugen an einem Fußgängerüberweg rein auditiv erkennen und den Zeitpunkt des Anhaltens nennen. (Altinsoy et al. 2015) Laut Altinsoy et al. besteht eine weitere Herausforderung für sehgeschädigte Personen u. a. darin, dass diese das Ende der akustischen Wahrnehmung von Außengeräuschen bei E-Pkw tendenziell als direkten Hinweis darauf deuten, dass das Fahrzeug in diesem Moment zum Stehen gekommen ist. Allerdings liegt dieser Moment bei Fahrzeugen mit leisen Außengeräuschen vor dem tatsächlichen Fahrzeugstopp. Gut sehende Personen hingegen nutzen das Ende der akustischen Information weniger als direkten Hinweis auf den Fahrzeugstillstand, sondern vielmehr als Anlass für eine verstärkte visuelle Suche nach dem Moment des Anhaltens. (Altinsoy et al. 2015)

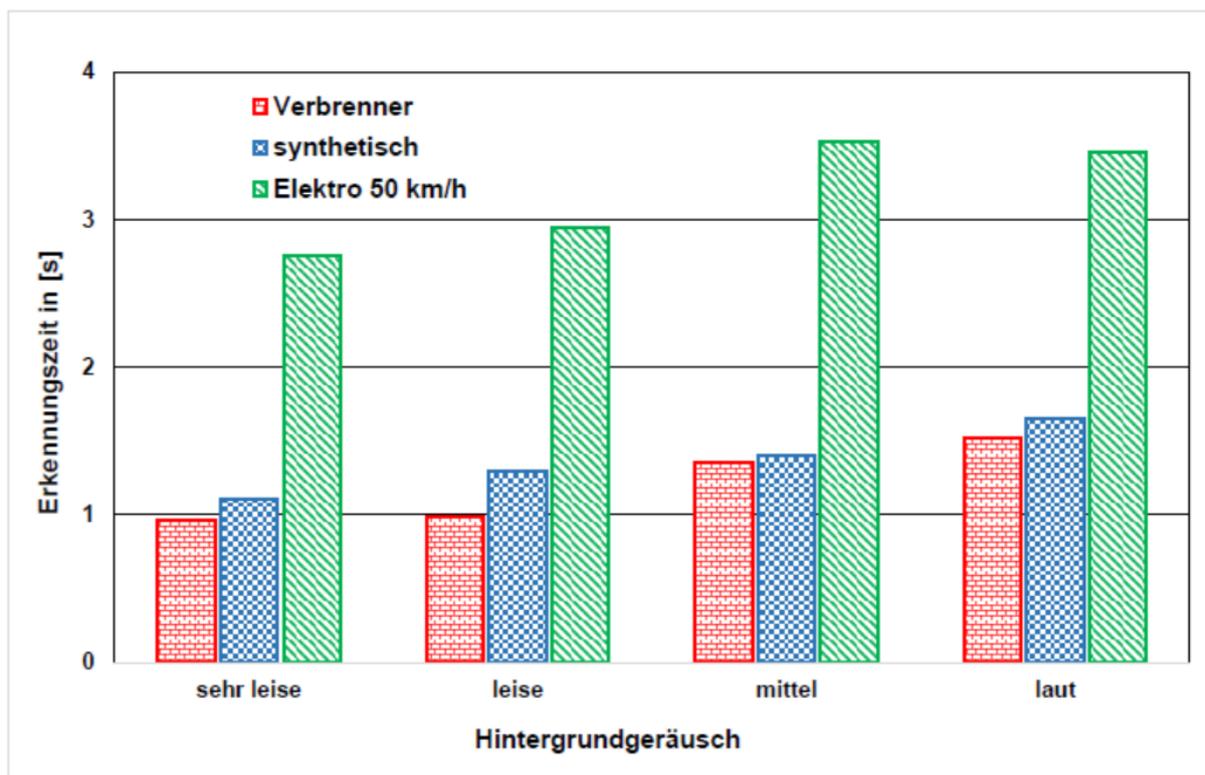
Die Untersuchungsergebnisse zeigten weiterhin, dass einige Testpersonen den Zeitpunkt des Anhaltens des E-Pkw eindeutig zu früh festlegten. In anderen Fällen erfolgte die Reaktion der Testpersonen hingegen erst sehr spät, d. h. nachdem das Fahrzeug den Fußgängerüberweg bereits erreicht hatte. Altinsoy et al. folgerten daraus, dass sehgeschädigte Menschen bei der Überquerung einer Fahrbahn allein aufgrund der akustischen Wahrnehmung nicht sicher feststellen können, ob ein sich näherndes Elektrofahrzeug vor dem Überquerungsbereich angehalten hat. Da elektrisch angetriebene Fahrzeuge bei geringen Fahrgeschwindigkeiten vor dem Anhalten sehr schlecht wahrnehmbar sind, führte dies bei einigen Testpersonen zu der Annahme, dass das Fahrzeug zum Stehen gekommen ist, sobald sie kein Fahrzeuggeräusch mehr wahrnahmen. Bei anderen Testpersonen erfolgte die Reaktion deutlich später, da sie gewohntermaßen eine Änderung des Betriebszustands des Fahrzeugs erwarteten (z. B. Leerlauf oder Motorstopp). Erst als die Testpersonen feststellten, dass keine Betriebszustandsänderung beim Fahrzeug eintritt, reagierten sie auf „Anhalten“. Bei den Geräuschen des

³⁷ Den Testpersonen war bekannt, dass Fahrzeuge, die von links nach rechts fahren aus den drei linken Ausgangspositionen kamen (Position 1, 2 oder 3) und Fahrzeuge, die von rechts nach links fahren, aus den drei rechten Ausgangspositionen (Position 4, 5 oder 6, vgl. Abbildung 6).

Verbrennungsmotors war die Bewertungstreuung im Allgemeinen etwas geringer, wobei auch hier einige Testpersonen bereits vor dem Anhalten des Fahrzeugs reagierten. Im Durchschnitt erfolgte die Reaktion der Testpersonen auf den Anhaltevorgang nach 0,4 Sekunden. Ob der Motor im Leerlauf weiterlief oder abgestellt wurde, spielte bei der Wahrnehmung der Fahrzeuge keine signifikante Rolle und trug folglich nicht zu einer schnelleren Fahrzeugerkennung bei. (Altinsoy et al. 2015)

Weiterhin kamen Altinsoy et al. in ihrer Untersuchung zu dem Ergebnis, dass der Erkennungsabstand zwischen elektrisch und konventionell angetriebenen Fahrzeugen neben der Fahrgeschwindigkeit auch vom Geräuschpegel der Umgebung abhängt: Je lauter das Hintergrundgeräusch ist, desto später wird ein sich näherndes Fahrzeug bemerkt. Wie in Abbildung 8 ersichtlich, werden die Annäherungsgeräusche von E-Pkw deutlich später wahrgenommen als die von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. So wird beispielsweise ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor bei einer Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h und einem Schalldruckpegel von 54 dB bereits bei einer Entfernung von 36 Meter wahrgenommen. Elektrofahrzeuge werden unter denselben Randbedingungen hingegen erst bei einem mittleren Abstand von 13 Metern bemerkt. (Altinsoy et al. 2015)

Abbildung 8: Mittlere Erkennungszeiten von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Antrieben bei unterschiedlichen Hintergrundgeräuschen



Es wurden 32 Annäherungsgeräusche untersucht: 14 Geräusche von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, 16 Geräusche von Elektro- und Hybridfahrzeugen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten und zwei synthetisch erzeugte Geräusche. Die vier unterschiedlichen Hintergrundgeräusche variierten zwischen Schalldruckpegeln von 49 bis 62 dB(A). An dem Hörversuch nahmen insgesamt 33 Testpersonen teil, wovon 25 geht sehend, fünf blind und drei Personen sehbehindert waren.

Quelle: Eigene Darstellung nach (Altinsoy et al. 2015, S. 18)

4.1.1.3 Studie mit sehgeschädigten Personen zur Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen mit unterschiedlichem Antrieb

In einer Studie von Glaeser et al. wurde die Detektierbarkeit von E-Pkw und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor ebenfalls untersucht. Hierzu wurde mit insgesamt zwölf sehgeschädigten Testpersonen die Wahrnehmbarkeit in unterschiedlichen Fahrsituationen bei einem Hintergrundpegel von 52 bis 55 dB(A) für folgende Fahrzeuge untersucht:

- ▶ Elektrofahrzeug „Nissan Leaf“,
- ▶ leiser Benziner „Lexus IS 50“ sowie
- ▶ lauter Benziner „Mercedes 190“.

Die Testpersonen waren dazu angehalten, einen Knopf zu betätigen, sobald sie die Fahrzeuge akustisch wahrnehmen. Die Detektionsabstände für die drei Fahrzeuge in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit sind in Tabelle 7 zusammengefasst. (Glaeser et al. 2011)

Tabelle 7: Detektionsabstände in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

Fahrzeugantrieb	Fahrzeugmodell	Detektionsabstand bei 10 km/h	Detektionsabstand bei 20 km/h
Elektrofahrzeug	Nissan Leaf	4 bis 7 m	20 m
Leiser Benziner	Lexus IS 250	8 bis 20 m	16 bis 33 m
Lauter Benziner	Mercedes 190	29 bis 55 m	28 bis 48 m

Quelle: Glaeser et al. 2011

Die Testergebnisse zeigen, dass bei einer Annäherungsgeschwindigkeit von 10 km/h das Elektrofahrzeug (Nissan Leaf) deutlich später erkannt wird als das leise benzinbetriebene Fahrzeug (Lexus IS 250). Der herkömmlich angetriebene, laute Benziner (Mercedes 190) wurde noch früher von den Versuchsteilnehmenden wahrgenommen (bei einer Entfernung von 29 bis 55 m). Bei höheren Fahrgeschwindigkeiten (20 km/h) werden der Nissan Leaf und Lexus IS 250 bereits aus einer größeren Entfernung wahrgenommen. Beim Mercedes 190 sind bei den beiden untersuchten Geschwindigkeiten kaum Unterschiede in der Wahrnehmung feststellbar.

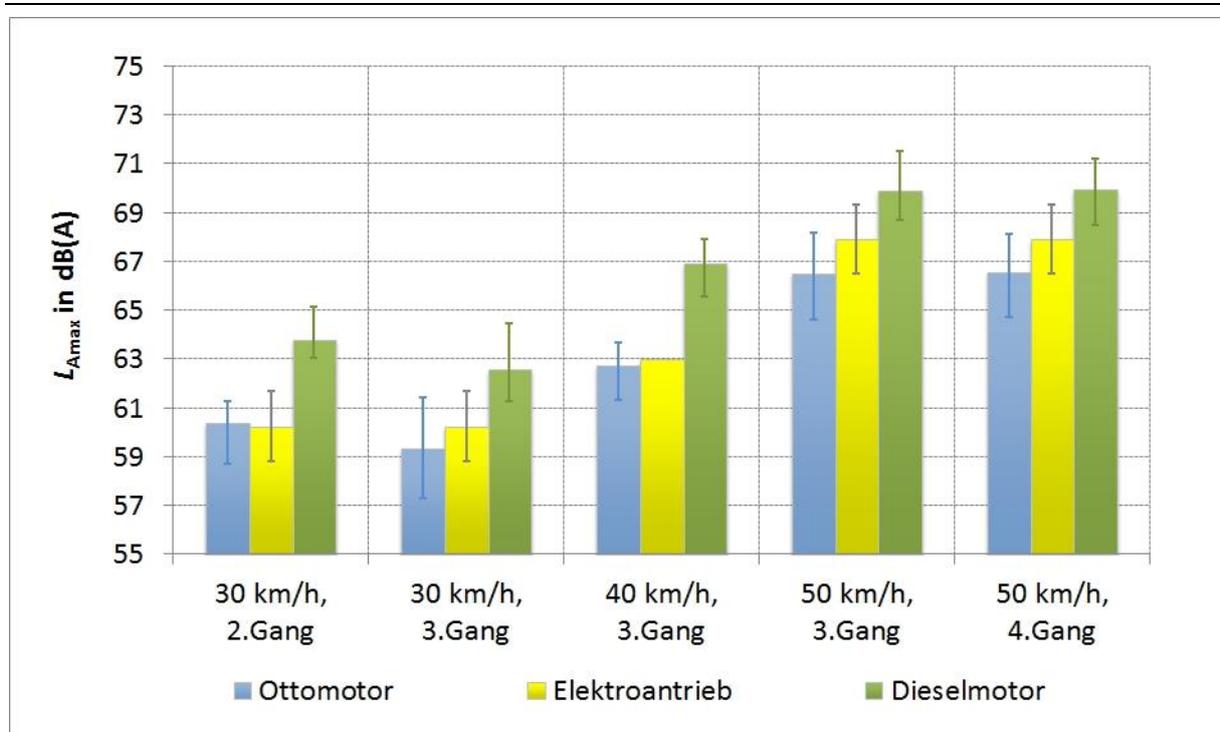
Zusammenfassend für die Untersuchung von Glaeser et al. lässt sich sagen, dass die Fahrgeschwindigkeit einen entscheidenden Einfluss auf die Wahrnehmbarkeit leiser Fahrzeuge hat. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 10 km/h werden Elektrofahrzeuge und leise Benziner z. T. deutlich später erkannt als bei einer Geschwindigkeit bei 20 km/h. Insbesondere bei E-Pkw ist der Unterschied zwischen den beiden untersuchten Fahrgeschwindigkeiten sehr groß. Das Experiment hat bestätigt, dass Elektrofahrzeuge für sehgeschädigte Personen bei geringen Geschwindigkeiten in der Regel schlechter wahrnehmbar sind als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Weiterhin konnten Glaeser et al. in ihrem Experiment zeigen, dass die akustische Fahrzeugwahrnehmung sich auch bei den konventionell betriebenen Fahrzeugen stark unterscheiden kann. Demnach sind nicht nur Elektrofahrzeuge bei geringen Geschwindigkeiten schlecht wahrnehmbar, sondern auch leise benzinbetriebene Fahrzeuge. (Glaeser et al. 2011) Auf diesen Zusammenhang wiesen auch Dudenhöffer und Hause in ihrer Untersuchung hin. (Dudenhöffer und Hause 2012)

4.1.1.4 Studie zur Auswirkung der Geschwindigkeit auf die Geräuschemission

Auch die Untersuchung von Spessert und Kühn bestätigte einen direkten Zusammenhang zwischen der Fahrgeschwindigkeit und den Geräuschemissionen. So konnte beispielsweise durch eine Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h eine Verringerung des Mittelungspegels L_{Aeq} von 2 dB bis 3 dB erzielt werden. Bei Einhaltung der Fahrgeschwindigkeit von 30 km/h wäre laut Spessert und Kühn sogar eine Verringerung von 4 dB möglich. Für das subjektive Geräuschempfinden sowie die Störwirkung spielt jedoch weniger der Mittelungspegel L_{Aeq} sondern vielmehr die Anzahl und Höhe der Pegelspitzen, also der maximale Schalldruckpegel L_{Amax} eine entscheidende Rolle. Dieser war für Pkw bei einer Fahrgeschwindigkeit von 30 km/h durchschnittlich um 6 dB geringer als bei 50 km/h. (Spessert und Kühn 2017)

Da in dem betrachteten Geschwindigkeitsbereich der Studie von 30 km/h bis 50 km/h das Reifengeräusch der Fahrzeuge die dominierende Geräuschquelle der Lärmimmission darstellt, konnte bei den betrachteten E-Pkw keine signifikante Geräuschreduktion festgestellt werden. Während der durchgeführten Messungen waren die elektrisch angetriebenen Fahrzeuge weder bemerkenswert lauter noch leiser als die anderen Testfahrzeuge mit Otto- oder Dieselmotor (s. Abbildung 9). Insgesamt wurden die mittleren Maximalpegel L_{Amax} für drei Pkw mit Ottomotor, zwei Pkw mit Elektroantrieb und fünf Pkw mit Dieselmotor bei Einzelvorbeifahrten mit einer konstanten Geschwindigkeit von 30 km/h, 40 km/h und 50 km/h untersucht. Bei den beiden E-Pkw erfolgte keine Unterteilung nach den Getriebestufen. (Spessert und Kühn 2017)

Abbildung 9: Mittlerer Maximalpegel L_{Amax} für Pkw mit unterschiedlicher Motorisierung bei Einzelvorbeifahrten mit konstanter Fahrgeschwindigkeit



Es wurden drei Pkw mit Ottomotor, zwei Pkw mit Elektroantrieb und fünf Pkw mit Dieselmotor untersucht. Bei Elektrofahrzeug keine Unterteilung nach Getriebestufe.

Quelle: Spessert und Kühn 2017, S. 205

4.1.1.5 Studie mit sehgeschädigten Personen zur Wahrnehmbarkeit von E-Pkw

Im Jahr 2011 führten das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) zusammen mit dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) eine Untersuchung zur Wahrnehmbarkeit von E-Pkw mit insgesamt 40 sehgeschädigten Personen durch (s. Abbildung 10) (IFAM und DFKI 2011). Hierbei wurden unterschiedliche Verkehrsszenarien (Ein- und Ausparken, Anfahren sowie Fahren bei 10 km/h, 30 km/h und 50km/h) bei unterschiedlichen Umgebungsgeräuschen untersucht.

Abbildung 10: Momentaufnahme aus den Versuchen mit sehgeschädigten Testpersonen zur Wahrnehmbarkeit von E-Pkw



Quelle: IFAM und DFKI 2011

Die Untersuchungsergebnisse zeigten eindeutig (IFAM und DFKI 2011):

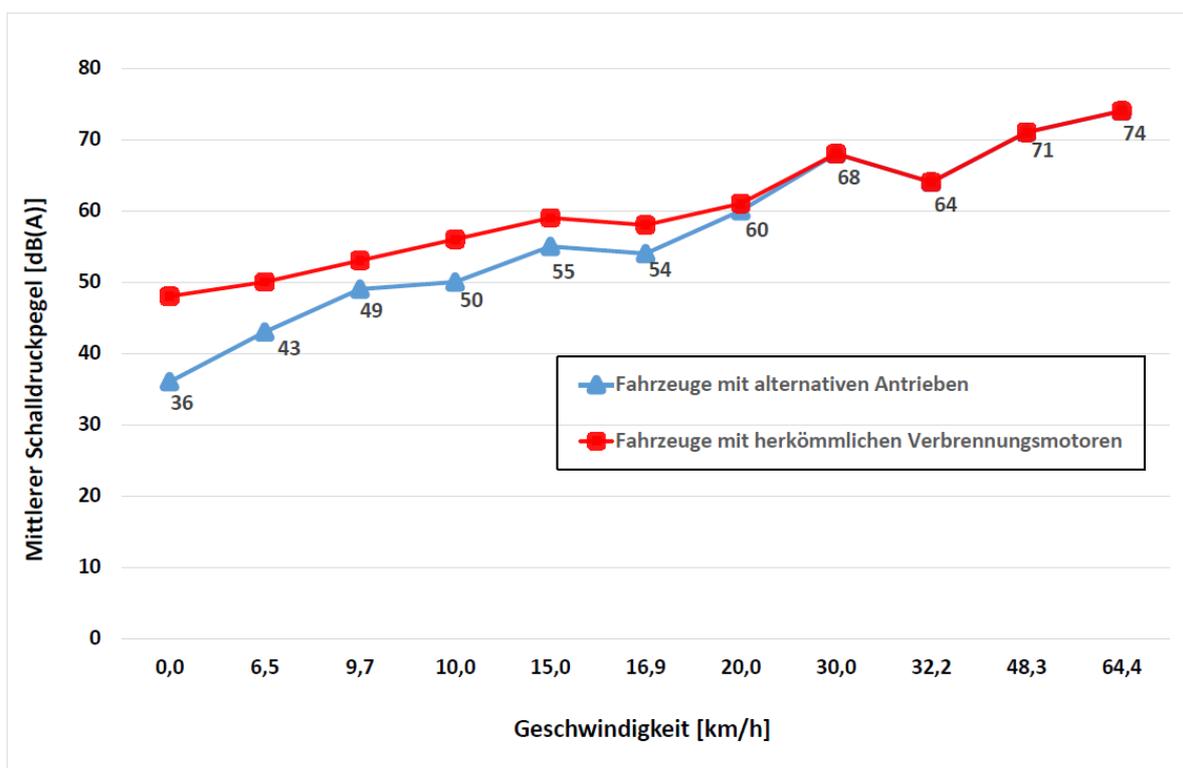
- ▶ Je schneller das E-Pkw fuhr, desto besser war es für die sehgeschädigten Testpersonen hörbar bzw.
- ▶ je langsamer das E-Pkw fuhr, desto schwieriger war die rechtzeitige Wahrnehmbarkeit des E-Pkw für die Testpersonen.
- ▶ Bei geringen Umgebungsgeräuschen (Testfahrt auf einem ruhigen Betriebshof) konnte das E-Pkw durch die Testpersonen leichter wahrgenommen werden als bei Hintergrundgeräuschen bzw.
- ▶ bei vielen Hintergrundgeräuschen (Testfahrt an viel befahrener Kreuzung) war es für die Testpersonen nahezu unmöglich, das E-Pkw wahrzunehmen.

4.1.1.6 Studie zur Interaktion zwischen Kraftfahrzeugen und FußgängerInnen

Nach Auswertung der in der Literatur verfügbaren Studien zu Außengeräuschen von Fahrzeugen mit alternativem Antrieb, kamen Hagen et al. zu dem Schluss, dass die Fahrgeschwindigkeit den größten Einfluss auf die Geräuschemission hat. Dies ergaben sowohl Messungen als auch die Wahrnehmbarkeitsurteile von Testpersonen, die herannahende Fahrzeuge akustisch detektieren sollten. In Abbildung 11 sind die Ergebnisse aus fünf vergleichenden empirischen Studien zusammengefasst. Es ist zu erkennen, dass sich der Geräuschpegel von herkömmlich angetriebenen Fahrzeugen mit Otto- und Dieselmotor im Vergleich zu Fahrzeugen mit Elektro- und Hybrid-Elektroantrieb insbesondere bei geringen Fahrgeschwindigkeiten bis 20 km/h deutlich unterscheidet. Je geringer die Fahrgeschwindigkeit ist, desto größer ist der Lautstärkeunterschied der Fahrzeuge. (Hagen et al. 2012b, S. 19)

Abbildung 11: Mittlerer Schalldruckpegel in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit

Darstellung der Ergebnisse aus fünf vergleichenden empirischen Studien.



Bei den fünf vergleichenden empirischen Studien handelt es sich um folgende: 1 = Garay-Vega et al. 2010; 2 = Goodes et al. 2009; 3 = JASIC 2009; 4 = Rosenblum 2008; 5 = Wiener et al. 2006

Unter „Fahrzeuge mit alternativen Antrieben“ sind Fahrzeuge mit Elektro- und Hybrid-Elektroantrieb zu verstehen.

Quelle: Eigene Darstellung nach Hagen et al. 2012a

4.1.2 Auswertung internationaler Studien

4.1.2.1 Studie mit sehgeschädigten Personen zur Wahrnehmbarkeit von Hybridfahrzeugen an Kreuzungen und Parkplätzen

Im Jahr 2008 wurden in Zusammenarbeit mit der American National Federation for the Blind (NFB) zahlreiche Hörversuche in den USA durchgeführt. Das Ziel bestand darin, das Sicherheitsrisiko für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen an Kreuzungen und auf Parkplätzen zu bewerten. In den Versuchen wurden die Reaktionszeiten der Testpersonen für herannahende Hybridfahrzeuge und Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor in Laborhörversuchen erfasst. (Rosenblum 2008) Die Ergebnisse der Hörtests zeigten, dass die Distanz bis zur

Erkennung der Fahrtrichtung von Hybridfahrzeugen viermal kleiner war als bei Fahrzeugen mit konventionellem Verbrennungsmotor. Die elektrisch angetriebenen Fahrzeuge wurden demnach akustisch deutlich später (ca. zwei bis vier Sekunden) wahrgenommen als konventionell angetriebene Fahrzeuge. Daraus folgerte der Wissenschaftler, dass Hybridfahrzeuge mit elektrischem Antrieb ein Sicherheitsrisiko für sehgeschädigte FußgängerInnen an Kreuzungen und auf Parkplätzen darstellen können. (Rosenblum 2008)

4.1.2.2 Studie zur Untersuchung der Auswirkung fehlender Motorengeräusche auf die Verkehrssicherheit

Im Jahr 2010 veröffentlichten die beiden niederländischen Wissenschaftler Verheijen und Jabben einen Bericht, in dem sie u. a. die Auswirkungen von fehlenden Motorengeräuschen bei E-Pkw auf die Verkehrssicherheit in den Niederlanden untersuchten. Sie analysierten neben den Unfallzahlen in den Niederlanden auch den Zusammenhang zwischen der Lautstärke von unterschiedlicher Fahrzeugtypen (Pkw) und der Reaktionszeit bis zur Fahrzeugerkennung. Hierfür haben sie die Reaktionszeiten von der auditiven Wahrnehmung bis zur Vermeidung eines möglichen Zusammenstoßes für Fahrgeschwindigkeiten von 15 km/h, 25 km/h und 40 km/h bei einem typischen Geräuschpegel der Umgebung von 60 dB berechnet. Die Auswertung der Ergebnisse zeigte Folgendes (Verheijen und Jabben 2010, S. 17).

- ▶ Bei konventionell angetriebenen Fahrzeugen mit einer Fahrgeschwindigkeit von 15 km/h betrug die Reaktionszeit bis zur Vermeidung eines möglichen Zusammenstoßes 1,6 Sekunden.
- ▶ Bei Fahrzeugen ohne Verbrennungsmotor halbierte sich die Reaktionszeit der Testpersonen bei 15 km/h auf 0,7 Sekunden.
- ▶ Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 25 km/h beträgt die Reaktionszeit der Testpersonen bis zur Vermeidung eines möglichen Zusammenstoßes bei Fahrzeugen mit Motorgeräusch 1,4 Sekunden und ohne Motorgeräusch 0,9 Sekunden.
- ▶ Bei 40 km/h beträgt die Reaktionszeit der Testpersonen bei Fahrzeugen mit Motorgeräusch 1,4 Sekunden und ohne Motorgeräusch 1,2 Sekunden.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen eindeutig, dass konventionell angetriebene Fahrzeuge bei allen drei untersuchten Fahrgeschwindigkeiten zum Teil deutlich früher wahrgenommen werden als Fahrzeuge mit alternativem Antrieb ohne Verbrennungsmotor. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit nimmt der Unterschied in der Reaktionszeit ab. Die Zeit zwischen der auditiven Fahrzeugwahrnehmung und der Vermeidung eines möglichen Zusammenstoßes ist bei E-Pkw im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor deutlich verkürzt. Die Wissenschaftler vermuten daher, dass Elektrofahrzeuge im Straßenverkehr ggf. nicht rechtzeitig wahrgenommen werden können, wenn diese sich außerhalb des Sichtfeldes der FußgängerInnen bzw. RadfahrerInnen befinden (z. B. auf Parkplätzen, an Kreuzungen und im Bereich von Ausfahrten). Jedoch existiert laut Verheijen und Jabben kein statistischer Nachweis darüber, dass es ein höheres Unfallrisiko für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen gibt. (Verheijen und Jabben 2010)

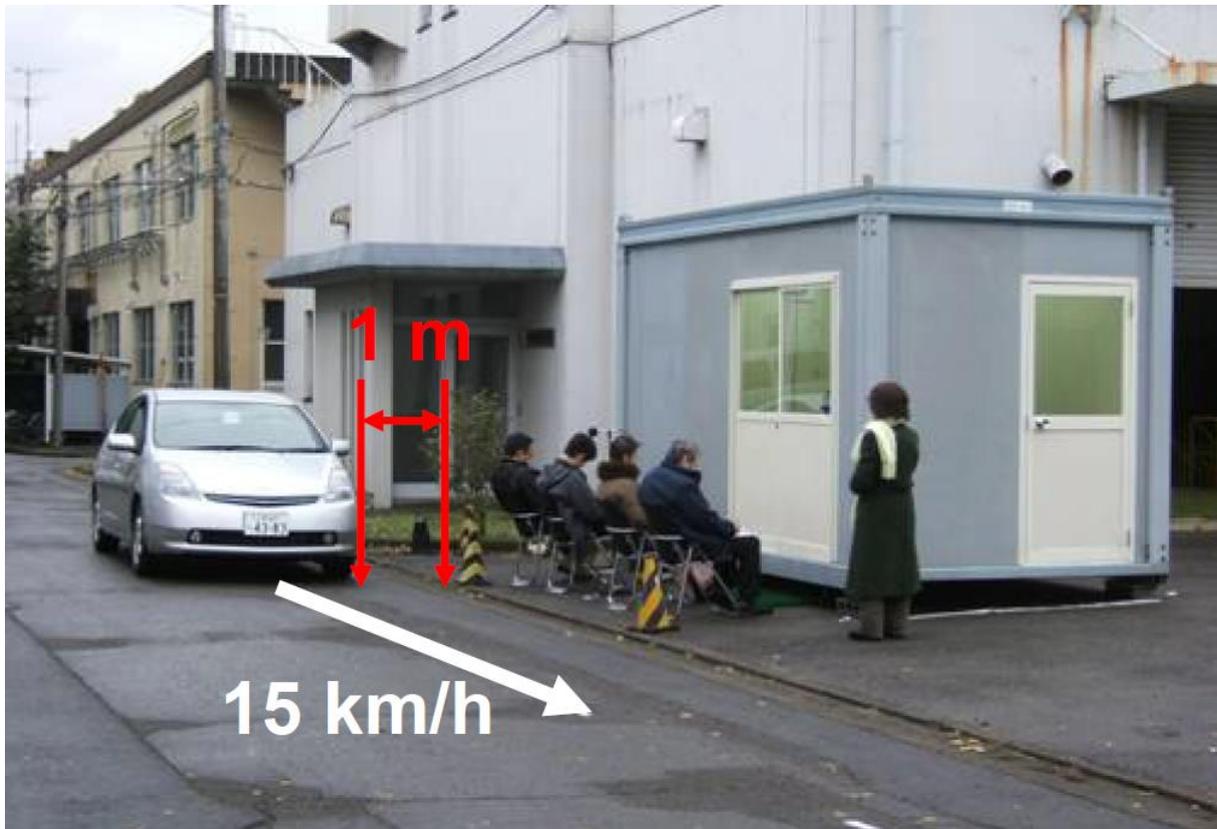
4.1.2.3 Studie mit sehgeschädigten und gut sehenden Personen aus Japan

Die zuvor vorgestellten Ergebnisse von Verheijen und Jabben decken sich mit den Ergebnissen einer japanischen Studie (JASIC 2009), bei der u. a. blinde Testpersonen angehalten waren, elektrisch und konventionell angetriebene Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zu detektieren.

Die Testpersonen saßen mit dem Rücken zur Fahrbahn und lösten Kreuzworträtsel, damit sie sich nicht auf die Fahrzeuge fokussieren konnten (vgl. Abbildung 12). Die Fahrzeuge fuhren in einem Meter Abstand mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten an den Personen vorbei.

Abbildung 12: Versuchsaufbau des Experiments zur Wahrnehmung von herannahenden elektrisch und konventionell angetriebenen Fahrzeugen

Im Bild ist beispielhaft eine Geschwindigkeit von 15 km/h für das vorbeifahrende Fahrzeug dargestellt.



Quelle: Schoon und Huijskens 2011; JASIC 2009, S. 24

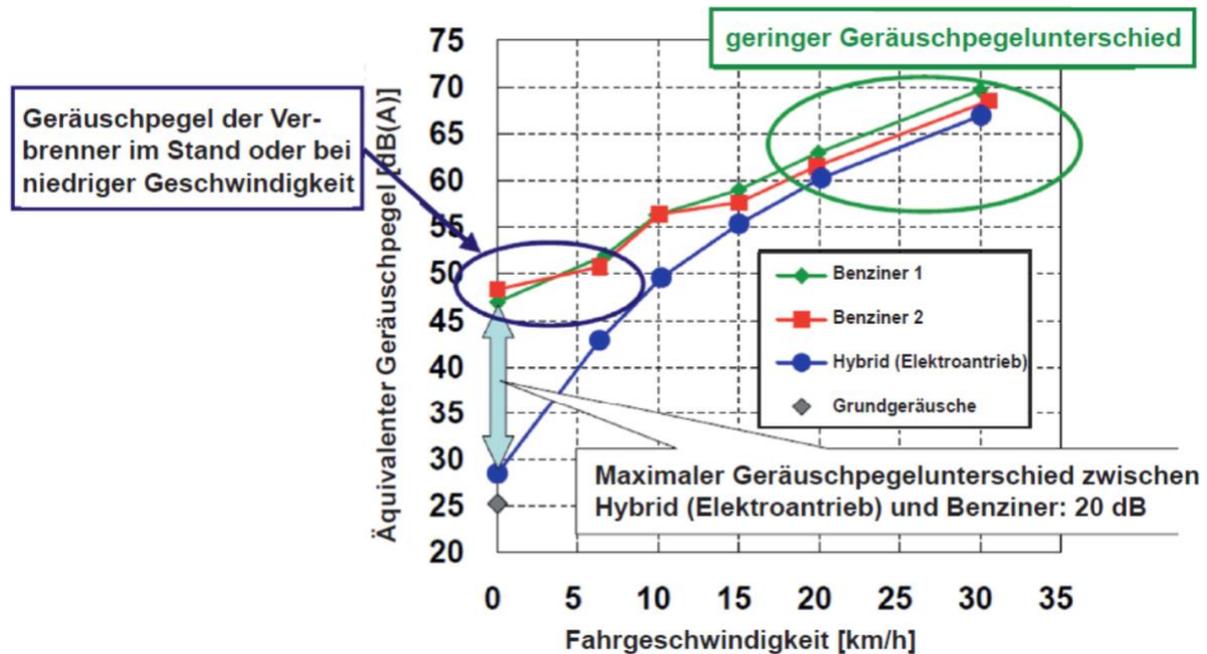
Die japanischen Wissenschaftler haben zwar nicht - wie Verheijen und Jabben - die Reaktionszeit aus der Entfernung und Geschwindigkeit gemessen, sondern lediglich die Entfernung erfasst, aus der sich ein von hinten näherndes Fahrzeug gehört wurde. Die Reaktionszeit wurde im Anschluss aus der Entfernung und der Geschwindigkeit berechnet.

Die zentralen Ergebnisse der japanischen Studie sind folgende (JASIC 2009):

- ▶ Je langsamer ein Elektro- bzw. Hybridfahrzeug fährt, desto größer ist der Geräuschunterschied im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (Abbildung 13).
- ▶ Der größte Geräuschunterschied zwischen Elektro- bzw. Hybridfahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor wird mit 20 dB im stationären Zustand erreicht (Abbildung 13).
- ▶ Bei Fahrgeschwindigkeiten von 10 km/h kann der Unterschied des Geräuschpegels zwischen Elektro- bzw. Hybridfahrzeug und konventionell angetriebenen Fahrzeugen bis zu 6 dB(A) betragen.

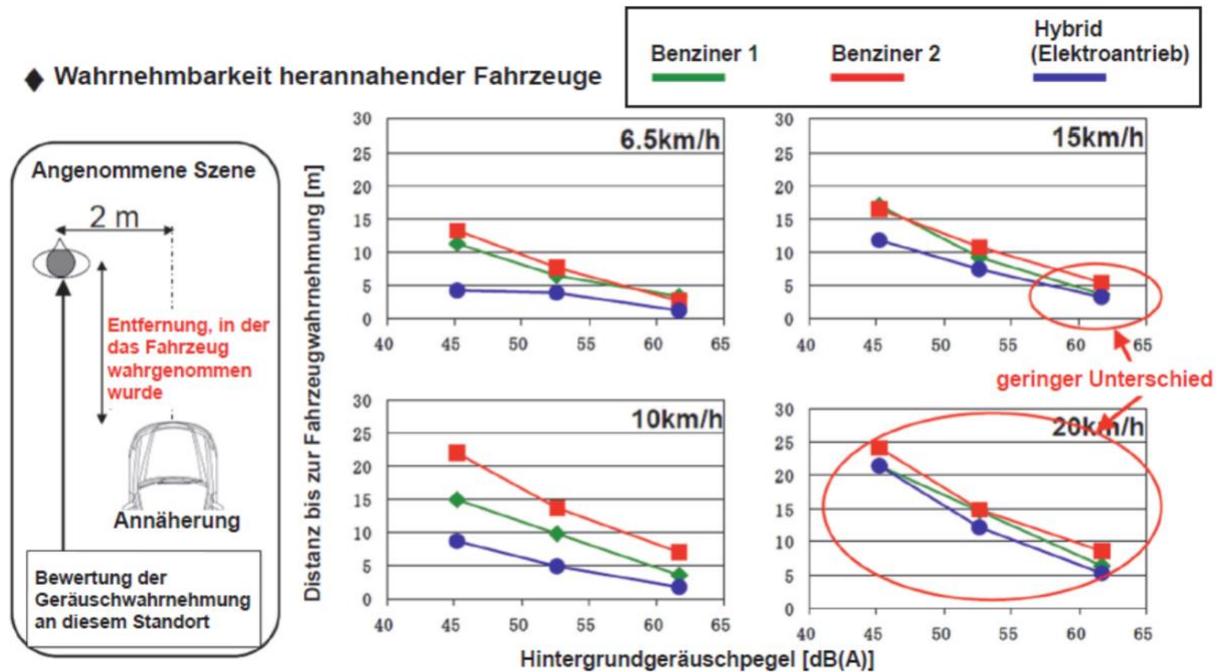
- ▶ Bei Fahrgeschwindigkeiten über 20 km/h gibt es keine signifikanten Unterschiede bei der Wahrnehmung von Elektro- bzw. Hybridfahrzeug im Vergleich zu konventionell angetriebenen Fahrzeugen, da der Geräuschpegel ähnlich ist (Abbildung 14).
- ▶ Die Wahrnehmung von Elektro- bzw. Hybridfahrzeugen ist im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor schlechter, wenn die Hintergrundgeräusche gering sind und die Fahrgeschwindigkeit 15 km/h oder weniger beträgt (Abbildung 14).

Abbildung 13: Vergleich des Geräuschpegels von E-Pkw und Verbrennungsfahrzeugen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit



Quelle: JASIC 2009, S. 9 (übersetzte Darstellung)

Abbildung 14: Beurteilung der Wahrnehmung von E-Pkw und Verbrennungsfahrzeugen in Abhängigkeit vom Hintergrundpegel



Quelle: JASIC 2009, S. 12 (übersetzte Darstellung)

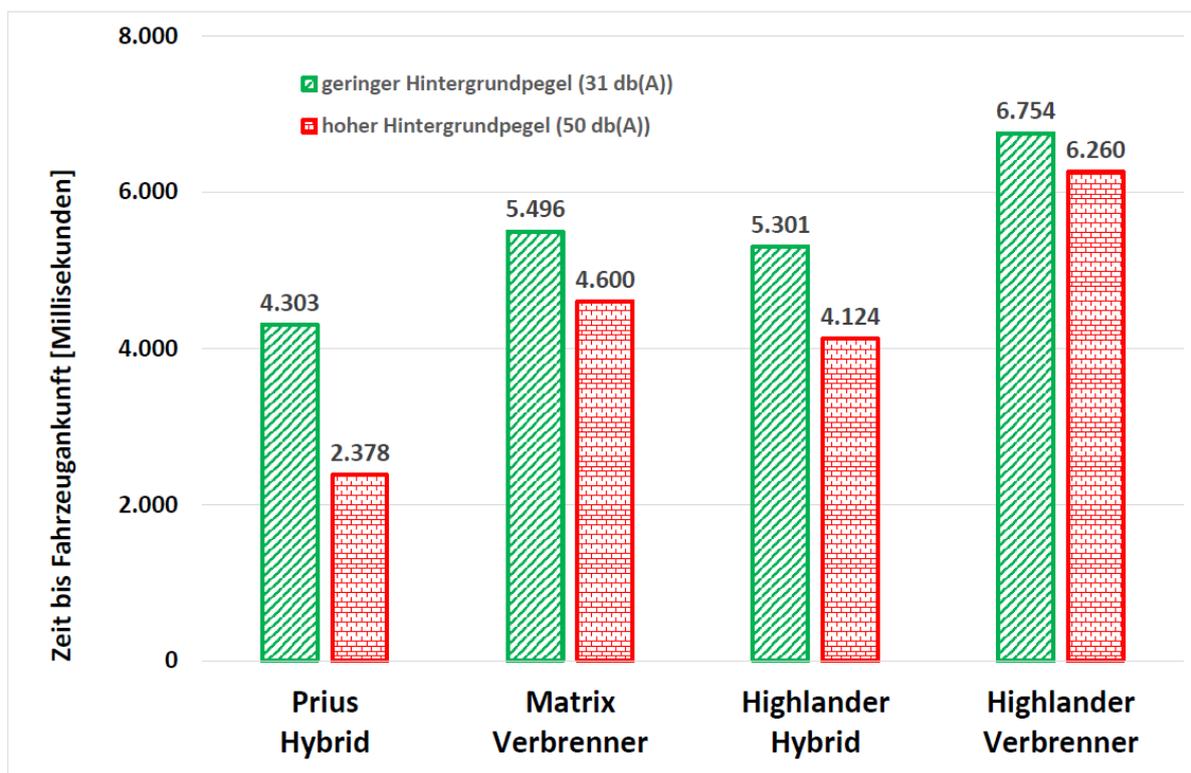
4.1.2.4 Studie zum Einfluss der Wahrnehmbarkeit in unterschiedlichen Straßenraumsituationen

Dass Elektrofahrzeuge bei geringeren Fahrgeschwindigkeiten geringere Lärmemissionen im Vergleich zu Verbrennungsfahrzeugen aufweisen, ergaben auch die Akustikmessungen von Pilgerstorfer et al. Hierzu führten sie Hörversuche mit insgesamt 105 Testpersonen durch, wovon 13 % eine starke Sehbeeinträchtigung hatten. Die Hörversuche wurden in unterschiedlichen Straßenraumsituationen durchgeführt. Die Ergebnisse der Hörversuche zeigten, dass insbesondere bei geringen Fahrgeschwindigkeiten die Elektrofahrzeuge von den Testpersonen später wahrgenommen wurden als die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Die Elektrofahrzeuge wurden im Durchschnitt 2 bis 4 Sekunden später erkannt als die konventionell angetriebenen Fahrzeuge. Bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten der Elektrofahrzeuge (z. B. bei 10 km/h) werden E-Pkw sogar bis zu 10 Sekunden später wahrgenommen. Weiterhin zeigte der Hörtest, dass bei einem lauten Umgebungsgeschall (z. B. innerstädtische Seitenstraße) und niedrigen Geschwindigkeiten das Elektrofahrzeug von einem Drittel der Testpersonen gar nicht gehört wurde. Ein weiteres Drittel nahm das Elektrofahrzeug erst wahr, nachdem es bereits an ihnen vorbeigefahren war. In den Hörversuchen wurden keine Unterschiede in der akustischen Wahrnehmung zwischen den Testpersonen mit und ohne Sehschädigung festgestellt. Die Annahme, dass sehgeschädigte Personen generell einen ausgeprägteren Hörsinn haben und demzufolge leise Fahrzeuge besser wahrnehmen können, wurde von Pilgerstorfer et al. damit widerlegt. Die anschließende Befragung ergab allerdings, dass Elektrofahrzeuge aufgrund ihrer schlechten akustischen Wahrnehmbarkeit insbesondere für die Testpersonen mit Sehschädigung subjektiv empfunden eine größere Gefahrenquelle darstellen. (Pilgerstorfer et al. 2013)

4.1.2.5 Studie zum Einfluss leiser Fahrzeuge auf die Verkehrssicherheit sehgeschädigter Personen

Dass die Umgebungsgeräusche einen entscheidenden Einfluss auf die Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen haben, stellten auch Garay-Vega et al. auf Grundlage eines Laborversuchs mit 48 blinden Testpersonen fest. Hier wurde die Detektionszeit für insgesamt vier Fahrzeuge bei unterschiedlichen Umgebungsgeräuschen ermittelt. Bei zwei Fahrzeugen handelte es sich um Hybrid-Elektrofahrzeuge (Toyota Prius Hybrid und Toyota Highlander Hybrid), die während der Untersuchung im Elektromodus fuhren. Bei den beiden anderen Fahrzeugen des Testfelds handelte es sich um Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor (Toyota Matrix ICV und Toyota Highlander ICV). Die Fahrgeschwindigkeit der Fahrzeuge betrug während des Versuchs 10 km/h. Die Untersuchungen ergaben, dass sowohl die Hybrid-Elektrofahrzeuge als auch die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor bei lauten Umgebungsgeräuschen von 50 dB (A) im Allgemeinen später erkannt wurden als bei leisen Umgebungsgeräuschen von 31 dB (A) (vgl. Abbildung 15). Bei den beiden Hybrid-Elektrofahrzeugen wirken sich die erhöhten Umgebungsgeräusche stärker auf die Fahrzeugwahrnehmung aus als bei den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. (Garay-Vega et al. 2010)

Abbildung 15: Zeit bis zur Wahrnehmung von konventionell und elektrisch angetriebenen Fahrzeugen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Hintergrundpegeln



Quelle: Eigene Darstellung nach Schoon und Huijskens 2011, S. 28; Datengrundlage aus Garay-Vega et al. 2010.

Die durchschnittliche Zeit bis zur Fahrzeugerkennung („time-to-vehicle-arrival“) für unterschiedliche Fahrsituationen in Abhängigkeit von der Antriebsart der Fahrzeuge sowie der Umgebungsgeräusche ist in Tabelle 8 und Tabelle 9 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass beim Fahrzustand „Fahrzeug fährt mit 8 km/h rückwärts aus einer Einfahrt heraus“ und „Fahrzeug nähert sich mit gleichmäßig niedriger Geschwindigkeit von 10 km/h“ die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor früher detektiert wurden als die Hybridelektrofahrzeuge. Dies ist sowohl beim Umgebungspegel von 31 dB als auch von 50 dB der Fall. Fahren die Fahrzeuge parallel

nebenher und reduzieren dabei die Geschwindigkeit von 32 km/h auf 16 km/h, werden die Hybridelektrofahrzeuge früher detektiert als die Verbrennerfahrzeuge. Hier reduziert sich die Reaktionszeit etwa auf die Hälfte (sowohl bei 31 dB als auch bei 50 dB). (Garay-Vega et al. 2010)

Die Untersuchung von Garay-Vega et al. zeigte, dass Elektrofahrzeuge bei einer Fahrgeschwindigkeit von 10 km/h im Durchschnitt 1,5 bis 2 Sekunden später erkannt werden als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

Tabelle 8: Durchschnittliche Zeit bis zur Fahrzeugerkennung („time-to-vehicle-arrival“) für unterschiedliche Fahrsituationen bei einem Umgebungsschallpegel von 31 dB

In Abhängigkeit von der Antriebsart der Fahrzeuge.

Antriebsart	Hybridfahrzeuge	Verbrennerfahrzeuge	Durchschnitt Hybrid und Verbrenner
Fahrzeug fährt mit 8 km/h rückwärts aus einer Einfahrt heraus	3,7 s	5,2 s	4,4 s
Fahrzeug fährt parallel nebenher und reduziert die Geschwindigkeit von 32 km/h auf 16 km/h ³⁸	2,5 s	1,3 s	1,9 s
Fahrzeug nähert sich mit gleichmäßig niedriger Geschwindigkeit von 10 km/h	4,8 s	6,2 s	5,5 s

Quelle: Garay-Vega et al. 2010, S. 61

Tabelle 9: Durchschnittliche Zeit bis zur Fahrzeugerkennung („time-to-vehicle-arrival“) für unterschiedliche Fahrsituationen bei einem Umgebungsschallpegel von 50 dB

In Abhängigkeit von der Antriebsart der Fahrzeuge.

Antriebsart	Hybridfahrzeuge	Verbrennerfahrzeuge	Durchschnitt Hybrid und Verbrenner
Fahrzeug fährt mit 8 km/h rückwärts aus einer Einfahrt heraus	2,0 s	3,5 s	2,7 s
Fahrzeug fährt parallel nebenher und reduziert die Geschwindigkeit von 32 km/h auf 16 km/h ³⁹	2,3 s	1,1 s	1,7 s
Fahrzeug nähert sich mit gleichmäßig niedriger Geschwindigkeit von 10 km/h	3,3 s	5,5 s	4,4 s

Quelle: Garay-Vega et al. 2010, S. 61

4.1.2.6 Studie zur akustischen Fahrzeugwahrnehmung von RadfahrerInnen

In einer weiteren niederländischen Arbeit wurde ebenfalls die akustische Wahrnehmbarkeit von E-Pkw und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor untersucht. Diese Studie fokussierte sich dabei auf die akustische Fahrzeugwahrnehmung bei RadfahrerInnen. Die Studie ergab, dass die Position von E-Pkw von RadfahrerInnen seltener korrekt identifiziert werden konnte als bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Die Identifizierung der korrekten Fahrzeugposition hing von der Antriebstechnologie der Fahrzeuge und von der Fahrgeschwindigkeit der Fahrzeuge ab. Unter 15km/h wurde das Elektrofahrzeug deutlich schlechter wahrgenommen als bei höheren

³⁸ Als würde das Fahrzeug rechts abbiegen wollen.

³⁹ Als würde das Fahrzeug rechts abbiegen wollen.

Fahrgeschwindigkeiten im Bereich von 30 km/h oder 50 km/h. Besonders schwer lokalisierbar für die RadfahrerInnen waren Elektrofahrzeuge, welche langsamer als 15 km/h fuhren. Trotz der schlechteren akustischen Wahrnehmbarkeit von E-Pkw sehen die Wissenschaftler der Einführung von zusätzlichen künstlichen Fahrzeugaußengeräuschen kritisch entgegen. Dies begründen sie damit, dass die Fahrzeugaußengeräusche aufgrund der unterschiedlichen Schallpegel der Umgebung entsprechend laut sein müssten, was insbesondere in innerstädtischen Bereich nicht akzeptabel sei. (Stelling-Kończak et al. 2016)

4.1.2.7 Studie zur Detektion der Fahrtrichtung von E-Pkw

Ashmead et al. fanden in ihrer Untersuchung zudem heraus, dass nicht nur geräuscharme Elektrofahrzeuge eine Herausforderung für VerkehrsteilnehmerInnen bei der Überquerung von Straßen darstellen, sondern auch leise Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Das von Ashmead et al. durchgeführte Hörexperiment ergab, dass es bei mäßig ausgelasteten Verkehrsverhältnissen, unabhängig von der Antriebsart der Fahrzeuge, schwer zu erkennen sei, ob ein Fahrzeug geradeaus fährt oder abbiegt. Dies gilt nicht nur für elektrisch angetriebene Fahrzeuge, sondern auch für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Um jedoch die Fahrtrichtung der Elektrofahrzeuge eindeutig identifizieren zu können, ist laut Ashmead et al. eine Lautstärkedifferenz zwischen dem Fahrzeuggeräusch und dem Hintergrundpegel von 11 dB notwendig. Bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor ist hingegen nur eine Lautstärkedifferenz von 2 dB erforderlich. (Goodes et al. 2009)

Auf Basis ihrer Untersuchungen kommen Ashmead et al. zu dem Schluss, dass eine Erhöhung von Fahrzeuggeräuschen auf einen Mindeststandard die Verkehrssicherheit für FußgängerInnen in Verkehrssituationen, in denen mehrere Fahrzeuge anwesend sind, nicht unbedingt erhöht. Dies würde lediglich zu einem Anstieg des Geräuschpegels im Straßenverkehr führen. (Ashmead et al. 2012)

4.2 Weitere Einflussfaktoren bei der Wahrnehmbarkeit von Kraftfahrzeugen

Aus den zuvor vorgestellten nationalen und internationalen Studien (vgl. Abschnitt 4.1.1 und 4.1.2) wird deutlich, dass die entscheidenden Faktoren für die akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugaußengeräuschen die Fahrgeschwindigkeit und die Umgebungsgeräusche sind.

Im Rahmen der Literaturrecherche konnten jedoch noch weitere wichtige Einflussfaktoren auf die Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugaußengeräuschen identifiziert werden:

4.2.1 Einfluss des Alters der VerkehrsteilnehmerInnen

Mendonça et al. führten eine experimentelle Studie durch, in der sie den Einfluss folgender Faktoren auf die akustische Wahrnehmung von Fahrzeuggeräuschen untersuchten:

- ▶ Drei unterschiedliche Fahrzeugtypen,
- ▶ drei unterschiedliche Fahrbahnbeläge,
- ▶ fünf unterschiedliche Umgebungsschallpegel sowie
- ▶ vier unterschiedlich Altersklassen.

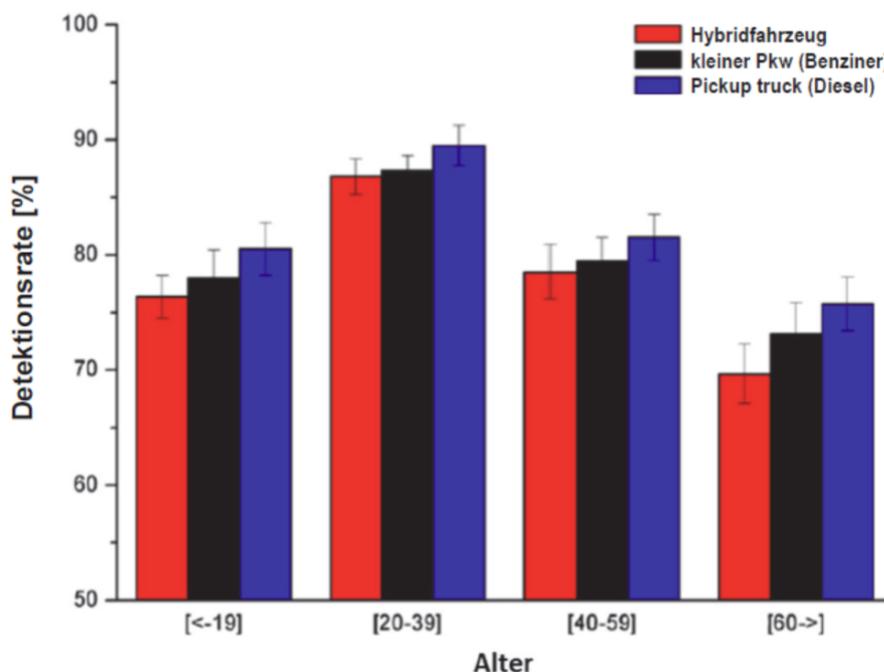
Die Wissenschaftler analysierten hierbei sowohl die Auswirkung der einzelnen Faktoren als auch die Abhängigkeiten der relevanten Faktoren untereinander.

Die an der Studie beteiligten 87 Testpersonen hatten u. a. die Aufgabe, Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebstechnologien zu detektieren. Es handelte sich dabei um folgende Fahrzeugtypen:

- ▶ Benzinbetriebener Pkw (Volkswagen Polo)
- ▶ Hybridfahrzeug (Toyota Prius)
- ▶ Dieselfahrzeug (Pickup Truck „Mitsubishi Strakar“)

Wie in Abbildung 16 ersichtlich, hat das Alter einen entscheidenden Einfluss auf die Fahrzeugwahrnehmung. Demnach wurden alle drei untersuchten Fahrzeugtypen von den älteren Testpersonen (über 60 Jahre) am schlechtesten wahrgenommen. Bei den über 60-jährigen Testpersonen sind zudem die Unterschiede in der Detektionsrate zwischen den drei Fahrzeugtypen am größten. Betrachtet man die Fahrzeugtypen im direkten Vergleich zu einander, zeigt sich über alle vier Altersklassen hinweg dasselbe Bild: Die Erkennung des geräuscharmen Hybridfahrzeugs fiel allen Testpersonen am schwersten. Die vergleichsweise lauten Motorengeräusche des Pickup Trucks wurden hingegen von allen Testpersonen am besten wahrgenommen. (Mendonça et al. 2013)

Abbildung 16: Durchschnittliche Detektionsrate für Fahrzeuge mit unterschiedlichem Antrieb in Abhängigkeit vom Alter der Testpersonen



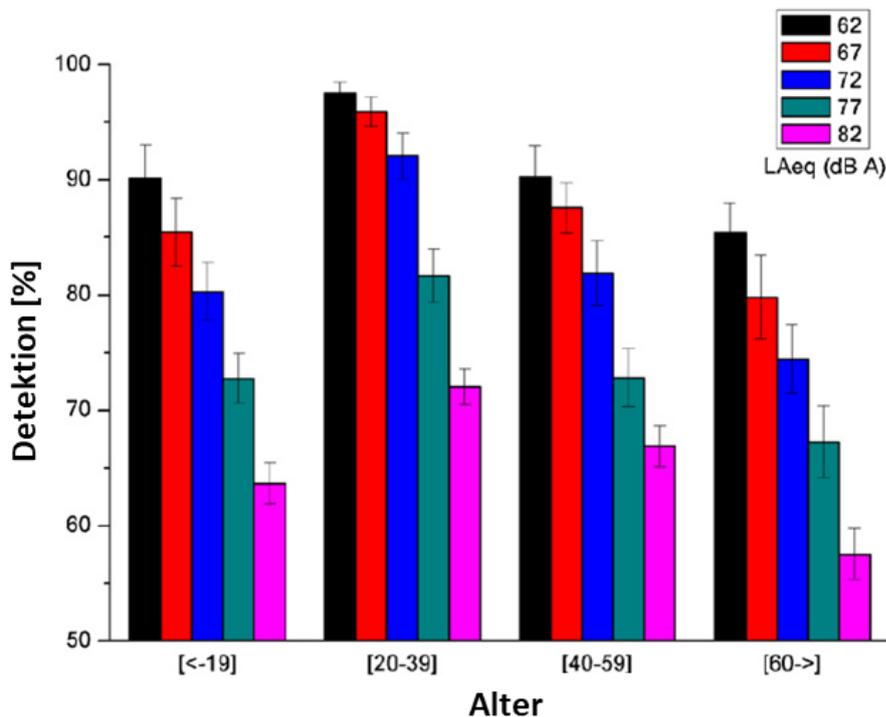
Die vertikalen, schwarzen Striche mittig der Balken stellen die Streuung (Standardabweichung) der erfassten Datenwerte dar.

Quelle: Mendonça et al. 2013 (übersetzte Darstellung)

Weiterhin untersuchten Mendonça et al. den Einfluss des Umgebungsschallpegels und des Alters der Testpersonen auf die Detektion von Fahrzeugen. In Abbildung 17 ist die durchschnittliche Detektionsrate für die vier untersuchten Altersklassen bei fünf unterschiedlichen Umgebungsschallpegeln (62 dB(A), 67 dB(A), 72 dB(A), 77 dB(A) und 82 dB(A)) dargestellt. Demnach schneiden die Testpersonen (über 60 Jahre) bei allen untersuchten Schallpegeln im Hinblick auf die Fahrzeugdetektion am schlechtesten ab, gefolgt von den jüngeren Testpersonen

(bis 19 Jahre). Dies zeigt sich insbesondere bei den sehr lauten Umgebungsgeräuschen von 82 dB(A). Hier ist die Detektionsrate bei den Senioren besonders gering (weniger als 60 %). Ein erhöhter Umgebungslärm verschlechtert jedoch nicht nur die Detektionsrate bei den Senioren, sondern bei allen Testpersonen – unabhängig von der Altersklasse. Je lauter folglich der Schallpegel der Umgebung ist, desto weniger Personen – unabhängig vom Alter - können die Fahrzeuge richtig detektieren. Die Senioren schneiden jedoch bei der Fahrzeugdetektion bei jedem der fünf untersuchten Schallpegel am schlechtesten von allen Altersklassen ab. (Mendonça et al. 2013)

Abbildung 17: Durchschnittliche Detektionsrate bei unterschiedlichen Umgebungsschallpegeln in Abhängigkeit vom Alter der Testpersonen



Die Abkürzung LA_{eq} steht für den äquivalenten Dauerschallpegel [dB(A)]. Die vertikalen, schwarzen Striche mittig der Balken stellen die Streuung (Standardabweichung) der erfassten Datenwerte dar.
Quelle: Mendonça et al. 2013 (übersetzte Darstellung)

Zusammenfassend für die Untersuchung von Mendonça et al. lässt sich sagen, dass das Alter einen entscheidenden Einfluss auf die akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen hat. Dies betrifft insbesondere jüngere (bis 19 Jahre) sowie ältere Menschen (ab 60 Jahre). Die schlechte Detektionsrate ist bei älteren Personen laut Mendonça et al. vermutlich auf den typischen Hörverlust im Alter zurückzuführen. Bei den jüngeren Personen zeigte sich, dass mit zunehmendem Alter die Genauigkeit der Fahrzeugdetektion anstieg. Dass jüngere VerkehrsteilnehmerInnen, insbesondere Kinder, Schwierigkeiten bei der Einschätzung von Fahrgeschwindigkeiten haben, konnten auch andere Wissenschaftler bereits vor langer Zeit belegen (z. B. Pfeffer und Barnecutt 1996).

Hinsichtlich des Einflusses des Umgebungsschallpegels auf die Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen schlussfolgern Mendonça et al., dass der Umgebungsschallpegel stets in Kombination mit der Antriebstechnologie der Fahrzeuge, der Fahrbahnoberfläche sowie der Fahrgeschwindigkeit betrachtet werden muss. Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass die durchschnittliche Detektionsquote der Testpersonen bei einem Umgebungsschallpegel von 77 dB(A) bei fast 75 % lag. Bei lauterer Umgebungsgeräuschen (über dem Grenzwert von

77 dB(A)) werden Fahrzeuge deutlich schlechter wahrgenommen, worin Mendonça et al. eine Gefährdung für VerkehrsteilnehmerInnen sehen. Leise Umgebungsgeräusche stufen sie im Hinblick auf die Fahrzeugerkennung folglich im Allgemeinen als sicherer ein.

Auch Stelling-Kończak et al. konnten im Rahmen ihrer Untersuchung nachweisen, dass ein hoher Umgebungsschallpegel und ein gewisses Alter (v. a. bei Kindern und Senioren) sich negativ auf die Lokalisierung und Wahrnehmung von Fahrzeuggeräuschen auswirken. (Stelling-Kończak et al. 2015)

Pilgerstorfer et al. konnten hingegen in ihrer Untersuchung nachweisen, dass ein höheres Alter nicht zwangsweise zu einer schlechteren akustischen Fahrzeugwahrnehmung führt. Jedoch ist hierbei zu kritisieren, dass die Stichprobe der älteren Testpersonen vergleichsweise gering war (55 % der Testpersonen waren über 30 Jahre, 30 % Testpersonen waren zwischen 31 und 45 Jahre und 15 % der Testpersonen waren über 45 Jahre).

4.2.2 Einfluss des Fahrzeugklangs

Die von Wall Emerson et al. durchgeführte Studie mit insgesamt 28 blinden und 12 sehbehinderten Testpersonen zeigte, dass die rechtzeitige Erkennbarkeit eines herannahenden Hybridfahrzeugs nicht nur von der Lautstärke der Umgebungsgeräusche beeinflusst wird. Die Fahrzeugwahrnehmung hängt insbesondere auch von der Ähnlichkeit des Umgebungsgeräusches zum Fahrzeugklang ab: Je ähnlicher die Frequenzen der Umgebung und des Fahrzeugs sind, desto schlechter wird das Hybridfahrzeug von sehgeschädigten Personen wahrgenommen. Unterscheidet sich hingegen der Fahrzeugklang von der Umgebung, erleichtert dies die Wahrnehmung des Fahrzeugs. So zeigte die Untersuchung von Wall Emerson et al., dass sehgeschädigte Personen ein Hybridfahrzeug, welches Geräuschemissionen um 100 Hz ausstrahlt, deutlich besser wahrnehmen können als Hybridfahrzeuge mit niederfrequenten Geräuschpegeln. Wall Emerson et al. empfehlen daher, dass Warngeräusche mit niedrigen Frequenzen im Bereich von 20 Hz bis 100 Hz bei leisen Fahrzeugen möglichst vermieden werden sollten. Denn diese niederfrequenten Geräusche kommen überwiegend im Stadtbereich vor, wo in der Regel auch die meisten Hybrid- und Elektrofahrzeuge verkehren. (Wall Emerson et al. 2011) Diese Erkenntnis wird auch die Untersuchung von Misdariis et al. gestützt: Demnach können Fahrzeugaußengeräusche von E-Pkw, welche mit hohen (ca. 1.000 Hz) bzw. sehr hohen Schallfrequenzen abgestrahlt werden (ca. 3.000 Hz), deutlich besser detektiert werden. Dies hängt damit zusammen, dass hohe Frequenzen sich vom städtischen Umgebungslärm besser abheben als niedrige Frequenzen. (Misdariis et al. 2012)

Weiterhin fanden Wall Emerson et al. heraus, dass die auditive Wahrnehmung von Hybridfahrzeugen davon abhängt, ob das Fahrzeugaußengeräusch „allmählich“ (d.h. in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit) oder plötzlich auftritt. So wird ein startendes Fahrzeug beispielsweise besser wahrgenommen als ein bereits fahrendes Fahrzeug. Zudem wird laut Wall Emerson et al. die Wahrnehmung verbessert, wenn das Fahrzeugaußengeräusch sich in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit (bzw. Beschleunigung) ändert. Diese zentrale Erkenntnis findet sich auch in der UNECE R 138 wieder.

4.2.3 Einfluss der Fahrzeugreifen

Ammann et al. führten eine Untersuchung in der Schweiz durch, in der sie das Lärminderungspotenzial bei einer Temporeduktion von 50 km/h auf 30 km/h im Realverkehr für unterschiedliche Fahrzeugtypen mit unterschiedlichen Antriebsarten analysierten. Neben dem Einfluss der Fahrgeschwindigkeit, der Fahrbahnbeläge sowie der Steigung, wurde auch der Einfluss der Fahrzeugreifen untersucht. (Ammann et al. 2015)

Die Messungen der Pkw-Einzelvorbeifahrten wurden mit insgesamt acht unterschiedlichen Testfahrzeugen durchgeführt: Benziner, Dieselfahrzeug, Kleinwagen, Sportwagen, Hybridfahrzeug und Elektrofahrzeug. Neben der Antriebsart wurde auch die Reifenbreite der verschiedenen Testfahrzeuge dokumentiert (vgl. Tabelle 10 und Tabelle 11)

Tabelle 10: Ergebnisse der Messwerte an einem der Messpunkte – Referenzwert (1 Fz/h 1m)

Geschwindigkeitskategorie	Reifenbreite	23-27 km/h	28-32 km/h	33-37 km/h	38-42 km/h	43-47 km/h	48-52 km/h
L_{eq} gesamt		- 6,6	-3,2	-3,4	-1,9	-0,6	0,0
L_{eq} Subaru	205 mm	-	-1,9	-2,6	-	-0,4	-
L_{eq} Opel	215 mm	-6,8	-4,3	-3,1	-1,5	-	0,5
L_{eq} Ford Mustang V8	245 mm	-5,2	-3,3	-2,8	-1,6	-0,6	0,8
L_{eq} BMW Cabrio	205 mm	-	-2,0	-	0,2	0,8	-
L_{eq} Tesla S	245 mm	-6,1	-3,6	-2,7	-1,2	-0,7	0,8
L_{eq} Opel Ampera	215 mm	-8,4	-5,3	-4,8	-3,6	-1,8	-
L_{eq} VW Polo	165 mm	-8,6	-5,9	-5,4	-3,8	-1,9	-1,3
L_{eq} Honda Civic Hybrid	195 mm	-6,0	-4,5	-	-2,9	-2,2	-0,9

Pro Fahrzeug und Geschwindigkeitsklasse wurde ca. eine Vorbeifahrt gemessen. Alle Messwerte sind in dB(A) angegeben. Die mittlere Differenz zur Referenz liegt im Geschwindigkeitsbereich von 48 bis 52 km/h bei 41,6 dB(A).

Quelle: Ammann et al. 2015

Tabelle 11: Ergebnisse der Messwerte an einem der Messpunkte – Referenzwert (L_{max} in 7,5 m)

Geschwindigkeitskategorie	Reifenbreite	23-27 km/h	28-32 km/h	33-37 km/h	38-42 km/h	43-47 km/h	48-52 km/h
L_{max} gesamt		-9,0	-5,4	-5,3	-2,8	-0,8	0,0
L_{max} Subaru	205 mm	-	-4,6	-4,0	-	-0,4	-
L_{max} Opel	215 mm	-10,5	-6,3	-6,1	-2,6	-	-0,2
L_{max} Ford Mustang V8	245 mm	-8,0	-4,7	-4,7	-2,6	-1,3	1,1
L_{max} BMW Cabrio	205 mm	-	-3,8	-	-0,2	0,5	-
L_{max} Tesla S	245 mm	-9,3	-5,7	-4,0	-2,6	-1,4	1,0
L_{max} Opel Ampera	215 mm	-11,1	-7,7	-6,4	-4,9	-2,0	-
L_{max} VW Polo	165 mm	-11,7	-8,4	-6,8	-4,2	-1,5	-0,4
L_{max} Honda Civic Hybrid	195 mm	-7,4	-6,0	-	-4,0	-2,4	-0,8

Pro Fahrzeug und Geschwindigkeitsklasse wurde ca. eine Vorbeifahrt gemessen. Alle Messwerte sind in dB(A) angegeben. Die mittlere Differenz zur Referenz liegt im Geschwindigkeitsbereich von 48 bis 52 km/h bei 65,9 dB(A).

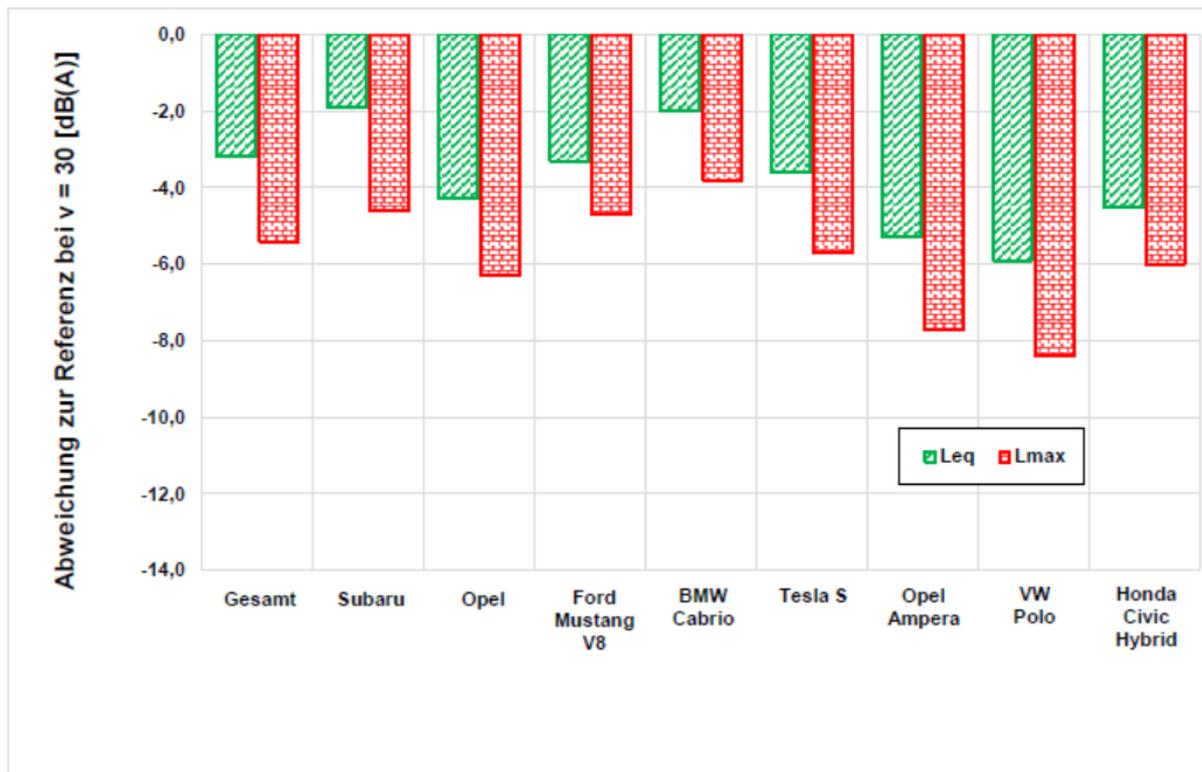
Quelle: Ammann et al. 2015

Die Untersuchungsergebnisse von Ammann et al. lassen darauf schließen, dass nicht nur der Fahrzeugtyp und die Motorisierung einen entscheidenden Einfluss auf die Geräuschemissionen haben, sondern auch die Reifenbreite. So zeigte sich beispielsweise Folgendes:

- ▶ Hinsichtlich des Einflusses des Fahrzeugtyps auf die Lärmemissionen gibt es zum Teil große Unterschiede zwischen den untersuchten Testfahrzeugen (vgl. Tabelle 10).
- ▶ Mit sinkender Fahrgeschwindigkeit nehmen die Emissionswerte bei allen Fahrzeugtypen ab (vgl. Tabelle 11).
- ▶ Bei geringen Fahrgeschwindigkeiten werden die von den Fahrzeugen verursachten Lärmemissionen nicht durch das Motorengeräusch dominiert. So zeigt sich z. B., dass der Tesla S, welcher rein elektrisch betrieben wird und demzufolge keine Motorengeräusche von sich gibt, bei 30 km/h größere Lärmemissionen verursacht als rund die Hälfte der anderen untersuchten Testfahrzeuge. Da der Tesla S über die breitesten Reifen (245 mm) im Vergleich zu den Testfahrzeugen verfügt, vermuten die Wissenschaftler, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen den Lärmemissionen und den unterschiedlichen Reifenbreiten der Fahrzeuge gibt. (Das Fahrzeuggewicht blieb bei dieser Untersuchung unberücksichtigt).
- ▶ Der VW Polo und Opel Ampera weisen im Vergleich zu den anderen Testfahrzeugen die geringsten Emissionswerte auf (vgl. Abbildung 18). Der VW Polo verfügt mit 165 mm Reifenbreite über die schmalsten Reife und einen kleinen Motor. Beim Opel Ampera handelt es sich um ein Elektrofahrzeug mit normal breiten Reifen (215 mm).

Abbildung 18: Geräuschemissionen in der Geschwindigkeitsklasse 28 bis 32 km/h je Testfahrzeug

Dargestellt ist jeweils die Abweichung zur Referenz.



L_{eq} = äquivalenter Schalldruckpegel: gemittelte Schallenergie über die Zeit.

L_{max} = Maximaler Schalldruckpegel (höchster Messwert).

Quelle: Eigene Darstellung nach Ammann et al. 2015, S. 16

Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass nicht nur die Motorisierung der unterschiedlichen Fahrzeugtypen eine entscheidende Rolle bei der Wahrnehmung von Fahrzeugaußengeräuschen spielt, sondern auch die Breite der Fahrzeugreifen. Die Untersuchung von Ammann et al. deutet darauf hin, dass Fahrzeuge mit kleinem Verbrennungsmotor (geringer Hubraum und geringe Leistung) und schmalen Reifen (z. B. VW Polo) geringere Schallemissionen erzeugen, als elektrisch angetriebene Kraftfahrzeuge mit breiten Reifen (z. B. Tesla S). (Ammann et al. 2015)

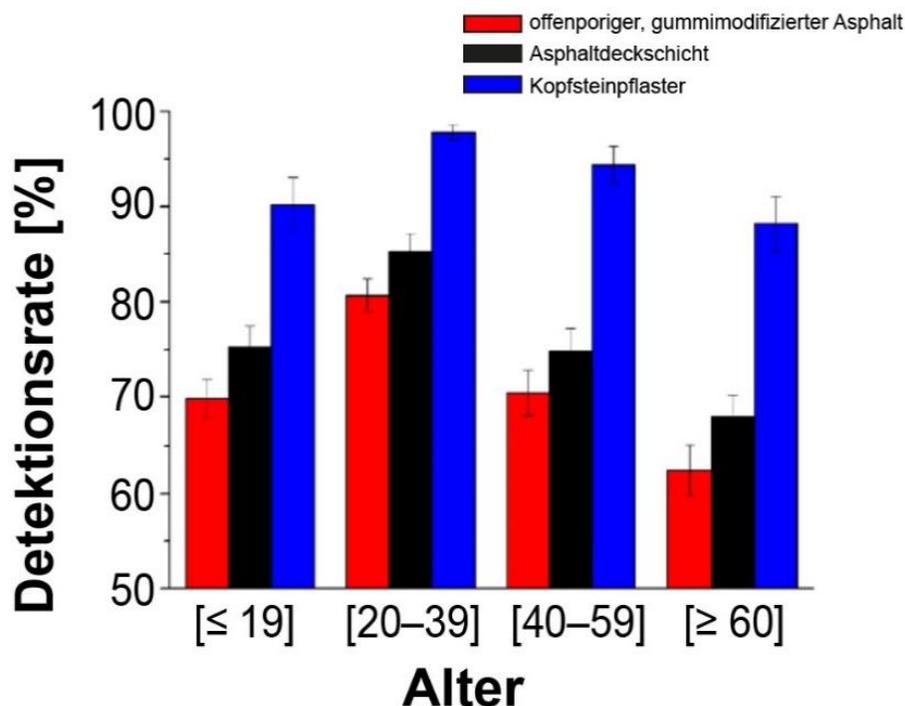
4.2.4 Einfluss der Fahrbahnoberfläche

Neben den zuvor genannten Einflussgrößen hängt die akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen auch von der Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche ab. Diesen Zusammenhang untersuchten z. B. Mendonça et al. Sie erforschten dabei u. a. die Auswirkung folgender Fahrbahnbeläge im Zusammenhang mit der Wahrnehmung von unterschiedlichen Fahrzeugtypen:

- ▶ Offenporiger, gummimodifizierter Asphalt,
- ▶ Asphaltdeckschichten sowie
- ▶ Kopfsteinpflaster.

Dabei wurde zunächst untersucht, welchen Einfluss die Fahrbahnoberfläche grundsätzlich auf die Wahrnehmbarkeit von Kraftfahrzeugen besitzt. Fahrzeuge, die auf Kopfsteinpflaster fahren, wurden von den 89 Testpersonen im Alter zwischen sieben und 89 Jahren am besten wahrgenommen (Abbildung 19). Die durchschnittliche Detektionsrate lag hier bei 93 % (Standardabweichung bei 1,16). Bei Asphaltdeckschichten lag sie bei 77 % (Standardabweichung bei 1,25) und beim offenporigen, gummimodifizierten Asphalt bei 72 % (Standardabweichung bei 1,25). (Mendonça et al. 2013)

Abbildung 19: Durchschnittliche Detektionsrate für unterschiedliche Fahrbahnbeläge

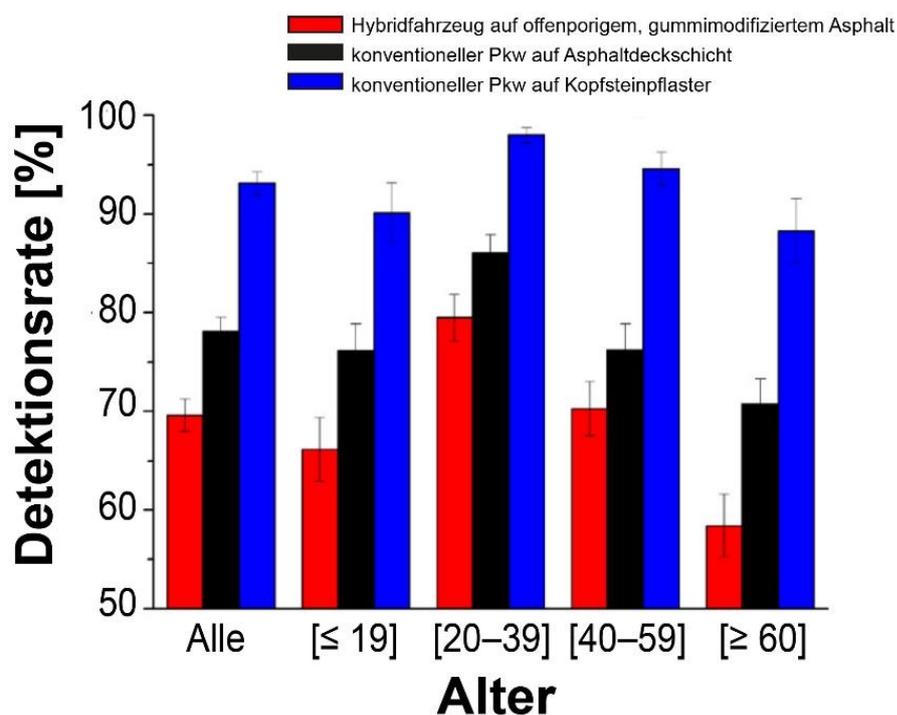


Die vertikalen, schwarzen Striche mittig der Balken stellen die Streuung (Standardabweichung) der erfassten Datenwerte dar.

Quelle: Mendonça et al. 2013 (übersetzte Darstellung)

Weiterhin untersuchten Mendonça et al. den Zusammenhang zwischen der Fahrbahnoberfläche und unterschiedlichen Antriebsarten von Fahrzeugen auf die Fahrzeugwahrnehmung (vgl. Abbildung 20). Dabei wurde bewusst eine Kombination von leisem Fahrzeug mit leiser Oberfläche und lautem Fahrzeug mit lauter Oberfläche gewählt, um die Auswirkungen eines zunehmenden Anteils elektrisch angetriebener Fahrzeuge auf die Verkehrssicherheit abschätzen zu können. Die Untersuchung kommt zu dem Schluss, dass das Zusammenspiel aus geräuscharmen E-Kfz mit leisen Fahrbahnbelägen wie offenporigem Asphalt ein Risiko für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen darstellen könnte. Dies begründen sie damit, dass sich der Unterschied in der Wahrnehmung von leisen Fahrzeugen gegenüber einem konventionell angetriebenen Fahrzeug noch verschärft, wenn leise Fahrzeuge auf einem leisen Belag und laute Fahrzeuge auf einem lauten Oberflächenbelag unterwegs sind (Mendonça et al. 2013, S. 14). Die Autoren schließen aus ihren Ergebnissen, dass sich somit ein additiver Effekt (Verstärkung) bezüglich der Wahrnehmbarkeit ergeben könnte. Leise Fahrzeuge werden relativ betrachtet auf leisen Fahrbahnbelägen noch schlechter wahrgenommen als laute Fahrzeuge. Die Unterschiede traten vor allem bei den älteren Personen ab 60 Jahre noch deutlicher zutage (Abbildung 20),

Abbildung 20: Durchschnittliche Detektionsrate und Standardabweichung für ausgewählte Testsznarien mit Kombination von Fahrbahnoberflächen und Fahrzeugantrieben nach Altersgruppen



Die vertikalen, schwarzen Striche mittig der Balken stellen die Streuung (Standardabweichung) der erfassten Datenwerte dar.

Quelle: Mendonça et al. 2013 (übersetzte Darstellung)

Vor dem Hintergrund des Lärmschutzes sind geräuschkindernde Fahrbahnbeläge im Allgemeinen grundsätzlich als positiv zu beurteilen. Bezüglich der Wahrnehmbarkeit von Kraftfahrzeugen in Abhängigkeit des Antriebs dürfte sich die Wirkung lärmarmen Asphaltes in der Praxis aber eher gering auswirken. Lärmindernde Asphalte können zwar zu einer durchschnittlichen Emissionsreduktion von bis zu 5 dB(A) führen (z. B. offenporige Asphaltbeläge). Sie werden in Deutschland wegen ihrer bautechnischen Eigenschaften – aufgrund des hohen Hohlraumgehalts ist der Asphalt sensibel gegenüber Schubbeanspruchungen – in der Regel nur auf stark befahrenen Strecken mit geringen Anfahr-

und Abbremsvorgängen (z. B. Autobahnen, innerstädtische Hauptverkehrsstraßen) eingebaut (vgl. Peschel und Reichart 2014, S. 23). Auf diesen Straßen fahren die Fahrzeuge in der Regel Geschwindigkeiten, bei denen das Abrollgeräusch der Reifen auf der Fahrbahn dominiert. Daher spielt die akustische Wahrnehmbarkeit der Fahrzeuge in Abhängigkeit der Antriebsart eine untergeordnete Rolle. Bei einer Einführung von Tempo 30 auf innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen, wie dies derzeit diskutiert wird, könnte der beschriebene Überlagerungseffekt allerdings eine Rolle spielen. (Wende et al. 2004)

4.3 Wahrnehmbarkeit zusätzlicher künstlicher Warngeräusche

4.3.1 Technische Anforderungen an künstliche Warngeräusche (AVAS)

Elektrisch betriebene Fahrzeuge sind in niedrigen Geschwindigkeitsbereich leiser als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, da hier bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor die Motorgeräusche dominieren, während diese bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen nahezu unhörbar sind. Ab einer Geschwindigkeit von 20 km/h bis 30 km/h wird die akustische Wahrnehmung für beide Fahrzeugtypen zunehmend durch das Reifen-Fahrbahngeräusch bestimmt.

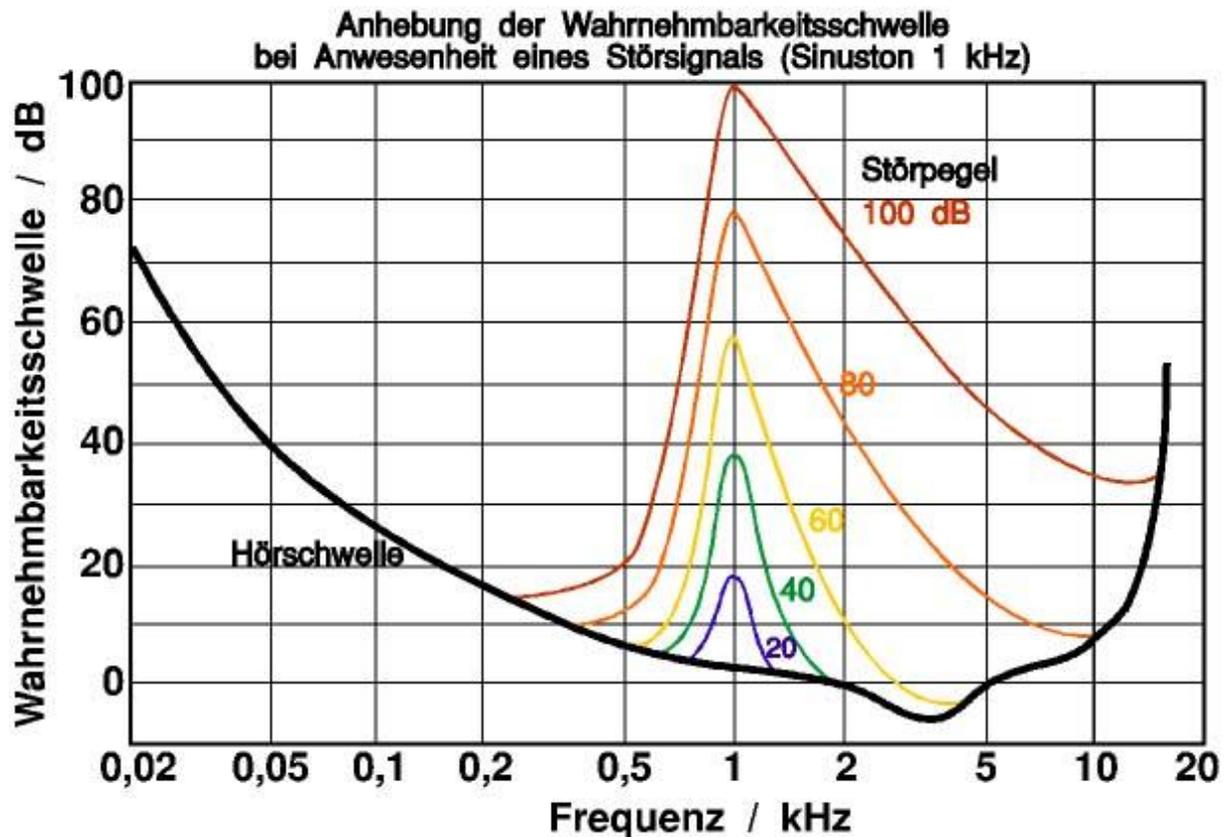
Das AVAS soll im unteren Geschwindigkeitsbereich des Fahrzeuges:

- ▶ die akustische Wahrnehmbarkeit (in leiser Umgebung) sicherstellen,
- ▶ eine Überdeckung oder Maskierung der Geräusche durch andere Fahrzeuge oder Verkehrsteilnehmer verhindern,
- ▶ ein Klangbild erzeugen, welches als Kraftfahrzeug erkennbar ist und
- ▶ keine übermäßig hohe akustische Emission darstellen.

Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor erzeugen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich charakteristischerweise tonale Klangbilder, die von der momentanen Motordrehzahl und deren Vielfachen geprägt sind. Die Frequenzen dieser tonalen Anteile folgen proportional der Fahrzeuggeschwindigkeit, wobei sich deren Amplituden in gewissen Grenzen ändern können. Für einen Geschwindigkeitsbereich bis 30 km/h liegt je nach Übersetzung die Motordrehzahl in einem Frequenzbereich von 12 bis 60 Hz, dominante Motorordnungen bis zur 8-fachen liegen im Frequenzbereich von 100 bis 480 Hz. Höhere Anregungsordnungen entstehen zum Beispiel im Getriebe und können 400 bis 2500 Hz erreichen und deren höherharmonische wiederum bis 5 kHz. Die proportionale Kopplung zwischen den signifikanten tonalen Anteilen und der Fahrzeuggeschwindigkeit erlaubt eindeutige Rückschlüsse auf Geschwindigkeitsänderungen des Fahrzeuges.

Einzelne Töne können in der akustischen Wahrnehmung verdeckt oder maskiert werden, wenn der maskierende Ton in der Frequenz nahe genug und/oder entsprechend laut ist. So wird zum Beispiel ein 2-Kilohertz-Signal bis zu einem Pegel von 42 dB von einem 1-Kilohertz-Signal mit einem Pegel von 80 dB vollständig verdeckt (s. Abbildung 21). Um ein tonhaltiges Signal hingegen sicher wahrnehmen zu können, sollte es 3 dB bis 6 dB oberhalb der jeweiligen Wahrnehmbarkeitsschwelle liegen.

Abbildung 21: Anhebung der Wahrnehmbarkeitsschwelle für ein Störsignal von 1 Kilohertz in Abhängigkeit vom Störpegel



Quelle: Akustik Mithoerschwellen2 von Jens Blauert (lizenziert unter [CC-PD](#))

Ein sinnvoll gestaltetes Warngeräusch:

- ▶ ist tonhaltig und enthält mehrere verschiedene signifikante Frequenzen, damit eine Maskierung erschwert oder unwahrscheinlich ist,
- ▶ ähnelt insofern dem Geräusch eines Fahrzeuges mit Verbrennungsmotor soweit, dass Gewohnheiten in der Wahrnehmung positiv genutzt werden können,
- ▶ ist vom typischen Verbrenner-Geräusch abgegrenzt, so dass es klar wahrnehmbar und identifizierbar ist, damit eine Einordnung des Fahrzeuges möglich ist und nicht die Fortentwicklung des Geräusches eines Fahrzeuges mit Verbrennungsmotor erwartet wird,
- ▶ ist im Gesamtpegel derart leise, dass es andere akustische Informationen nicht verdeckt oder eine zusätzliche Lärmbelastung in der Umgebung darstellt,
- ▶ enthält eine Information zur Geschwindigkeitsänderung.

4.3.2 Auswertung empirischer Studien

In den letzten Jahren wurden einige Studien zur Wahrnehmbarkeit und Wirksamkeit von zusätzlichen akustischen Warngeräuschen bei Elektro- und Hybridfahrzeugen durchgeführt. Die zentralen Erkenntnisse dieser Untersuchungen werden im Folgenden zusammengefasst.

So erforschten beispielsweise Goodes et al. die Wirksamkeit von zusätzlichen künstlichen Tönen bei leisen Fahrzeugen im Hinblick auf die Fahrzeugwahrnehmung. Hierbei waren insgesamt 27

blinde Testpersonen angehalten, ihre Hand zu heben, wenn sie ein herannahendes Fahrzeug hörten, welches mit einem akustischen Warnsignal ausgestattet war. Der Testwagen fuhr mit einer Geschwindigkeit von 15 km/h, der Geräuschpegel der Umgebung betrug 49 dB. Die Ergebnisse der Studie zeigten eindeutig, dass die zusätzlichen Fahrzeugaußengeräusche bei den E-Pkw zu einer verbesserten Fahrzeugwahrnehmung bei den Testpersonen führten. Weiterhin untersuchten die Wissenschaftler eine Kombination aus künstlichem Motorengeräusch und einer Glocke, die im Zwei-Sekunden-Takt klingelte. Durch dieses kombinierte Geräusch konnten E-Pkw besser erkannt werden als ohne Glockenläuten. (Goodes et al. 2009)

Chamard und Roussarie fanden heraus, dass das Hinzufügen eines künstlichen Geräusches Elektrofahrzeuge fast genauso gut wahrnehmbar macht wie Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Die subjektiv wahrgenommene Gefahr eines E-Pkw mit Warngeräuschen blieb allerdings nach wie vor größer als bei einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Das Hinzufügen eines künstlichen Tonsignals trägt laut Chamard und Roussarie zwar zu einer verbesserten Wahrnehmbarkeit bei, allein durch die Lautstärke kann das Problem allerdings nicht vollständig behoben werden. Die Wissenschaftler empfehlen daher, dass weitere Variationen von Geräuschen, die zu einer verbesserten Detektion führen, untersucht werden. Zudem sollten neue Technologien für leise Fahrzeuge entwickelt werden. (Chamard und Roussarie 2012)

In einer Studie von Kim et al. wurde untersucht, wie sich die Zugabe eines künstlichen Tonsignals auf die Erkennbarkeit und Lokalisierbarkeit von Hybridelektrofahrzeugen auswirkt. Die insgesamt 15 sehgeschädigten Testpersonen in der Studie wurden gebeten, unterschiedlich laute Fahrzeuge zu detektieren, welche sich ihnen mit einer Geschwindigkeit von 10 km/h bis 15 km/h näherten. Das Experiment wurde in Umgebungen mit zwei unterschiedlichen Hintergrundgeräuschpegeln durchgeführt: Zum einen in einer Straße mit einem Hintergrundpegel von 55,1 dB und zum anderen auf einem Parkplatz mit einem Hintergrundpegel von lediglich 47,8 dB. Dabei wurde das mit einem künstlichen Tonsignal ausgestattete Hybridelektrofahrzeug bereits aus einer größeren Entfernung (im Durchschnitt 38,3 Meter, Standardabweichung +/- 14,8 Meter) von den Testpersonen erkannt als das gleiche Fahrzeug ohne Tonsignal (Detektionsabstand durchschnittlich 27,5 Meter, Standardabweichung +/- 11,5 Meter). Als Vergleich wurde noch ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor hinzugezogen, welches bei einer durchschnittlichen Entfernung von 34,5 Meter (Standardabweichung +/- 14,3 Meter) erkannt wurde. (Kim et al. 2012, S. 381)

Kim et al. kommen zu dem Schluss, dass das Hybridelektrofahrzeug mit künstlich erzeugtem Tonsignal zum einen schneller und zuverlässiger erkannt wurde als das gleiche Fahrzeug ohne dieses Signal und zum anderen auch besser als ein vergleichbares Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Jedoch helfe das künstliche Tonsignal sehgeschädigten VerkehrsteilnehmerInnen nicht dabei, bei der genauen Fahrtrichtung des Fahrzeugs an Kreuzungen zu differenzieren. Die Versuchspersonen konnten nicht unterscheiden, ob das Fahrzeug an der Kreuzung geradeaus weiterfuhr oder rechts abbog. Der unterschiedliche Geräuschpegel der Umgebung hatte dabei keinen entscheidenden Einfluss auf die Erkennbarkeit der Fahrzeuge. Laut Kim et al. kann die Ausstattung von Hybridelektrofahrzeugen mit einem künstlich erzeugten Tonsignal allerdings insbesondere bei Fahrzuständen mit geringen Geschwindigkeiten einen Beitrag zur Erhöhung bei der Verkehrssicherheit leisten, da sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen aufgrund des wahrgenommenen Signals die Fahrbahn erst mit Verzögerung betreten und diese queren. (Kim et al. 2012)

Yamauchi et al. untersuchten in einem Laborversuch drei mögliche Geräusche (Motorengeräusch, Fahrzeughupe und Bandpassgeräusch) zur Verbesserung der Wahrnehmbarkeit leiser Fahrzeuge bei folgenden Hintergrundpegeln:

- ▶ Zweispurige, viel befahrene Straße in der Innenstadt (65,9 dB);
- ▶ Zweispurige Straße im Wohngebiet (67,8 dB);
- ▶ Sechsspurige Straße mit sehr hohem Verkehrsaufkommen (73,2 dB);
- ▶ Schmale Straße in einer Einkaufszone (60,4 dB).

Die Experimente wurden sowohl in Deutschland als auch in Japan durchgeführt, um ggf. kulturelle Unterschiede feststellen zu können. An der deutschen Untersuchung beteiligten sich insgesamt 15 und an der japanischen Untersuchung 16 Personen. Die Testpersonen beider Untersuchungen waren im Durchschnitt 30 Jahre alt und verfügten alle über ein uneingeschränktes Hörvermögen. Kulturelle Unterschiede konnten im Hinblick auf die Wahrnehmung verschiedener Fahrzeugwarngeräusche in Umgebungen mit unterschiedlichen Geräuschpegeln jedoch nicht festgestellt werden. Da sich die Untersuchung lediglich mit der akustischen Wahrnehmbarkeit leiser Fahrzeuge befasste, kann keine Aussage über die empfundene Lästigkeit bzw. die Präferenz von Fahrzeuggeräuschen in den beiden Untersuchungsländern getroffen werden. (Yamauchi et al. 2011)

Die Untersuchungsergebnisse zeigten hingegen eindeutig, dass sowohl die Art des Warntons als auch der Hintergrundpegel eine entscheidende Rolle für die Wahrnehmbarkeit von Hybridelektrofahrzeugen spielt. Weiterhin fanden die Wissenschaftler heraus, dass ein bestimmtes Warngeräusch in einer anderen, lauterer Umgebung (ca. 10 dB bis 20 dB lauter) möglicherweise nicht mehr hörbar ist. So ist beispielsweise das Motorengeräusch des Fahrzeugs aufgrund des geringen Hintergrundpegels in der Einkaufszone besser wahrnehmbar als dasselbe Motorengeräusch in einer lauten, viel befahrenen Straße. Auf Basis ihrer Untersuchungen kamen Yamauchi et al. zu dem Schluss, dass die Wahrnehmbarkeit eines akustischen Warngeräusches in Fahrzeugen in direktem Zusammenhang mit dem Umgebungslärm steht. Daher sprachen sie sich dagegen aus, bei der Einführung der Regularien zur Wahrnehmung leiser Fahrzeuge lediglich einen festgelegten Schallpegel für akustische Warngeräusche festzulegen. Um die Wahrnehmbarkeit des Warngeräusches durch die ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen zu gewährleisten, müsste der Schallpegel des Warngeräusches stets in Abhängigkeit vom Schallpegel der Umgebung berücksichtigt werden. (Yamauchi et al. 2011)

In einer weiteren Untersuchung fanden Yamauchi et al. heraus, dass eine entsprechende Wirksamkeit des Geräusches zur Verbesserung der Wahrnehmbarkeit eines leisen Kfz nur erzielt werden kann, wenn der abgestrahlte Ton etwa 2 bis 3 dB höher ist als der Geräuschpegel der Umgebung. (Yamauchi et al. 2014)

Auch Parizet et al. untersuchten die Wirkung zusätzlicher akustischer Warngeräusche bei E-Pkw. Hierfür führten sie einen Hörversuch mit insgesamt 100 gut sehenden und 53 blinden Personen durch. Alle Testpersonen verfügten über ein uneingeschränktes Hörvermögen. Die Testpersonen waren angehalten, an einer virtuellen Straßenkreuzung akustisch festzustellen, ob sich ein herannahendes Fahrzeug von links oder von rechts nähert. Es wurden insgesamt neun Warnsignale mit unterschiedlichen Klangmerkmalen untersucht, welche mit den Aufnahmen eines E-Pkw ohne Warngeräusch sowie mit einem konventionellen Dieselfahrzeug verglichen wurden. Die Auswertung der gemessenen Reaktionen der beiden Testgruppen zeigte, dass es zwischen den gut sehenden und blinden Testpersonen keine Unterschiede in der Reaktionszeit gab. Jedoch unterschied sich die Wirkung der zusätzlichen Warngeräusche stark voneinander. Einige der untersuchten Warnsignale wirkten sich positiv auf die frühzeitige Detektion der Elektrofahrzeuge aus, andere hingegen zeigten im Vergleich zum Elektrofahrzeug ohne akustisches Warnsignal keinerlei verbesserte Wirkung. Das Experiment von Parizet et al. belegte

jedoch eindeutig, dass Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor (in diesem Fall ein Dieselfahrzeug) im Vergleich zum Elektrofahrzeug im Allgemeinen deutlich früher wahrgenommen werden. So betrug beispielsweise der mittlere Detektionsabstand beim betrachteten Elektrofahrzeug weniger als 5 Meter, wohingegen das untersuchte Dieselfahrzeug bereits bei durchschnittlich 20 Meter Entfernung von den Versuchspersonen wahrgenommen wurde. (Parizet et al. 2014a)

Weiterhin konnten Parizet et al. in ihrer Untersuchung nachweisen, dass laute Töne nicht zwangsläufig zu einer verbesserten Fahrzeugwahrnehmung führen müssen. Die Wissenschaftler kommen in ihrer Studie zu dem Schluss, dass die Wahrnehmung von leisen Fahrzeugen durch Variation folgender wichtiger Parameter verbessert werden kann:

- ▶ Eine relativ kleine Anzahl an Schwingungen,
- ▶ eine unregelmäßige Amplituden-Modulation sowie
- ▶ die Vermeidung von Frequenzmodulation.

Die Umsetzung dieser Parameter hilft dabei, das akustische Warngeräusch eines Fahrzeugs von den Umgebungsgeräuschen zu unterscheiden. Zudem erkannten die Wissenschaftler, dass künstliche Fahrzeugaußengeräusche genauso gut detektierbar sind wie der Klang von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor – auch bei geringeren Geräuschpegeln. Festzuhalten gilt, dass gezielt erzeugte Warngeräusche zu einer verbesserten Fahrzeugwahrnehmung beitragen, ohne dabei zu laut sein zu müssen. (Parizet et al. 2014b; Parizet et al. 2014a)

Im Jahr 2017 wurde eine Umfrage mit insgesamt 3.280 Personen durchgeführt, die alle Mitglieder eines norwegischen Elektrofahrzeugvereins sind. Die Umfrageergebnisse zeigten Folgendes (Berge 2018):

- ▶ Ein Drittel der Befragten gab an, dass ihr Elektrofahrzeug bereits über ein AVAS verfügt.
- ▶ 83 % der Befragten gaben an, dass sie bisher keine gefährliche Situation mit einem zu Fuß gehenden oder Rad fahrenden bei geringen Geschwindigkeiten erlebt haben.
- ▶ 6 % der Befragten gaben an, bereits einmal eine gefährliche Situation mit einem zu Fuß gehenden oder Rad fahrenden erlebt zu haben.
- ▶ 11 % der Befragten gaben an, mehr als einmal eine gefährliche Situation mit einem zu Fuß gehenden oder Rad fahrenden erlebt zu haben.
- ▶ Die Mehrheit der befragten Elektrofahrzeugführer ohne AVAS (87 %) hatte noch nie eine gefährliche Situation im Straßenverkehr erlebt.
- ▶ 75 % der befragten Elektrofahrzeugführer mit AVAS haben bereits eine gefährliche Situation erlebt.

Aus den umfangreichen Umfrageergebnissen folgert Berge, dass das AVAS, wie es heute gestaltet ist, keinen großen Beitrag zur Verkehrssicherheit des Fuß- und Radverkehrs leistet (Berge 2018).

Auch Sandberg et al. sprechen sich gegen ein zusätzliches akustisches Warngeräusch in Form eines AVAS bei Elektro- und Hybridelektrofahrzeugen aus. Seiner Meinung nach kann AVAS – wenn überhaupt – nur einen marginalen Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten. Das Ziel müsste darin liegen, die Umgebungsgeräusche zu reduzieren, anstatt zusätzliche Geräusche im

Straßenverkehr zu erzeugen. Zudem begründen sie ihre ablehnende Haltung gegenüber AVAS damit, dass die Problematik, dass leise Fahrzeuge bei geringen Geschwindigkeiten schwer wahrnehmbar sind, bereits existierte bevor elektrisch angetriebene Fahrzeuge auf den Markt kamen. Daher müsste das erhöhte Sicherheitsrisiko für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen theoretisch bereits seit Jahren in Unfallstatistiken usw. ablesbar sein und nicht erst, seitdem Elektro- und Hybridelektrofahrzeuge verstärkt auf den Straßen zum Einsatz kommen. Aufgrund fehlender empirischer Nachweise erachten sie es nicht als sinnvoll, leise Fahrzeuge zukünftig mit einem künstlichen Warngeräusch auszustatten. Sie sprechen sich anstatt des AVAS für nicht-akustische Lösungen aus, die keinerlei Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen haben. (Sandberg et al. 2010; Sandberg 2012, S. 2018-2019)

4.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zahlreiche WissenschaftlerInnen haben sich in den letzten Jahren mit der akustischen Wahrnehmbarkeit von Fahrzeuggeräuschen beschäftigt. In den betrachteten empirischen Untersuchungen ging es u. a. darum, die Unterschiede zwischen Elektro- bzw. Hybridelektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor im Hinblick auf die akustische Wahrnehmbarkeit zu analysieren und gegenüberzustellen. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde daraufhin eingeschätzt, inwiefern geräuscharme Fahrzeuge ein erhöhtes Sicherheitsrisiko für FußgängerInnen und RadfahrerInnen im Straßenverkehr darstellen könnten. Neben ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen im Allgemeinen, fokussierte sich eine Vielzahl der Studien auf die auditive Fahrzeugwahrnehmung von sehgeschädigten Menschen. Die Untersuchungen umfassten sowohl Laborhörversuche mit Reaktionszeitmessungen als auch Fahrzeugdetektionsversuche im Freien.

Hinsichtlich der auditiven Wahrnehmbarkeit von Fahrzeuggeräuschen zeigten die unterschiedlichen Untersuchungen ein überwiegend heterogenes Bild: Elektrisch angetriebene Fahrzeuge sind bei geringen Fahrgeschwindigkeiten bis 20 km/h unter jeweils denselben Randbedingungen akustisch schlechter wahrnehmbar als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Bei höheren Geschwindigkeiten (ab ca. 20 bis 25 km/h) sind Elektrofahrzeuge aufgrund der Abrollgeräusche der Reifen nahezu genauso gut wahrzunehmen wie konventionell angetriebene Fahrzeuge. Die grundsätzliche Geräuscharmut der Elektrofahrzeuge bei geringen Fahrgeschwindigkeiten und die damit verbundene schlechtere Wahrnehmbarkeit könnte dazu führen, dass herannahende Elektrofahrzeuge in bestimmten Fahrsituationen (z. B. beim rückwärts Ausparken) und Umgebungen möglicherweise nicht rechtzeitig wahrgenommen werden. Damit ergibt sich eine potenzielle Gefahr für den Fuß- und Radverkehr im Allgemeinen und für bestimmte Gruppen mobilitätseingeschränkter VerkehrsteilnehmerInnen im Besonderen. Von dieser Problematik sind vor allem Menschen mit sensorischen bzw. altersbedingten Einschränkungen, wie z. B. blinde und ältere Menschen sowie Kinder betroffen. Denn diese sind sowohl zur Orientierung als auch zur Einschätzung der Entfernung und Fahrtrichtung herannahender Fahrzeuge besonders auf Fahrzeuggeräusche angewiesen.

Den größten Einfluss auf die Wahrnehmbarkeit geräuscharmer Fahrzeuge hat dabei die Fahrgeschwindigkeit. In einigen Fahrzuständen, in denen die Fahrzeuge besonders langsam fahren und sich zudem nicht in direkter Sichtweite befinden (z. B. auf Parkplätzen, an Ein- und Ausfahrten usw.), ist die Gefahr, dass leise, herannahende Fahrzeuge nicht rechtzeitig wahrgenommen werden, besonders groß.

Weiterhin hat der Schallpegel der Umgebung einen entscheidenden Einfluss auf die Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugaußengeräuschen. Die Ergebnisse der unterschiedlichen empirischen Untersuchungen zeigten auch hier ein eindeutiges Bild: Je höher der Schallpegel der Umgebung war, desto schlechter konnten leise Fahrzeuge wahrgenommen werden. Elektro- und

Hybridfahrzeuge sind bei geringen Fahrgeschwindigkeiten und lauten Umgebungsgeräuschen erwartungsgemäß deutlich schlechter wahrnehmbar als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Insbesondere im innerstädtischen Bereich werden geräuscharme Fahrzeuge durch den hohen Hintergrundpegel der Umgebung (in den Versuchen etwa 50 dB bis 60 dB) übertönt, wodurch eine rechtzeitige Wahrnehmbarkeit der Fahrzeuge erschwert wird. Daraus leiten einige WissenschaftlerInnen an unübersichtlichen oder vielbefahrenen Kreuzungen ein erhöhtes Sicherheitsrisiko, insbesondere für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen ab.

Dass die akustische Wahrnehmung von Fahrzeugen nicht nur von der Antriebsart, der Fahrgeschwindigkeit sowie dem Umgebungsschallpegel abhängt, konnte im Rahmen der Literaturrecherche ebenfalls belegt werden. Die ausschlaggebenden Faktoren für die Wahrnehmbarkeit leiser Fahrzeuge sind folgende:

- ▶ Fahrzeugseitige Einflussgrößen, z. B.
 - Antriebsart des Fahrzeugs,
 - Fahrgeschwindigkeit,
 - Fahrzeugklang,
 - Fahrzeugreifen
- ▶ Umweltspezifische Einflussgrößen, z. B.
 - Schallpegel der Umgebung (v. a. Maskierungseffekt),
- ▶ Infrastrukturelle Einflussgrößen, z. B.
 - Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche
- ▶ Personenbezogene Einflussgrößen, z. B.
 - Sensorische Einschränkungen der VerkehrsteilnehmerInnen,
 - Altersbedingte Einschränkungen der VerkehrsteilnehmerInnen.

Eine unzureichende akustische Wahrnehmbarkeit wird insbesondere durch die Interaktion der o. g. Einflussgrößen verursacht. So wirkt sich z. B. die Kombination aus Elektroantrieb, geringer Fahrgeschwindigkeit, einem hohen Umgebungsschallpegel, Ablenkungen sowie ein geringes oder hohes Alter besonders schlecht auf die akustische Wahrnehmung aus. Als besonders kritisch wird auch die derzeitige Kombination aus Elektro-, Hybrid- und herkömmlichen Verbrennungsmotorfahrzeugen gesehen, da hierdurch die leiseren Fahrzeuge teilweise oder fast vollständig „maskiert“ werden und dadurch schwerer zu orten sind.

Jedoch sind nicht nur Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb bei geringen Fahrgeschwindigkeiten akustisch schwerer zu detektieren. In bestimmten Situationen sind auch moderne Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen akustisch schlecht wahrnehmbar. Denn diese sind aufgrund moderner Technologien zum Teil genauso leise wie Elektrofahrzeuge.

Hinsichtlich der Wirksamkeit eines zusätzlichen akustischen Warngeräusches konnte in den meisten Untersuchungen aufgezeigt werden, dass die auditive Wahrnehmbarkeit von E-Pkw durch ein zusätzliches akustisches Warngeräusch grundsätzlich verbessert werden kann. Dies

ist insbesondere bei geringen Fahrgeschwindigkeiten bis 20 km/h der Fall. Durch das zusätzliche künstliche Warngeräusch können Elektrofahrzeuge fast genauso gut wahrgenommen werden wie Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Entscheidend für die Wahrnehmbarkeit und Wirksamkeit des akustischen Warngeräusches sind hierbei die Klangeigenschaften des spezifischen Warntons.

Weiterhin hängt die Wirksamkeit des akustischen Warntons bei E-Pkw in hohem Maße vom Umgebungsgeräuschpegel ab. Um eine besonders hohe Effektivität zu erzielen, wird in einigen Studien daher empfohlen, dass der abgestrahlte Warnton zum einen ca. 2 bis 3 dB höher ist als der Lärmpegel der Umgebung und zum anderen über hohe Frequenzen (ab ca. 1.000 Hz) verfügen sollte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein zusätzliches akustisches Warnsignal bei Elektro- und Hybridfahrzeugen mit geringen Fahrgeschwindigkeiten mehrheitlich als sinnvolle und notwendige Maßnahme für die Sicherheit von FußgängerInnen und RadfahrerInnen erachtet wird. Geräuscharme Fahrzeuge können durch diese zusätzliche Geräuschquelle von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen besser detektiert und lokalisiert werden, wodurch Zusammenstöße potenziell vermieden werden können. Hinzu kommt, dass von den akustischen Warngeräuschen nicht nur Personen mit sensorischen oder kognitiven Einschränkungen profitieren, sondern alle FußgängerInnen und RadfahrerInnen. Denn durch den akustischen Warnton wird zumindest die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass das herannahende Elektro- bzw. Hybridfahrzeug rechtzeitig wahrgenommen wird.

Jedoch ist auch anzumerken, dass die bisherigen Untersuchungen zur Wirksamkeit akustischer Warngeräusche nicht vollständig auf das heutige AVAS übertragbar sind. So wurden in den letzten Jahren zwar zahlreiche Warngeräusche getestet, jedoch entsprachen diese nicht alle den heute geltenden Vorgaben für ein AVAS gemäß UNECE R 138. Hinzu kommt, dass die untersuchten Faktoren in den Studien zum Teil stark variierten, z. B. hinsichtlich des Fahrzeugtyps, des Geschwindigkeitsbereichs, der Position der Mikrofone, des Umgebungspegels, der Reifen, der Bodenbeläge, der Einschränkungen der Nutzergruppen usw. Diese unterschiedlichen Randbedingungen erschweren teilweise die Vergleichbarkeit der verschiedenen Studien.

5 Alternative Technologien und Ansätze zum derzeitigen AVAS

5.1 Kategorien alternativer Technologien und Ansätze

In diesem Forschungsvorhaben sollten Lösungsansätze ermittelt werden, inwiefern das Lärminderungspotenzial von Kraftfahrzeugen mit elektrischem Antrieb unter der Bedingung der Erhaltung bzw. Erhöhung der Verkehrssicherheit ausgeschöpft werden könnte. Dabei ging es um das grundsätzliche Potenzial von Maßnahmen, zunächst unabhängig vom derzeitigen regulatorischen Rahmen. Die Maßnahmen wurden hinsichtlich der eingesetzten Technik, ihrer Marktreife, ihrer Nutzerakzeptanz sowie ihrer Kosten analysiert, abgeschätzt und bewertet. Die Erkenntnisse beruhen auf einer umfangreichen Literaturrecherche sowie Interviews mit Fachleuten (vgl. Abschnitt 6.1). Die Maßnahmen lassen sich übergreifend in folgende Kategorien unterteilen:

- ▶ Fahrzeugtechnische Maßnahmen. Hier handelt es sich in der Regel um Fahrerassistenzsysteme, die auf die Umwelt oder im Rahmen einer Kommunikation zwischen verschiedenen Geräten reagieren.
- ▶ Nutzerbezogene Maßnahmen. Hierbei handelt es sich um persönliche Geräte, die NutzerInnen bei sich tragen.

Darüber hinaus wurden weitere Maßnahmen identifiziert, die den Bereichen der Verkehrsregelung oder Verkehrsaufklärung zuzuordnen sind. Diese wurden als begleitende Maßnahmen zu den technischen Maßnahmen eingestuft.

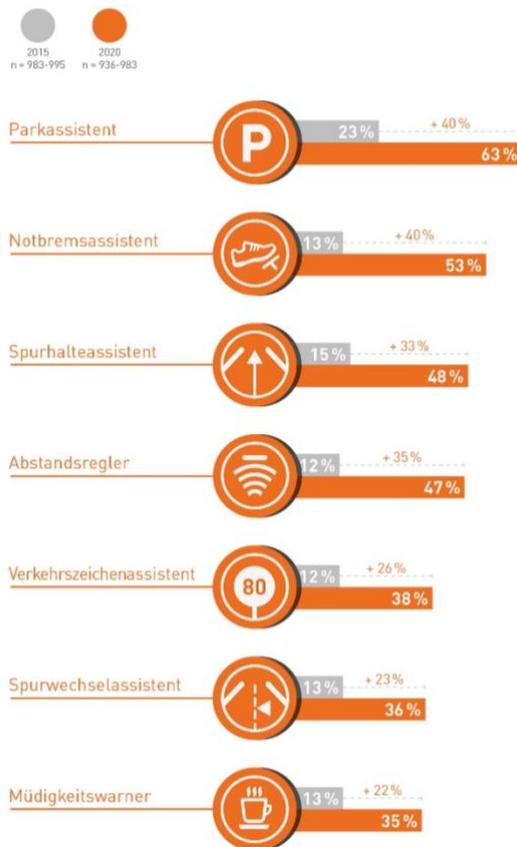
Im Folgenden werden die alternativen Maßnahmen beschrieben. Die Maßnahmen sind ebenfalls in Form von Steckbriefen im Anhang A zu finden.

5.2 Fahrzeugtechnische Maßnahmen

Fahrerassistenzsysteme (FAS) dienen der Unterstützung des Fahrers bei seiner Fahraufgabe, wodurch eine bessere Beherrschbarkeit kritischer Situationen zwischen dem Fahrzeug und dem ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen gewährleistet werden soll. Bereits heute sind zahlreiche Fahrerassistenzsysteme am Markt erhältlich. Dies gilt teils auch für die Fahrzeugklassen der Klein- und Kompaktwagen. (DVR 02.03.2017) Die Marktdurchdringung einzelner Fahrerassistenzsysteme ist dabei recht unterschiedlich (vgl. Abbildung 22). Es ist jedoch zu erwarten, dass die Ausstattung mit unterschiedlichen FAS in den nächsten Jahren deutlich zunimmt. Rückblickend von Anfang 2020 gaben 80 % der Befragten in einer Umfrage an, dass ihr in den letzten drei Jahren erworbenes Fahrzeug mit einem der in der Liste aufgeführten FAS ausgestattet war. 2015 waren es lediglich 40 % der Befragten (DVR 2020, S. 17). Die deutliche Zunahme bei der Ausstattung von Neufahrzeugen mit Fahrerassistenzsystemen zwischen 2015 und 2020 zeigt zudem Abbildung 22 im Vergleich.

Abbildung 22: Entwicklung bei der Verfügbarkeit von Fahrerassistenzsystemen in Neuwagen

Basis: 444 in der Datenbank unter www.bester-beifahrer.de erfasste aktuelle Pkw-Modelle



Quelle: Bester Beifahrer/DVR

Neue Vorgaben der EU sehen zudem vor, dass zukünftig eine Reihe von Fahrerassistenzsystemen verpflichtend in Fahrzeuge eingebaut sein müssen (vgl. VO (EU) 2019/2144). Insbesondere sind im Zusammenhang mit der hier bearbeiteten Aufgabenstellung die Systeme zur Geschwindigkeitsbegrenzung, der Rückfahrassistent (Querverkehrsassistent und Top View Kameras) und der Notbremsassistent mit Fußgänger- und Radfahrererkennung zu erwähnen. Für die meisten Systeme gilt die neue Regelung ab 2022 für neue Fahrzeugtypen und ab 2024 für alle Neufahrzeuge, für einige Systeme greift die Regelung jeweils zwei Jahre später. Teilweise sind auch Entwicklungsstufen und eine spätere Einführung vorgesehen. (ADAC e. V. 2019) Es ist somit zu erwarten, dass die Verbreitung und die Bedeutung von Fahrerassistenzsystemen für die Verkehrssicherheit in den kommenden Jahren (noch in diesem Jahrzehnt) kontinuierlich und deutlich zunehmen wird.

Im Folgenden sind technische Konzepte sowie potenzielle Alternativen und Ausbaustufen des derzeitigen AVAS-Systems dargestellt.

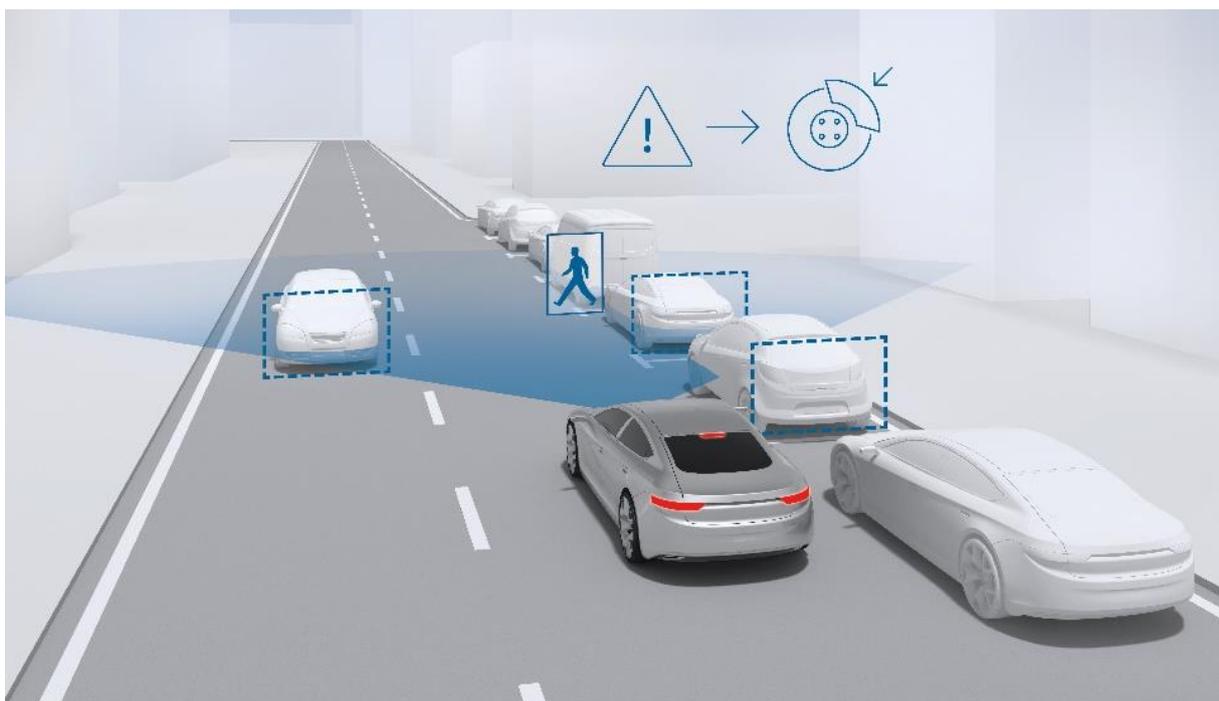
5.2.1 Maßnahme F1 – Notbremsassistent

Viele Automobilhersteller integrieren bereits seit Jahren sogenannte Notbremsassistenten (vgl. Tabelle 12 und Anhang A, Maßnahme F1) in ihre Neufahrzeuge, weshalb das System eine relativ hohe Verbreitung hat (vgl. Abbildung 22). Die Systeme wurden in den letzten Jahren zunehmend erweitert, beispielsweise um ein City-Notbremssystem, das bei Geschwindigkeiten unter 30 km/h aktiv wird oder um Systeme insbesondere zur Erkennung von FußgängerInnen oder

RadfahrerInnen (Abbildung 23). Die Erkennung drohender Kollisionen mit Fahrzeugen oder ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen erfolgt mithilfe von Radar-, Laser- und/oder Kamerasensoren. Diese technischen Systeme sollen Unaufmerksamkeiten des Fahrers oder der Fahrerin dahingehend ausgleichen, dass sie bei einer Gefahrensituation das Fahrzeug selbstständig abbremsen, um eine Kollision zu vermeiden oder um die Unfallfolgen zu verringern. Die relativ neu am Markt verwendeten Lidar-Sensoren (Laser) liefern gegenüber Radarsensoren ein schärferes Bild mit besserer Auflösung. Ihre Reichweite ist mit derzeit ca. 50 Meter noch geringer. Neuere Systeme versprechen allerdings deutlich größere Reichweiten bis zu 400 Meter bei Fotoauflösung.⁴⁰

Damit ein Notbremsassistent als alternative Möglichkeit zu einem AVAS (ggf. Verzicht auf das AVAS) eingesetzt werden könnte, müsste als Grundvoraussetzung der Einbau eines derartigen Systems in jedes neu zugelassene E-Kfz verpflichtend sein. Diese Voraussetzung wäre – je nach System – für neu zugelassene Kraftfahrzeuge ab 2024 bzw. 2026 gegeben. Bereits zugelassene Fahrzeuge sind von der Regelung nicht erfasst. Zudem müsste die Erkennungsrate der Systeme umfassend sein. Sie werden kontinuierlich weiterentwickelt, weisen bei der Erkennung von drohenden Konflikten mit dem Fuß- und Radverkehr derzeit aber noch Lücken auf. Die Leistungsfähigkeit der Systeme wird regelmäßig im Rahmen des Euro NCAP-Tests⁴¹ überprüft (vgl. ADAC e. V. 2020).

Abbildung 23: Automatisches Fußgängererkennungssystem



Quelle: Bosch Mobility Solutions

5.2.2 Maßnahme F2 – Querverkehrsassistent

Ein weiteres System, welches teilweise in Assistenzpaketen integriert ist, ist der Querverkehrsassistent (vgl. Tabelle 12 und Anhang A, Maßnahme F2). Dieser dient dazu, den

⁴⁰ <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/argo-ai-lidar-autonomes-fahren-ford-vw/> (01.08.2022).

⁴¹ Euro NCAP = European New Car Assessment Programme. Gesellschaft europäischer Verkehrsministerien, Automobilclubs und Versicherungsverbände, die Neuwagentests zur Information der Verbraucher durchführt.

Fahrer bzw. die Fahrerin während des Ausparkens auf querende Fahrzeuge aufmerksam zu machen. Neben querenden Fahrzeugen kann das System auch kleinere, langsame, bewegliche Objekte wahrnehmen, beispielsweise FußgängerInnen oder RadfahrerInnen. Per Radar wird im Bereich des Fahrzeughecks gescannt, so dass auch Objekte seitlich zum Fahrzeug erfasst werden, welche der Fahrer bzw. die Fahrerin nicht einsehen kann. Erkennt das Fahrzeug ein Objekt, wird der Fahrer bzw. die Fahrerin im Fahrzeuginnenraum akustisch und visuell gewarnt. Sollte diese/r nicht reagieren, kann das Fahrzeug selbstständig einen kurzen Bremsruck erzeugen, um den Fahrer bzw. die Fahrerin etwas intensiver auf die potenzielle Gefährdung hinzuweisen.

5.2.3 Maßnahme F3 – Top View Kameras

Für Verkehrssituationen, in denen FahrerInnen schlechte Einsicht in ihre Umgebung haben, sind schon seit Jahren bei vielen Fahrzeugen Radarsysteme, teilweise gebündelt mit Kameras, im Einsatz (vgl. Tabelle 12 und Anhang A, Maßnahme F3). Vor allem in Bereich der gehobenen Fahrzeugklassen sind mittlerweile Systeme verfügbar, bei denen das gesamte Fahrzeugumfeld durch Sensoren überwacht wird. Diese Systeme tragen insbesondere auf Parkplätzen und an schlecht einsehbaren Ein- und Ausfahrten zur Erhöhung der Verkehrssicherheit bei.

Zusätzliche Sicherheit beim Rückwärtsfahren, z. B. aus einer Parklücke, bieten kombinierte Systeme, die Sensortechnik und Kameras verwenden. Als Ein- und Ausparkhilfe gibt es seit einigen Jahren bereits Rückfahrkameras in den Fahrzeugen. Über diese wird dem Fahrer bzw. die Fahrerin der Raum hinter dem Fahrzeug als Live-Bild zugeschaltet. Die Rückfahrkamera wird in der Regel mit dem Einlegen des Rückwärtsgangs aktiviert.

Inzwischen gibt es sogenannte Top View Kameras am Markt. Dabei handelt es sich um ein Rundum-Kamera-System. Dieses System kombiniert Bilder aus mindestens vier am Fahrzeug angebrachten Kameras (Heckklappe, Kühlergrill und in jedem Außenspiegel) mit Daten aus Ultraschallsensoren und generiert aus diesen Aufnahmen eine Rundum-Sicht (Surround) auf das Fahrzeug. Dabei ist sogar die Darstellung mit Blick von oben auf das Fahrzeug möglich, sodass man das Fahrzeug und alle im unmittelbaren Umfeld befindlichen Hindernisse erkennt. Das System ist überwiegend als erweiterte Einparkhilfe zu verstehen. Es wird teils aber auch bereits mit anderen FAS kombiniert.

Fahrzeuge sind bei Einparksituationen mit langsamer Geschwindigkeit unterwegs. Bei einer Nahfeldüberwachung mit Bild und Sensoren wäre zu diskutieren, ob ein AVAS eine zusätzliche Sicherheit böte oder ob ggf. in diesen Situationen auf das AVAS verzichtet werden könnte. Allerdings läge damit die Entscheidung, in kritischen Situationen zu reagieren, allein beim Fahrzeuglenkenden bzw. bei der Technik des Fahrzeugs, da ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen das Fahrzeug bestenfalls visuell wahrnehmen könnten.

Neben Ultraschallsensoren ist eine Ausstattung mit Radarsensoren möglich. Beide Sensoren können Objekte detektieren und den Fahrer bzw. die Fahrerin auf diese aufmerksam machen (vgl. Abbildung 24). Ultraschall hat jedoch den Nachteil, dass es eine stark begrenzte Reichweite (ca. 3 bis 7 m) hat, ebenso sind für die Sensoren kleine Aussparungen beispielsweise in der Front- und Heckschürze des Fahrzeuges nötig. Eine Ausstattung mit radarbasierten Systemen benötigt hingegen keine Aussparungen und die Reichweite beträgt maximal 160 bis 250 Meter.

Abbildung 24: Automatische Erkennung beweglicher Objekte



Quelle: Bosch Mobility Solutions

5.2.4 Maßnahme F4 – Spezielle Unfallpräventionssysteme – Beispiel Mobileye

Beim Unfallpräventionssystem *Mobileye* wird jede Fahrsituation des Fahrzeuges mithilfe von Kameras, hochauflösenden Karten, Radar- und Lidarsensoren (Entfernungs- und Geschwindigkeitsmessung mit Hilfe von Laserimpulsen) in Echtzeit mit einem mathematischen Modell abgeglichen (vgl. Tabelle 12 und Anhang A, Maßnahme F4). Innerhalb weniger Millisekunden analysiert *Mobileye* die verschiedenen Objekte auf der Straße, ordnet ihre Bedeutung ein und warnt den Fahrenden in Echtzeit über ein Display auf dem Armaturenbrett (vgl. Abbildung 25). Das System wird unterstützend eingesetzt, es greift nicht selbst in das Fahrgeschehen ein. Durch akustische und visuelle Signale macht es den Fahrer bzw. die Fahrerin auf potenziell drohende Gefahren aufmerksam. Bestandteil des Systems ist auch eine Kollisionswarnung für vor dem Fahrzeug befindliche RadfahrerInnen oder FußgängerInnen. Das System lässt sich laut Herstellerangaben in den meisten bereits auf dem Markt befindlichen Fahrzeugen nachrüsten. Das System wird u. a. im Zusammenhang mit der Entwicklung automatisierter bzw. autonom Fahrender Kraftfahrzeuge eingesetzt.

Abbildung 25: Funktionsweise des Mobileye



Quelle: Mobileye

5.2.5 Maßnahme F5 – Vernetzte Kommunikation zwischen VerkehrsteilnehmerInnen

Ein weiterer Ansatz, um Geräuschemissionen durch ein AVAS im Straßenverkehr zukünftig gering halten zu können, ist der Ausbau der Flottenintelligenz bei Kraftfahrzeugen und damit E-Pkw, die mit einem AVAS ausgestattet sind (vgl. Tabelle 12 und Anhang A, Maßnahme F5). Je nach Vernetzungsgrad (Car2car oder Car2Infrastructure bzw. Car2X) wären unterschiedliche Lösungsansätze denkbar:

- ▶ Bei Car2Car oder Car2Infrastructure könnten sich Fahrzeuge gegenseitig bezüglich möglicher Konfliktsituationen warnen. Die Aufmerksamkeit der FahrerInnen würde auf ein bestimmtes Ereignis gelenkt, ggf. würde ein Assistenzsystem (z. B. Notbremsassistent) zum Einsatz kommen.
- ▶ Bei Car2X könnten Fahrzeug und ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen direkt miteinander kommunizieren und so potenzielle Konfliktsituationen vorausschauend berechnet werden.

Eine Vernetzung würde beispielsweise folgende Szenarien denkbar machen:

- ▶ Fahren mehrere elektrisch angetriebene Fahrzeuge hintereinander in einer Kolonne, könnte eine Überlagerung zahlreicher unterschiedlicher Hinweistöne vermieden werden, wenn zum Beispiel lediglich das jeweils erste und letzte Fahrzeug einer Kolonne einen akustischen Warnton emittieren würden. Da die Vorgaben zur Umsetzung des AVAS einen gewissen Spielraum beim Sounddesign zulassen, könnten sich deutlich unterschiedliche Warntöne für die Fahrzeuge ergeben, da die Fahrzeughersteller ggf. markante und ihrem Fahrzeug

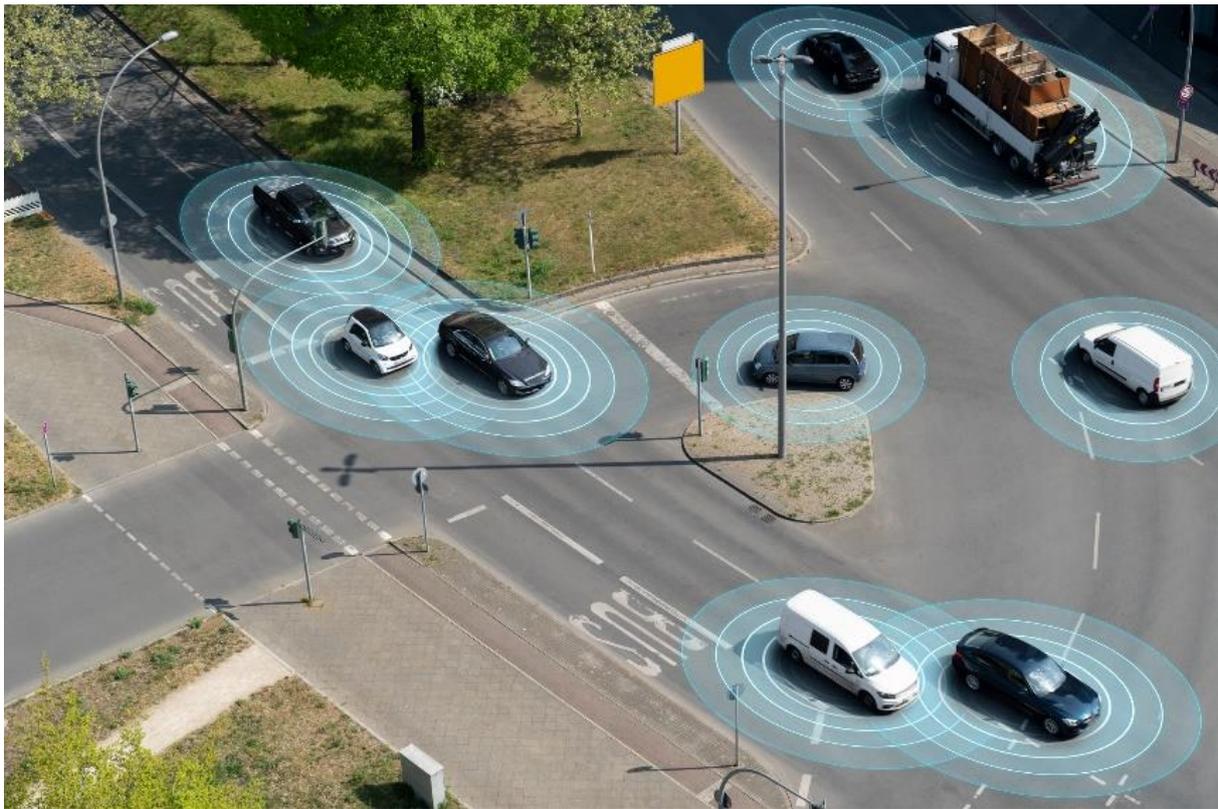
zuordenbare Töne bevorzugen (vgl. Abbildung 26). Durch die akustische Überlagerung wären Disharmonien denkbar, da es sich bei den einzelnen Geräuschen um tonale Schallereignisse handelt. Eine gezielte Steuerung bei Kolonnenfahrt könnte hier Abhilfe schaffen.

- ▶ Ein weiterer Vorteil der Flottenintelligenz besteht darin, dass sich die (Elektro-)Fahrzeuge untereinander über die Car2Car-Kommunikation bzw. Car2Infrastructure-Kommunikation vor lokalen Gefahrensituationen und Verkehrsrisiken innerhalb weniger Millisekunden warnen können. Dadurch kann die Aufmerksamkeit von FahrerInnen gezielt auf potenzielle Konflikte gerichtet werden. Für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen bzw. Infrastruktur bestehen unterschiedliche Möglichkeiten, beispielsweise über das Mobilfunknetz oder mittels der Kommunikationstechnologie pWLAN (Public WLAN). Die Fahrzeuge müssen zudem die gleichen Nachrichtenformate verwenden. Bei pWLAN handelt es sich um einen speziell entwickelten Standard für die direkte Kommunikation von Fahrzeugen untereinander über WLAN. Dieser neue Standard ist in den USA bereits verfügbar⁴², in Deutschland rüstet Volkswagen seit 2019 erste Modellreihen serienmäßig mit der pWLAN-Technologie aus.
- ▶ Bei Car2X können Fahrzeuge und ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen direkt miteinander kommunizieren, sodass bei einem Datenaustausch Konfliktsituationen vorausschauend berechnet werden können. Um diese sogenannten Car2X-Kommunikationssysteme zukünftig zu ermöglichen, wird zunächst eine flächendeckende verlässliche Abdeckung von schnellem mobilem Internet mit 5G als unerlässlicher Standard angesehen. Zudem ist es erforderlich, dass ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen einen Sender bzw. Empfänger bei sich tragen, der mit den Fahrzeugsystemen kommunizieren kann. Dies könnte beispielsweise ein Smartphone oder auch jedes andere persönliche Gerät sein (vgl. Abschnitt 5.2.1). Bei Umsetzung dieser Kommunikationstechnologie kann das AVAS nur situationsspezifisch aktiviert werden oder es kann sogar ganz darauf verzichtet werden.

Neben dem erforderlichen Ausbau von Kommunikationstechnologien für die Kommunikation der verschiedenen Elemente untereinander sind die Datenmengen, die im Rahmen der Kommunikation ausgetauscht und verarbeitet werden müssen, nicht zu unterschätzen. Die hier skizzierten Szenarien werden sicherlich noch einige Jahre Entwicklungsarbeit benötigen, zumal eine flächendeckende Marktdurchdringung ebenfalls ihre Zeit benötigt.

⁴² In den USA ist ein Gesetz in Vorbereitung, das vorschreibt, dass in einigen Jahren alle Neuwagen mit pWLAN ausgestattet werden müssen.

Abbildung 26: Prinzipielle Darstellung der intelligenten Flottenvernetzung zwischen Fahrzeugen



Quelle: www.istockphoto.com (IGphotography)

5.2.6 Maßnahme F6 – Situatives AVAS

Um die Vorteile des geräuscharmen elektrischen Antriebs trotz Einsatz eines AVAS zukünftig ausnutzen zu können, wäre eine modifizierte Anwendung des AVAS denkbar. Dabei würde das System nur bei potenziellen Gefahren aktiv warnen (vgl. Tabelle 12 und Abschnitt 6.2.3.2 sowie Anhang A, Maßnahme F6). Somit würde im derzeit gesetzlich definierten Geschwindigkeitsbereich nicht durchgehend ein Geräusch emittiert, sondern nur, wenn dies von der Fahrzeugsensorik als erforderlich erkannt würde, beispielsweise, wenn ein zu Fuß gehender die Fahrbahn überqueren möchte (vgl. Abbildung 23). Die vom Fahrzeug ausgehende Warnung des Fahrenden und des zu Fuß gehenden kann sowohl akustisch als auch visuell erfolgen. VerkehrsteilnehmerInnen in der Nähe nehmen das Fahrzeug so wahr, ohne dass das AVAS permanent Schall emittiert.

Ein Beispiel für ein solches Alternativsystem ist das von Nissan und Partnern in einem Forschungsvorhaben entwickelte System e-Vader. Das im Jahr 2015 der Öffentlichkeit vorgestellte, kameragestützte System warnte vor dem Fahrzeug befindliche FußgängerInnen und RadfahrerInnen über sechs Außenlautsprecher, wenn diese von den Kameras erkannt wurden. Dafür musste zudem ein bestimmtes Abstandsmaß unterschritten werden. Die EU hatte 2015 Forschungsgelder in Höhe von 1,8 Millionen Euro für das Projekt e-Vader zur Verfügung gestellt⁴³. Die Ergebnisse sollten ggf. bei der Erarbeitung der zukünftigen Standards eines Fahrzeuggeräusches für Elektrofahrzeuge einfließen. (VDI Verlag GmbH 2015)

⁴³ Quelle: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/e-mobilitaet/unfallschutz-sanfter-ton-warnt-fussgaenger-e-autos/> (04.02.2021).

5.2.7 Maßnahme F7 – „Fußgängerhupe“

Ebenfalls basierend auf dem zuvor erläuterten System könnte zusätzlich zur Fahrzeughupe ein Schalter (z. B. am Hebel für den Fahrtrichtungsanzeiger) oder Knopf im Fahrzeug integriert werden, den der Fahrer bzw. die Fahrerin bei potenziellen Konfliktsituationen mit dem Fuß- und Radverkehr manuell betätigt (vgl. Tabelle 12 und Abschnitt 6.2.3.1 sowie Anhang A, Maßnahme F7). Diese „Fußgängerhupe“ ist von der Funktionalität mit einer Fahrradklingel vergleichbar, die lediglich im Bedarfsfall eingesetzt wird, um in kritischen Situationen auf sich aufmerksam zu machen. Weiterhin ist die Fußgängerhupe technisch leicht umzusetzen. Eine Fußgängerhupe kommt heute bereits beispielsweise beim Opel Ampera, Renault Zoe und Renault Twizy zum Einsatz. Nachteilig ist der Fakt, dass die „Fußgängerhupe“ aktiv vom Fahrer bzw. der Fahrerin aktiviert werden muss. Dafür muss durch diesen eine kritische Situation zunächst erkannt werden. Somit besteht die Gefahr, dass nicht in jedem notwendigen Fall (aus Sicht ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen) vor dem Elektrofahrzeug gewarnt wird.

5.2.8 Maßnahme F8 – Anpassung der AVAS-Frequenzen für Blindenführhunde

Eine besondere Maßnahme zielt nur auf die Warnung der Gruppe der blinden Menschen mit Führhund ab. Dabei emittiert ein Warnsystem am Fahrzeug Töne in Frequenzbereichen, die nur für die Hunde und nicht für Menschen hörbar sind (vgl. Tabelle 12 und Anhang A, Maßnahme F8). Die Geräuscherkennung für Blindenführhunde würde eine Anpassung des Trainingsprogramms für diese erfordern, sodass diese zukünftig auch Fahrzeuge mit diesem System identifizieren können. Dies könnte unabhängig von der Antriebsart des Fahrzeugs erfolgen (vgl. Abbildung 27). In Japan werden Blindenführhunde zum Teil bereits gezielt darauf trainiert, insbesondere leise bzw. geräuschlose Fahrzeuge zu erkennen und ihre BesitzerInnen entsprechend zu warnen.

Abbildung 27: Blinder Verkehrsteilnehmer mit Führhund auf einem Fußgängerüberweg



Quelle: www.istockphoto.com (Joa_Souza)

Ähnliche Überlegungen bezüglich eines nutzergruppenspezifischen Warnsignals ließen sich für Kinder anstellen, die als besonders gefährdete Personengruppe im Straßenverkehr gelten (vgl.

Abschnitt 2.1.3). Aufgrund der alterstypischen Entwicklung und Leistungsfähigkeit des Gehörs sind Kinder in der Regel in der Lage, Töne in Frequenzen wahrzunehmen, die für Personengruppen aus höheren Altersklassen nicht (mehr) wahrnehmbar sind. Geräte, die Töne in diesen Frequenzbereichen emittieren, wurden bereits verwendet, um Jugendliche von bestimmten Plätzen fernzuhalten (Koesch et al. 2008). Denkbar wäre eine Kopplung mit Positionssignalen des Fahrzeugs, sodass diese Töne beispielsweise gezielt in Wohngebieten oder in verkehrsberuhigten Bereichen („Spielstraßen“, Z 325 StVO) eingesetzt werden. Dort fahren die Fahrzeuge im niedrigen Geschwindigkeitsbereich und Kinderspiel auf der Straße ist wahrscheinlich oder sogar zugelassen. Zudem ist die Aufmerksamkeit der Kinder an diesen Straßen aufgrund der grundsätzlich geringen Umgebungsgeräusche reduziert (vgl. Abschnitt 2.1.3). Da für die meisten älteren Personen die Töne nicht zu hören wären, wären die Schallemissionen in ihrer störenden Wirkung relativ gering.

Nachteil solch gruppenspezifischer Warntöne ist generell, dass nur eine (sehr begrenzte) Teilgruppe auf die E-Kfz hingewiesen würde. Die Wirkungen auf die Verkehrssicherheit wären entsprechend geringer einzuschätzen, als dies bei einem regulären AVAS der Fall wäre.

5.3 Nutzerbasierte Maßnahmen für eine Fahrzeug-Fußgänger-Kommunikation

Im Rahmen einer Mensch-Maschine-Kommunikation sind neben den fahrzeugseitigen Maßnahmen auch auf Seiten der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen technische Maßnahmen denkbar bzw. – je nach Ausbaustufe – Voraussetzungen zu schaffen, um eine Ergänzung (z. B. im Rahmen einer situativen Anwendung des AVAS) oder einen Ersatz eines AVAS grundsätzlich überhaupt möglich zu machen. Garay-Vega et al. empfahlen bereits im Jahr 2010, dass auf bereits vorhandene Ressourcen und Gerätschaften zurückgegriffen werden sollte, da dies leichter umzusetzen wäre und Kostenvorteile mit sich brächte. (Garay-Vega et al. 2010)

Für die Umsetzung einer Fahrzeug-Fußgänger-Kombination bietet sich insofern vor allem die Nutzung persönlicher Geräte an, die idealerweise von den NutzerInnen bereits sowieso bei sich getragen werden. Dies ist heutzutage durch die zunehmende Verbreitung und Nutzung von Smartphones und Smartdevices bzw. Wearables leichter realisierbar, die teilweise bereits seit vielen Jahren im gewerblichen Bereich zur Anwendung kommen. Für Menschen mit Behinderungen kommt überdies die Nutzung persönlicher Hilfsmittel, die für den Nachteilsausgleich der Behinderung eingesetzt werden, als Informationsträger infrage.

Für alle diese Systeme gibt es am Markt erhältliche und funktionierende Anwendungen, die oftmals bereits Schnittstellen mit vorhandenen Kommunikationstechnologien verwenden. Dazu gehören Mobilfunktechnik, WLAN, Bluetooth, Funk oder GPS. Auf diese Weise werden bereits vorhandene Netzwerke und Ressourcen effektiv genutzt. Auch Fahrzeuge sind in den letzten Jahren in ihrer technischen Entwicklung weiter fortgeschritten. Diese nutzen mittlerweile mobiles Internet und andere Datenwege zur Unterstützung des Fahrers bei seiner Fahraufgabe. Die Kommunikation zwischen VerkehrsteilnehmerInnen ist somit grundsätzlich möglich.

Im Folgenden werden die jeweiligen nutzerbasierten Geräte, die grundsätzlich im Zusammenhang mit Überlegungen zu einer AVAS-Alternative geeignet erscheinen, kurz erläutert.

5.3.1 Definition: Wearables und Hilfsmittel

Wearables sind Computertechnologien, die man am Körper trägt. In der Regel soll der Nutzende in einer Tätigkeit in der realen Welt durch ein Wearable unterstützt werden. Dies erfolgt beispielsweise durch Ausgabe von Informationen, eine Datenaufzeichnung (z. B. beim Sport) oder Anweisungen (z. B. Navigation). Beispiele für Technologien sind intelligente Armbänder, spezielle Kleidungsstücke mit Zusatzfunktionen, Smartings, Smartwatches und Datenbrillen. Manche der Geräte beherrschen Augmented Reality (AR). Dies ist eine mithilfe von Computern erweiterte Wirklichkeit. Grundlage bei der Verarbeitung sind Bilder der Außenwelt. Diese werden über ein Smartphone oder eine Datenbrille angezeigt, in welche z. B. Texte oder Bilder eingeblendet werden (vgl. Gabler Wirtschaftslexikon 2020).

Wearables eignen sich demnach grundsätzlich sehr gut für Sender-Empfänger-Modelle im Zusammenhang mit Hinweisen auf elektrisch angetriebene Fahrzeuge. In den letzten Jahren erfreuten sich Wearables großer Beliebtheit und haben breite Anwendung im privaten Anwenderbereich gefunden. Allein im Jahr 2019 wurden schätzungsweise 337 Mio. Wearables weltweit verkauft, Tendenz stark ansteigend (Prognose für das Jahr 2024: 527 Mio. Stück, Statista GmbH 2020). Dies zeigt eine hohe Akzeptanz bei den NutzerInnen, derartige Werkzeuge zu benutzen.

„Hilfsmittel“ ist ein in der Hilfsmittel-Richtlinie (HilfsM-RL) definierter Begriff für ein Werkzeug, welches Menschen mit Behinderungen u. a. zum Nachteilsausgleich ihrer Einschränkung dienen soll. So benutzen sehgeschädigte Menschen beispielsweise Langstöcke oder verschiedene Sensortechniken, um Hindernisse frühzeitig erkennen zu können oder Menschen mit Hörbehinderungen nutzen Hörgeräte, um ihr reduziertes Hörvermögen auszugleichen. Da die AnwenderInnen das Hilfsmittel in der Regel bei sich tragen, bietet es sich grundsätzlich auch als erweitertes Kommunikationsmittel im Verkehrsbereich an.

Die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung haben auch auf dem Markt für Hilfsmittel Einzug gehalten. Teilweise verschwinden die Grenzen zwischen Hilfsmittel und Wearable daher bereits.

5.3.2 Maßnahme N1 – Hörgeräte bzw. Hearables

Hörgeräte dienen in der Regel als Kompensationsmaßnahme für einen teilweisen Hörverlust. Die Geräte haben sich in den letzten Jahren technisch stark weiterentwickelt. Digitale Technologien und Vernetzung von Geräten untereinander haben Einzug gehalten. Zudem sind die Hörgeräte sehr klein geworden, sodass sie nahezu unauffällig getragen werden können. Dies beugt einer Stigmatisierung des Nutzenden vor. Durch die technischen Erweiterungen gibt es Ansätze, Hörgeräte über die Anwendung als Hilfsmittel hinaus in einem breiteren Markt (als Hearable⁴⁴) zu etablieren (vgl. Wochnik 2017). Dies ist bisher (Stand Juni 2020) allerdings nicht gelungen. In einer breiteren Anwendung haben sich jedoch Kopfhörer als Hearable bereits etabliert. Hier bestehen teils Überschneidungen hinsichtlich der Vernetzung mit anderen Geräten und Schnittstellen sowie teils auch der Funktionen (z. B. aktive Geräuscherdrückung bestimmter Frequenzbereiche).

Die digitalen Funktionen von modernen Hörgeräten bieten nicht nur die Möglichkeit, Hörverluste zu kompensieren. Sie bieten durch umfangreiche Anpassungsmöglichkeiten die

⁴⁴ Hearable als Wortbildungsform aus dem englischen „to hear“ (hören) und Wearable (vgl. Abschnitt 5.3.1).

Option, das Hören individuell an die Umgebung anzupassen oder sich gezielt mit weiteren Geräten zu verbinden. So können angepasste Störgeräuschfilter gezielt dazu genutzt werden, bestimmte Frequenzen (z. B. Hintergrundgeräusche in einem Restaurant) zu reduzieren und andere Frequenzen (z. B. Stimme einer gegenüberstehenden Person) damit wahrnehmbarer zu machen (vgl. Tabelle 13 und Anhang A, Maßnahme N1). Über Schnittstellenkommunikation lassen sich Hörgeräte bereits heute mit Telefon, Smartphone oder Fernseher verbinden und in ein Smart Home einbinden. So ist es beispielsweise möglich, bei Betätigung der Türklingel einen entsprechenden Hinweis auf das Hörgerät zu geben. Über Funktionserweiterungen der Vernetzung im städtischen Umfeld (Stichwort „smarte Stadt“) wird ebenfalls nachgedacht, beispielsweise eine situationsspezifische, direkte Aufschaltung von Ansagediensten an Bahnhöfen oder Flughäfen direkt auf das Hörgerät (vgl. Wochnik 2017).

Die Kosten für die Geräte werden in der Regel in der Grundausstattung von den Krankenkassen im Rahmen der Hilfsmittelversorgung übernommen. Bei Zusatzausstattungen (Vernetzung) wird aber von Problemen bei der Kostenerstattung durch die Krankenkasse berichtet (vgl. Wochnik 2017). Zudem können zu viele Funktionen die AnwenderInnen – häufig gerade auch ältere Menschen – überfordern.

Auf die Verkehrsteilnahme im Zusammenhang mit E-Pkw übertragen wären somit zwei Szenarien denkbar:

- ▶ Geräusche eines AVAS könnten mit einem passenden Filter gezielt verstärkt werden, um ein AVAS insbesondere für schwerhörige Menschen besser wahrnehmbar zu machen und um Maskierungseffekte zu verringern oder zu vermeiden. Solche Filter lassen sich bereits ortsbasiert (per GPS) automatisiert schalten.
- ▶ Als Ersatz für ein AVAS könnten gezielt Warnhinweise durch das Hörgerät gegeben werden, wenn sich ein E-Pkw in der Nähe eines Nutzers befindet. Dafür wäre allerdings ein geeigneter Sender im Fahrzeug erforderlich, der mit dem Empfänger im Hörgerät kommunizieren kann.

Entsprechende Funktionen wären beispielsweise auch auf Kopfhörer anwendbar, die heutzutage zunehmend kabellos betrieben werden (in der Regel Bluetooth-Schnittstelle). Bezüglich der Benutzung von Kopfhörern im Straßenverkehr wird bezüglich der Verkehrssicherheit allerdings moniert, dass diese grundsätzlich zu einer schlechteren Wahrnehmung des Verkehrsgeschehens beitragen (Paridon und Springer 2012). Eine Aufschaltung eines Warngeräusches speziell bei leisen Fahrzeugen wäre demnach wenig zielführend. Im Gegensatz dazu verbessern Hörgeräte das Hörempfinden des Nutzers generell und erzielen somit einen umfänglicheren Nutzen.

5.3.3 Maßnahmen N2 bis N4 – Digitale Brillen als persönliches Hilfsmittel

Auch bei den Brillen⁴⁵ gab es in den letzten Jahren Digitalisierungsprozesse. Digitale Brillen gibt es sowohl als Hilfsmittel zum Ausgleich sensorischer Behinderungen als auch als unterstützendes Werkzeug, z. B. in Produktions- und Logistikprozessen.

⁴⁵ Die hier vorgestellten Hilfsmittel nutzen teilweise Kameras, die an einem Brillengestell befestigt sind und Bilder aus der Umgebung analysieren und die Informationen dem Nutzer zugänglich machen. Sie sind daher keine Brille im eigentlichen Sinne. Der Einfachheit halber wird im folgenden Abschnitt der Begriff „Brille“ für alle Ausführungsformen verwendet.

Menschen mit Sehbehinderungen können durch eine Sehhilfe (z. B. Brille) den Verlust der Sehfähigkeit zum Teil gut kompensieren. Wie bei den Hörgeräten haben auch in diesem Bereich Digitalisierung und Vernetzung mit anderen Geräten Einzug gehalten. Bei der technischen Umsetzung der Brillen gibt es unterschiedliche Ansätze, je nach Zielgruppe.

5.3.3.1 Maßnahme N2 – Brille (Kamera)

Digitale Brillen, die als Hilfsmittel zum Einsatz kommen, verfügen alle über eine oder mehrere hochauflösende Kameras, mit denen die Umgebung erfasst wird. Die Kameras sind am Brillengestell angebracht oder in dieses integriert. Bei einigen Brillen nehmen die Kameras das Live-Bild der Umgebung auf und übertragen es auf in die Brille integrierte OLED-Bildschirme (vgl. Tabelle 13 und Anhang A, Beispiel N2). Um die Brille nutzen zu können, muss demnach eine Restsehfähigkeit vorhanden sein. Die AnwenderInnen können das Bild individuell und situationsspezifisch anpassen (z. B. Kontrast, Helligkeit und Vergrößerungsstufe). Über eine Datenverbindung kann beispielsweise auch das Bild eines Fernsehgerätes auf den Bildschirmen wiedergegeben werden.

5.3.3.2 Maßnahme N3 – Datenbrille (Kamera)

Andere Brillenmodelle nehmen über die Kamera die Umgebung auf und analysieren das Bild. Die Kamera unterstützt die AnwenderInnen beispielsweise bei der Personenerkennung, der Produktinformation (über den Barcode) oder beim Lesen. Die durch die Kamera erfassten Informationen werden über einen integrierten Lautsprecher oder über Bluetooth auf einen Kopfhörer ausgegeben (vgl. Tabelle 13 und Anhang A, Maßnahme N3). Das Gerät ist daher auch für blinde Menschen geeignet, die keine Restsehfähigkeit mehr besitzen.

Hinsichtlich der Verkehrsteilnahme im Zusammenhang mit E-Pkw ergeben sich folgende Vorteile und Möglichkeiten:

- ▶ Durch eine verbesserte Sehfähigkeit wird die Sicherheit des Nutzenden bei der Teilnahme am Straßenverkehr generell erhöht. Die Bedeutung akustischer Signale für die Orientierung nimmt ab.
- ▶ Es wären grundsätzlich Warnhinweise für NutzerInnen der elektronischen Sehhilfen denkbar, sobald sich Ihnen ein Fahrzeug nähert bzw. ein potenzieller Konflikt, beispielsweise beim Überqueren einer Fahrbahn, droht. Die Funktionsweise wäre prinzipiell mit einem Fahrerassistenzsystem in einem Fahrzeug vergleichbar. Alternativ müssten Fahrzeuge mit einem Sender ausgestattet werden, um gezielt Signale an die Brille senden zu können (z. B. E-Kfz). Eine geeignete Schnittstelle für den Datenaustausch zwischen Brille und Fahrzeug ist Voraussetzung.

5.3.3.3 Maßnahme N4 – Augmented Reality-Brille

Bereits seit einigen Jahren werden Augmented Reality-Brillen (AR-Brillen) in der Produktions- und Fertigungstechnik oder im Servicebereich (Wartung) verwendet (vgl. Tabelle 13 und Anhang A, Maßnahme N4). Mithilfe dieser Brillen werden AnwenderInnen kontextbezogene Informationen über die Umgebung gegeben. Diese werden in das Live-Bild der Umgebung, welches durch die Brille zu sehen ist, als Text eingeblendet. Je nach Modell oder Programmierung ist zusätzlich eine Sprachausgabe möglich. Bei den Brillen handelt es sich in der Regel um einen Mini-Computer.

2013 startete Google mit den Google Glasses einen ersten Versuch, derartige Brillen auf einem breiteren Anwendermarkt zu etablieren, scheiterte aber mit dem Versuch zunächst. Anschließend hat man sich auf den professionellen Anwendermarkt konzentriert. Über die Brille konnte man sich Navigationsinfos und ortsbasierte Informationen anzeigen lassen, z. B. zu Restaurants oder Sehenswürdigkeiten im direkten Umfeld.⁴⁶ AR-Brillen spielen bis heute im privaten Anwenderbereich überwiegend in der Spieleszene eine Rolle. Gerüchten zufolge will Apple 2021 einen Anlauf wagen, AR-Brillen in einem breiteren Markt zu etablieren. Dabei ist daran gedacht, dass in die Brille auch korrigierte Gläser eingesetzt werden können, wodurch der Nutzerkreis bzw. die Akzeptanz gesteigert werden könnte. Als sicher gilt, dass eine Schnittstelle zum Smartphone für den Betrieb zwingend erforderlich sein wird (Computerbild Digital GmbH 2020).

Über AR-Brillen ließe sich ein entsprechender Hinweis einblenden oder per Sprachausgabe ausgeben, wenn ein Fahrzeug (allgemeine Warnung) oder ein E-Pkw (spezielle Warnung) in der Nähe eines ungeschützten Verkehrsteilnehmers wäre. Die Kommunikation würde allerdings in der Regel über das Smartphone als Schnittstelle (Sender oder Empfänger) laufen. Dies würde demnach eine entsprechende Sende- oder Empfangseinheit an den Fahrzeugen voraussetzen.

5.3.4 Maßnahmen N5 bis N6 – Smartwatches, Armbänder und Gürtel

5.3.4.1 Maßnahme N5 – Smartwatch

Smartwatches (digitale Armbanduhren) haben sich in den letzten Jahren als Wearable relativ weit verbreitet (vgl. Tabelle 13 und Anhang A, Maßnahme N5). Verschiedene Sensoren erfassen Daten über den Nutzenden selbst oder aus der Umwelt, z. B. über Körperfunktionen (Herzfrequenz) oder Umgebungslautstärke. Die Datenuhren sind in der Regel internetfähig, entweder über eine eigenständige Verbindung (Mobilfunk, WLAN) oder über ein gekoppeltes Smartphone. Die Kommunikation mit dem Nutzenden erfolgt über visuelle Darstellung auf dem Display der Uhr sowie über akustische und taktile Signale (Vibration). Smartwatches lassen sich über die Installation von Applikationen in ihrer Funktion erweitern und individuell anpassen.

Auch Smartwatches könnten Hinweise über E-Pkw in der Nähe eines Nutzenden geben. Eine passende Sende- oder Empfangseinheit an den Fahrzeugen wäre für die Kommunikation erforderlich.

5.3.4.2 Maßnahme N6 – Taktiles Armband oder Brustgurt

Das Gerät VibroTac (vgl. Tabelle 13 und Anhang A, Maßnahme N6) wurde ursprünglich als Armband zur Unterstützung sehgeschädigter Menschen entwickelt. Im Armband sind mehrere Vibrationselemente verbaut, über die der Nutzende Richtungs- und Entfernungshinweise erhält. Die Hinweise werden durch unterschiedliche Vibrationsmuster dargestellt. Über eine Schnittstelle zum Smartphone kann das Armband GPS-unterstützte Navigationsdaten darstellen. Der Nutzende erhält Navigationshinweise über die Vibrationselemente mit entsprechenden taktilen Mustern. Es lassen sich auch in einem Computersystem hinterlegte Informationen darstellen, sodass ein Nutzender gezielt zu einem Objekt geführt werden kann.

Laut Hersteller wurde der Anwendungsbereich inzwischen erweitert. So könnten beispielsweise Arbeiter im Gleisbereich mittels besonderer Vibrationsmuster über einen sich nähernden Zug

⁴⁶ Letztendlich die Daten, die über Google Maps über ein Smartphone verfügbar sind.

gewarnt werden, wenn entsprechende ortsbasierte Daten (über die Position des Nutzenden und des Zuges) vorliegen. Dementsprechend wären auch gezielte Hinweise über sich nähernde oder in der Nähe befindliche E-Pkw an AnwenderInnen denkbar.

5.3.4.3 Maßnahme N7 – Navigationsgürtel

Eine andere Form der Vermittlung von situationsspezifischen Hinweisen besteht in der Benutzung eines Navigationsgürtels (vgl. Tabelle 13 und Anhang A, Maßnahme N7). Der hier beschriebene Gürtel („naviGürtel“ der Firma FeelSpace) ist primär als ergänzendes Hilfsmittel für sehgeschädigte Menschen entwickelt worden. Er kann richtungsbasierte Informationen, z. B. im Rahmen der Navigation, abgeben. Der Gürtel ist mit 16 Vibrationselementen ausgestattet, die gleichmäßig auf den Ring verteilt sind. Der Gürtel wird vom Träger so ausgerichtet, dass die Front des Gürtels mit der Körpermitte nach vorn gerichtet übereinstimmt.

Über Kopplung mit einem Smartphone kann auf Navigationsfunktionen zugegriffen werden. Über den Gürtel können anschließend die Richtungsinformationen im Rahmen der Navigation über Vibration taktil angezeigt werden. Alternativ kann eine Himmelsrichtung fest vorgegeben werden, z. B. Norden. Bei einer Abweichung von der vorgegebenen Richtung vibriert das nach Norden ausgerichtete Element am Gürtel, sodass die Richtung korrigiert werden kann.

Um Hinweise über E-Pkw an den Nutzenden zu geben, müsste im Fahrzeug ein Sender verbaut sein. Dieser würde mit dem Empfangsgerät (Smartphone) kommunizieren (z. B. GPS in Kombination mit Bluetooth) und bei Bedarf würde über den Gürtel ein taktiler Hinweis an den Nutzenden gesendet. Dafür müsste ein eindeutig erkennbares Vibrationsmuster programmiert werden.

5.3.5 Maßnahme N8 bis N10 – Zusatzgeräte für Langstöcke

Ein Langstock ist ein von blinden und stark sehbehinderten Menschen in der Regel genutztes Hilfsmittel. Er unterstützt die Orientierung und soll frühzeitig vor Gefahren bzw. Hindernissen warnen. Mit dem Langstock kann allerdings nur der Bodenbereich unmittelbar vor dem Nutzenden abgetastet werden. Es lassen sich daher nur bodennahe Hindernisse (Unterkante bis ca. maximal 15 cm über dem Boden) sicher und frühzeitig erfassen.

Bei sehgeschädigten Menschen haben Langstöcke als Orientierungs- und Mobilitätshilfe eine weite Verbreitung. Bei Menschen mit Sehbehinderung wird die Verwendung eines Langstocks aus Angst vor einer Stigmatisierung nicht selten möglichst lang hinausgezögert. Um die Hinderniserkennung in Laufrichtung zu verbessern und damit vor allem den Oberkörper und Kopf vor Kollisionen und Verletzungen besser zu schützen, werden am Markt verschiedene Zusatzgeräte angeboten. Diese sollen den Langstock nicht ersetzen, sondern die Hinderniserkennung erweitern und somit für zusätzliche Sicherheit sorgen.

Die Kosten für einen Langstock werden als anerkanntes Hilfsmittel von den Krankenkassen übernommen. Für die Zusatzgeräte zur erweiterten Hinderniserkennung gilt dies in vielen Fällen, ist jedoch im Einzelfall zu prüfen. Dazu wird ein zeitlich begrenztes Mobilitätstraining gewährt, bei welchem mit einem Orientierungs- und Mobilitätslehrer auch der Umgang mit dem Hilfsmittel geübt wird.

Die Funktionsweise der Erkennung basiert auf unterschiedlichen Sensortechnologien, z. B. Ultraschall oder Laser. Die Geräte werden in unterschiedlicher Ausführung angeboten, z. B. als

- ▶ Zusatzgerät, welches am Griff des Langstocks befestigt wird (vgl. Tabelle 13 und Anhang A, Maßnahme N8),
- ▶ als eigenständiges Gerät zum Umhängen (vgl. Tabelle 13 und Anhang A, Maßnahme N9) oder
- ▶ als Armband (vgl. Tabelle 13 und Anhang A, Maßnahme N10).

Prinzipiell funktionieren alle diese Geräte auf dieselbe Art und Weise. Per Lasertechnologie oder Ultraschall wird die Umgebung in Richtung des Signals abgetastet. Die Reichweite beträgt dabei bis zu 5 Metern. Wird vom Signal ein Hindernis erkannt, meldet der Sensor dies an die AnwenderInnen zurück. Dabei wird in der Regel eine taktile Rückmeldung gegeben. In Einzelfällen kann zusätzlich ein akustisches Signal ausgegeben werden. Teilweise lassen sich die Geräte mit einem Smartphone koppeln, sodass zusätzliche Funktionen möglich sind, beispielsweise taktile Hinweise im Zusammenhang mit der Navigation (vgl. der im Abschnitt 5.3.4 genannten Geräte).

Die Abtast-Technologien arbeiten grundsätzlich nur zweidimensional (in Abstrahlrichtung) und haben eine relativ geringe Reichweite. Zudem dienen die Geräte vor allem dazu, statische Hindernisse zu erkennen. Die bisher verfügbare Hinderniserkennung alleine wäre also keine Hilfe, um E-Pkw im Verkehr sicher identifizieren zu können. Hierfür wäre eine Vernetzung der Geräte mit dem Fahrzeug erforderlich. Die Geräte selber sehen hierfür keine Schnittstelle vor, lassen sich aber teilweise mit dem Smartphone koppeln. Dieses könnte dann als Empfangseinheit dienen. Die Fahrzeuge müssten allerdings mit einer Sendeeinheit ausgestattet werden. Ein vom Empfänger registriertes Signal könnte dann über das Gerät als taktiles Warnsignal ausgegeben werden. Dieses müsste sich im Idealfall von den üblichen Warnsignalen eindeutig unterscheiden.

5.3.6 Maßnahmen N11 bis N12 – Anwendungen für Navigationsdienste

Navigationsdienste gewinnen durch Digitalisierung und Verfügbarkeit von mobilen Geräten für die Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien zunehmend an Bedeutung. Die Dienste werden dabei zunehmend auch mit weiteren Informationen über die Umgebung verknüpft. Neben Dienstleistungen für die allgemeine Anwendung werden immer wieder auch spezielle Anwendungen für Menschen mit Behinderung entwickelt.

5.3.6.1 Maßnahme N11 – Spezielle Warn-App

Mit der App „NavTrain“ wurde vor einigen Jahren in Österreich unter Beteiligung der Österreichischen Bundesbahn (ÖBB) eine App entwickelt, die FahrerInnen bei der Annäherung an einen Bahnübergang auf mögliche Gefahrensituationen hinweisen sollte (vgl. Tabelle 13 und Anhang A, Maßnahme N11). Die Anwendung wurde allerdings nach dem Test in einem Pilotversuch nicht weiterentwickelt, da einige rechtliche, technische und verkehrspsychologische Fragen nicht abschließend beantwortet werden konnten (vgl. Kotrba 2012).

Anlass für die Entwicklung waren die oftmals schweren Unfallfolgen bei Unfällen zwischen Zügen und Kraftfahrzeugen an Bahnübergängen der Eisenbahn. Die Applikation war in das Navigationsgerät im Fahrzeug integriert oder als App auf dem Smartphone verfügbar. Das Ziel war die Steigerung der Aufmerksamkeit von VerkehrsteilnehmerInnen an Bahnübergängen. Die

Anwendung wurde nicht als Ersatz für die Sicherung von Bahnübergängen gesehen, sondern als ergänzendes Warnsystem.

Auf dem Endgerät haben NutzerInnen bei der Annäherung an einen Bahnübergang zunächst eine Basiswarnung erhalten. Dabei wurden visuelle und akustische Signale ausgegeben. Als weitere Ausbaustufe wurde eine Gefahrenwarnung vorgesehen. Dabei wurde über ein Hintergrundsystem die Position des Bahnübergangs mit den Zugbewegungen abgeglichen. Entsprechend enthielten NutzerInnen eine Statusmeldung über den Bahnübergang, z. B. „Schranke geschlossen“, um frühzeitig auf ein notwendiges Anhalten vor dem Bahnübergang aufmerksam gemacht zu werden. Die Datenübertragung wurde über (den damals aktuellen) Mobilfunkstandard 3G abgewickelt. Untersucht wurde auch eine Datenübertragung per Traffic Message Channel (TMC), über den Verkehrsinformationen an Navigationsgeräte gesendet werden. Dieser Kanal hatte sich allerdings als nicht leistungsfähig genug für die Übertragung der erforderlichen Datenmengen (250 bis 500 Meldungen je Minute) erwiesen.

Analog der App „NavTrain“ wäre eine Applikation denkbar, welche die VerkehrsteilnehmerInnen über ein persönliches technisches Gerät (z. B. Smartphone, Smartwatch) speziell auf in der Nähe befindliche E-Pkw hinweist.

5.3.6.2 Maßnahme N12 – Smartphone-Applikation bzw. Handsender – Beispiel Loc-ID

Im Rahmen einer Kommunikation zwischen E-Pkw und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen wäre es denkbar, dass die eine oder andere Gruppe mit einem Sender ausgestattet würden. Auf Basis des aktuellen Entwicklungsstandes kommt hierfür allerdings vor allem Bluetooth infrage. Ultraschall (ca. max. 5 Meter) oder RFID (ca. 10 Meter mit passivem Transponder) haben keine ausreichenden Reichweiten für eine verlässliche Anwendung in diesem Zusammenhang. Bei RFID wäre mit einem aktiven Transponder eine Reichweite von bis zu 100 m möglich. Aktive Transponder erfordern allerdings eine eigene Energieversorgung. Dies erschwert die Akzeptanz und Handhabbarkeit. Die Reichweite für energiesparende Bluetooth-Low-Energy-Anwendungen (Bluetooth LE) beträgt allerdings derzeit nur 10 bis 40 Meter. Insofern stellt die Reichweite der unterschiedlichen Funkprotokolle ein Hindernis für adäquate Lösungsansätze dar.

Für sehgeschädigte Menschen gibt es an Lichtsignalanlagen spezielle Zusatzeinrichtungen, die akustische und taktile Signale geben. Diese sollen das Auffinden des Lichtsignalastes erleichtern und zeigen zudem die Grünphase zum Überqueren der Fahrbahn an. Die akustischen Signale können wegen der Schallemissionen zu Zielkonflikten, beispielsweise mit Anwohnenden, führen.

Um diesen Zielkonflikt aufzulösen, hat einer der Hersteller von solchen Zusatzeinrichtungen eine Technik entwickelt, welche die für die Orientierung sehgeschädigter Menschen wichtigen Geräusche nach Bedarf in der Lautstärke regelt (vgl. Tabelle 13 und Abschnitt 6.2.3.3 sowie Anhang A, Maßnahme N12). In den Lichtsignalanlagen wird dafür eine Empfangseinheit eingebaut. Das Smartphone bzw. das Handgerät fungieren als Sendeeinheit. Nähert sich ein Nutzender einer entsprechend ausgestatteten Lichtsignalanlage, wird der Pegel des Orientierungssignals⁴⁷ angehoben. Die Kommunikation zwischen Sender und Empfangseinheit erfolgt über Bluetooth. Die Reichweite der Sender beträgt maximal 100 Meter. Für die

⁴⁷ Gepulstes Signal, das kontinuierlich ertönt und das Auffinden des Lichtsignalastes erleichtern soll.

Anpassung des Signals kann innerhalb dieses Radius in einen Nah- und Fernbereich unterschieden werden. Inzwischen sind in mehreren Städten in Deutschland Lichtsignalanlagen mit der Empfangseinheit ausgerüstet.

Der Funktionsumfang der Applikation bzw. des Handgerätes wurde inzwischen erweitert. In einem Pilotversuch wird derzeit (Juni 2020) in Halle an der Saale eine Anwendung im ÖPNV getestet. Dabei wurde die Empfangseinheit in den Straßenbahnen verbaut. Wird bei der Einfahrt der Straßenbahn in eine Haltestelle ein aktivierter Sender erkannt, erfolgt beim Öffnen der Türen eine Sprachausgabe mit Informationen über Liniennummer und Fahrtziel der Straßenbahn. Wird kein Sender erkannt, wird keine akustische Information ausgegeben.

Die Schnittstelle des Systems ist offengelegt und dafür frei für eine Erweiterung von Applikationen, die auf das System aufsetzen möchten. Insofern wäre eine Erweiterung um eine Hinweisfunktion auf E-Pkw denkbar. Dafür müssten die Fahrzeuge allerdings mit einer entsprechenden Empfangseinheit ausgestattet werden.

5.4 Begleitende Maßnahmen

5.4.1 Maßnahme B1 – Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit an Hauptverkehrsstraßen

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit innerhalb geschlossener Ortschaften beträgt in Deutschland 50 km/h (vgl. § 3 Abs. 3 Nr. 1 StVO). Im Nebennetz bzw. Wohngebieten wurde durch die Ausweisung von Tempo 30-Zonen bereits großflächig eine niedrigere Geschwindigkeit angeordnet. An Hauptverkehrsstraßen sind Ausnahmen von der Regelgeschwindigkeit 50 km/h im Einzelfall gesondert zu begründen. Aus Gründen des Umweltschutzes sowie der Verkehrssicherheit wird eine grundsätzliche Einführung von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen seit einigen Jahren diskutiert (vgl. Tabelle 14 und Anhang A, Maßnahme B1).

Verschiedene Studien haben die Auswirkungen von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen untersucht (Heinrichs et al. 2016; LK Argus GmbH und VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH 2013; Rüttener 2016). Im Zusammenhang mit der Wahrnehmung von E-Pkw sind insbesondere die Aspekte Lärminderung und Verkehrssicherheit interessant. So hat sich bezüglich der Schallemissionen gezeigt, dass der Mittelungspegel um etwa 2 bis 3 dB(A) abnimmt, zudem treten deutlich geringere Maximalpegel und Pegelschwankungen auf. Hinsichtlich der Verkehrssicherheit lässt sich feststellen, dass sich der Anhalteweg eines Pkw bei Tempo 30 auf ca. 13 Meter etwa halbiert. Zudem nimmt die Unfallzahl und die Unfallschwere bei niedrigeren Geschwindigkeiten in der Regel ab. FahrerInnen nehmen ihre Umwelt bei den geringeren Geschwindigkeiten besser wahr. Daher können sie früher auf Ereignisse reagieren (vgl. Heinrichs et al. 2016, S. 16).

Eine Verringerung der Geschwindigkeiten an den Hauptverkehrsstraßen auf Tempo 30 hätte demnach im Zusammenhang mit der Wahrnehmung von E-Pkw zwei nennenswerte Vorteile:

- FahrerInnen sind aufmerksamer für Ereignisse am Fahrbahnrand, z. B. hinsichtlich der Wahrnehmung von überquerungswilligen FußgängerInnen.⁴⁸ Für den Fuß- und Radverkehr

⁴⁸ Dabei ist grundsätzlich davon auszugehen, dass ausreichende (regelkonforme) Sichtbeziehungen für die VerkehrsteilnehmerInnen bestehen.

wird der Kraftfahrzeugverkehr „berechenbarer“, da alles langsamer abläuft. Das Risiko eines Verkehrsunfalls nimmt tendenziell ab. Falls es zu einem Unfall käme, wäre zumindest mit geringeren Unfallfolgen zu rechnen.

- ▶ Auch für Fahrerassistenzsysteme, z. B. Notbremsassistenten, wären kritische Situationen mit höherer Sicherheit zu erkennen.
- ▶ Der Verkehr insgesamt wird leiser. Damit werden einzelne Schallereignisse besser wahrnehmbar. Dies gilt sowohl für leise Fahrzeuge generell als auch für leise E-Kfz, die mit einem AVAS ausgerüstet wären. Die Gefahr für Maskierungseffekte infolge hoher Umgebungsgeräusche nimmt entsprechend ab.

5.4.2 Maßnahme B2 – Kampagnen zur Verkehrsaufklärung

Durch die Verkehrsteilnahme geräuscharmer E-Pkw werden erhöhte Risiken für die Verkehrssicherheit für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen im Allgemeinen und für bestimmte Personengruppen, z. B. sehgeschädigte Menschen im Besonderen, gesehen. Als begleitende Maßnahme zur Sensibilisierung der FahrerInnen von E-Kfz, aber auch aller VerkehrsteilnehmerInnen, sind zielgerichtete Kampagnen denkbar. Diese könnten die potenziellen Risiken thematisieren, aufklären und Verhaltensanweisungen darstellen. Verschiedene Wirkungsmessungen dokumentieren unter bestimmten Voraussetzungen einen Effekt derartiger Maßnahmen zur Verkehrserziehung und Verkehrsaufklärung (vgl. Utzmann 2008). Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass die Methoden der Vermittlung der Inhalte solcher Kampagnen regelmäßig an aktuelle Medienangebote anzupassen sind, um eine große Reichweite zu erreichen. (Duckwitz et al. 2020)

Das österreichische Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) startete im Jahr 2015 anlässlich des Internationalen Tags der Sehbehinderung in Kooperation mit Verbandsvertretern der Menschen mit Sehbeeinträchtigungen sowie aus dem Automobilsektor eine Kampagne, die sich an die FahrerInnen von E-Pkw richtete. Die Kampagne sollte auf die Bedürfnisse sehgeschädigter VerkehrsteilnehmerInnen aufmerksam machen (vgl. Tabelle 14 und Anhang A, Maßnahme B2). Die Kampagne wurde seinerzeit insbesondere deshalb durchgeführt, weil die Verordnung über die Ausrüstung von E-Pkw mit einem AVAS erst ab dem Jahr 2019 griff (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) 05.06.2015).

5.5 Vergleich und Bewertung unterschiedlicher Maßnahmen

In Tabelle 12, Tabelle 13 und Tabelle 14 wurden die zuvor vorgestellten Maßnahmen vergleichend gegenübergestellt und im Hinblick auf folgende Kriterien bewertet:

- ▶ Ist die Maßnahme als **sinnvolle Ergänzung zum heutigen AVAS** denkbar?
- ▶ Hat die Maßnahme **Potenzial** das derzeitige **AVAS** zu **ersetzen**?
- ▶ Wie ist die Akzeptanz aus Sicht der Systemanwendenden in Bezug auf das System als AVAS-Ersatz einzuschätzen?
- ▶ Ist die Maßnahme bereits auf dem **Markt verfügbar**?

► Wie sind die **Kosten** für die Maßnahme zu bewerten?

Die Bewertung und Einschätzung der unterschiedlichen Kriterien basiert überwiegend auf den in Anhang A dargestellten Datenblättern.

Tabelle 12: Bewertung der fahrzeugtechnischen Maßnahmen

Nr.	Kategorie	Maßnahme	Kommunikation	Sinnvolle Ergänzung zu AVAS	Potenzial für AVAS-Ersatz ⁴⁹	Akzeptanz als AVAS-Ersatz ⁵⁰	Marktreife	Kosten
F1	Fahrerassistenzsystem	Notbremsassistent	einseitig					
F2	Fahrerassistenzsystem	Querverkehrsassistent	einseitig					
F3	Fahrerassistenzsystem	Top View Kameras	einseitig					
F4	Fahrerassistenzsystem	Spezielle Unfallpräventionssysteme, z. B. Mobileye	einseitig					
F5	Fahrerassistenzsystem	Vernetzte Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmenden	zweiseitig					
F6	Fahrerassistenzsystem	Situatives AVAS	zweiseitig					
F7	Fahrerassistenzsystem	„Fußgängerhupe“	einseitig	nicht gegeben				
F8	Fahrerassistenzsystem	Anpassung der AVAS-Frequenzen für Blindenführhunde	einseitig	nicht gegeben				

Quelle: Eigene Darstellung

⁴⁹ Der Fokus liegt hier auf hochautomatisierten Systemen, die in der Regel kein aktives Eingreifen des Fahrzeugführenden erforderlich machen.

⁵⁰ Aus Sicht der Fahrzeugführenden.

Tabelle 13: Bewertung der nutzerbasierten Maßnahmen

Nr.	Kategorie	Maßnahme	Kommunikation	Sinnvolle Ergänzung zu AVAS	Potenzial für AVAS-Ersatz	Akzeptanz als AVAS-Ersatz ⁵¹	Marktreife	Kosten
N1	Nutzerbasierte Maßnahme	Hörgerät bzw. Hearables	einseitig					
N2	Nutzerbasierte Maßnahme	Brille (Kamera)	einseitig					
N3	Nutzerbasierte Maßnahme	Datenbrille (Kamera)	einseitig					
N4	Nutzerbasierte Maßnahme	Augmented Reality-Brille	einseitig					
N5	Nutzerbasierte Maßnahme	Smartwatch	einseitig					
N6	Nutzerbasierte Maßnahme	Taktiler Armband oder Brustgurt	einseitig					nicht bekannt
N7	Nutzerbasierte Maßnahme	Navigationsgürtel	einseitig					
N8	Nutzerbasierte Maßnahme	Zusatzgerät am Griff des Langstocks	einseitig					
N9	Nutzerbasierte Maßnahme	Handgerät bzw. Umhänger	einseitig					
N10	Nutzerbasierte Maßnahme	Taktiler Armband	einseitig					
N11 N12	Nutzerbasierte Maßnahme	Spezielle Warn-App	zweiseitig					

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 14: Bewertung der begleitenden Maßnahmen

Nr.	Kategorie	Maßnahme	Kommunikation	Sinnvolle Ergänzung zu AVAS	Potenzial für AVAS-Ersatz	Akzeptanz als AVAS-Ersatz ⁵²	Marktreife	Kosten
B1	Begleitende Maßnahme	Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit an Hauptverkehrsstraßen	irrelevant					
B2	Begleitende Maßnahme	Kampagnen zur Verkehrsaufklärung	irrelevant					

Quelle: Eigene Darstellung

⁵¹ Aus Sicht der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen.

⁵² Maßnahme B1: Bewertung aus Sicht der Fahrzeugführenden. Maßnahme B2: Bewertung aus Sicht der Fahrzeugführenden und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen.

5.6 Zusammenfassung und Fazit

Als Alternativen bzw. ergänzend zum AVAS in der Ausführung im Rahmen der derzeit geltenden gesetzlichen Vorgaben kommen grundsätzlich unterschiedliche Maßnahmen infrage. Dies sind technische Maßnahmen am Fahrzeug oder nutzerbasierte Maßnahmen auf der Seite der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen. Die Maßnahmen lassen sich auch kombinieren. Verkehrsregelnde Maßnahmen sowie Maßnahmen der Verkehrsaufklärung können begleitend umgesetzt werden.

Bei den technischen Maßnahmen, die nur fahrzeugseitig eingesetzt werden, handelt es sich um Fahrerassistenzsysteme. Zu nennen sind hier beispielsweise Notbremsassistenten mit Fußgängererkennung sowie Querverkehrsassistenten (vor allem bei Rückwärtsfahrt). Vor allem Systeme, die bei Fahrmanövern im unteren Geschwindigkeitsbereich aktiv werden, sind als Ergänzung oder Ersatz für ein AVAS interessant. Die Systeme werden teils bereits seit einigen Jahren vor allem in höheren Fahrzeugklassen eingebaut, finden aber auch in der Mittelklasse oder Kleinwagen zunehmend Anwendung. Die Marktdurchdringung einzelner Systeme ist jedoch sehr unterschiedlich. Ab dem Jahr 2022 bzw. 2024 startend, sollen einer europäischen Verordnung folgend sukzessive verschiedene Fahrerassistenzsysteme verpflichtend für Neufahrzeuge werden. Bestandsfahrzeuge sind von der Regelung ausgenommen. Es gibt allerdings vergleichbare Systeme, die sich leicht nachrüsten lassen.

Grundsätzlich wäre es bei einem Einsatz dieser Systeme denkbar, auf ein AVAS zu verzichten, da die Technik bei einer drohenden Kollision eines Kraftfahrzeugs mit einem ungeschützten Verkehrsteilnehmenden rechtzeitig eingreifen soll. Eine technische Herausforderung besteht zum einen in der Sicherheit, eine Gefahrensituation zu erkennen, zum anderen in der sicheren Unterscheidung zwischen einer potenziellen (abstrakten) und einer konkreten Konfliktsituation mit dem Fuß- bzw. Radverkehr. Bei permanenter Warnung verliert ein System schnell die Akzeptanz. Eine hohe Zuverlässigkeit wird sich erst in einer vollvernetzten Verkehrsumgebung (V2X) umsetzen lassen und ist daher eher langfristig zu sehen.

Bei den nutzerbasierten Systemen existiert eine Reihe von Maßnahmen, die teils auf die sehr speziellen Bedürfnisse der Zielgruppe zugeschnitten sind. Aus Sicht der NutzerInnen ist dies positiv zu bewerten, erschwert aber eine größere Verbreitung und auch eine Standardisierung. Massentaugliche Geräte sind eher bei Smartphones und einigen Wearables zu sehen, deren Verbreitung in den letzten Jahren stark zugenommen hat. Es ist zu erwarten, dass diese weiter zunehmen wird. Allerdings bleibt eine Anwendung ohne regulatorischen Rahmen freiwillig. Die nutzerbasierten Systeme können den AnwenderInnen situationsspezifische Hinweise geben. Diese Hinweise können visuell, akustisch, taktil oder sprachbasiert sein und lassen sich damit zielgruppenspezifisch, z. B. für sehgeschädigte Personen, ausgeben.

Ein höheres Sicherheitslevel ließe sich mit einer bilateralen Kommunikation erzielen. Dafür wird ein Kommunikationssystem nach einem Sender-Empfänger-Prinzip erforderlich, damit fahrzeugseitige und nutzerbasierte Geräte kommunizieren können. Sowohl der Fahrzeuglenkende als auch der zu Fuß gehende erhalten einen Hinweis. Dieser kann ebenfalls visuell, akustisch oder taktil ausgegeben werden und damit an die Bedürfnisse der jeweiligen Zielgruppe angepasst werden. Damit Geräte bilateral kommunizieren können, ist eine Schnittstelle für den Datenaustausch erforderlich. Viele der Geräte verfügen zwar über eine Schnittstelle zur Kommunikation mit externen Geräten (z. B. über WLAN, Bluetooth, GPS usw.), für eine weitreichende Verbreitung müsste allerdings eine einheitliche

Schnittstellenkommunikation umgesetzt werden, die geräteunabhängig (z. B. für Smartphone, Smartwatch, Brille, Armband usw.) einsetzbar wäre. Die Umsetzung eines solchen geräteübergreifenden Standards erscheint – zumindest mittelfristig betrachtet – eher unwahrscheinlich. Realistischer erscheint hier die Umsetzung einer App für Smartphones bzw. Smartwatches (vgl. LocID und NavTrain). Hier wären auch eigenständige Handgeräte denkbar, was den Anwenderkreis erweitern würde. Problematisch könnte sich allerdings die Akzeptanz solcher Apps oder Geräte erweisen. Hier spielen einerseits Aspekte des Datenschutzes eine Rolle, andererseits kann es durchaus kritisch diskutiert werden, dass die Verantwortung („Informationspflicht“) mindestens teilweise an den ungeschützten Verkehrsteilnehmenden abgegeben wird.

Ergänzend zu den technischen Maßnahmen sind verkehrsregelnde Maßnahmen wie eine Ausweitung von Straßen mit weiterer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit oder Kommunikationsmaßnahmen zur Förderung der Verkehrssicherheit zu sehen. So hat Tempo 30 statt 50 km/h nachweislich ein höheres Verkehrssicherheitspotenzial. Positiver Nebeneffekt sind zudem geringere Schallemissionen. Aufgrund der niedrigeren Geschwindigkeiten verringert sich die Anzahl potenzieller Konflikte, da FahrerInnen besser auf Störungen im Verkehrsablauf reagieren können. Auch bei der Nutzung von Fahrerassistenzsystemen, z. B. zur Erkennung von FußgängerInnen oder RadfahrerInnen, wäre eine zusätzliche Sicherheit zu erreichen, da die Quote der Erkennung von kritischen Situationen aufgrund der verringerten Geschwindigkeit ansteigen dürfte. E-Pkw mit AVAS könnten hier einfacher wahrzunehmen sein, da Maskierungseffekte geringer ausfallen. Allerdings wird der Verkehr für blinde und stark sehbehinderte Menschen insgesamt schwerer wahrnehmbar. Damit geht für diese Gruppen eine wichtige akustische Orientierungsfunktion bei der Mobilität verloren. Hier müsste über andere Lösungen nachgedacht werden, z. B. flächendeckend akustisch gesicherte Übergänge (Lichtsignalanlagen mit Zusatzeinrichtungen).

Vor allem bei den nutzerbasierten Maßnahmen stellen weiterhin finanzielle Aspekte eine Hürde für die Einführung der Maßnahmen dar. Die Zusatzsysteme sind in der Regel kein Hilfsmittel und die Anschaffungskosten werden daher nicht von den Krankenkassen erstattet. Aber auch Fahrerassistenzsysteme führen zu Mehrkosten bei der Anschaffung von Fahrzeugen. Hier können nur verpflichtende Vorgaben für eine schnelle Verbreitung sorgen.

Abschließend ist festzustellen, dass ein vollständiger Ersatz eines AVAS – zunächst unabhängig vom Regelungsrahmen betrachtet – mit den vorgestellten Maßnahmen nicht umzusetzen sein wird. Auch eine Kombination von Maßnahmen wird in der Regel nicht ersetzend wirken können. Die Verkehrssicherheit ließe sich somit zwar erhöhen. Der Ersatz scheitert aber vornehmlich an einer fehlenden Marktdurchdringung und Nutzerakzeptanz. Letzteres gilt vor allem für die nutzerbezogenen Maßnahmen. Wahrscheinlicher dürfte es sein, Maßnahmen zur Unterstützung heranzuziehen, um das AVAS damit beispielsweise gezielter und situativ einsetzen zu können. Dies gilt insbesondere für Maßnahmen im Bereich der Fahrzeugtechnik, aber auch auf Seiten der nutzerbasierten Maßnahmen. Hier wird ein Potenzial für eine hohe Akzeptanz und Verbreitung vor allem im Bereich der Wearables gesehen. Insgesamt sind hier aber keine kurzfristigen Lösungsansätze zu erwarten, da insbesondere auch die Zeit für die technische Entwicklung (z. B. Sicherheitslevel, Schnittstellen) und für eine Marktdurchdringung zu berücksichtigen ist. Auch für notwendige regulatorische Änderungen wird ein eher mittelfristiger Zeitbedarf von fünf bis zehn Jahren zu erwarten sein.

6 Einbindung von InteressenvertreterInnen

6.1 Befragung

6.1.1 Methodik

Im Rahmen des Projektes wurde eine Befragung von InteressenvertreterInnen aus unterschiedlichen Fachbereichen und Institutionen durchgeführt. Insgesamt wurden 27 InteressenvertreterInnen aus den Bereichen Verkehrssicherheit, Barrierefreiheit, Lärmschutz, Fahrzeugtechnik und Fahrzeugakustik sowie aus dem Bereich der Endnutzer befragt. Die unterschiedlichen Institutionen und Verbände, für die die befragten ExpertInnen tätig sind, sind in Tabelle 15 aufgeführt.

Tabelle 15: Befragung von ExpertInnen aus unterschiedlichen Fachdisziplinen

Fachdisziplin	Verband / Institution
Verkehrssicherheit	<ul style="list-style-type: none"> • Deutscher Verkehrssicherheitsrat e. V. (DVR) • Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. – Unfallforschung der Versicherer (UDV) • Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V. (ADAC) • Verkehrsclub Deutschland e. V. (VCD)
Barrierefreiheit / ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen	<ul style="list-style-type: none"> • Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband e. V. (DBSV) • PRO RETINA Deutschland e. V. • Blind und mobil, Hamburg (Orientierungs- und Mobilitätslehrer für blinde und sehbehinderte Menschen) • Fachverband Fußverkehr Deutschland (FUSS e. V.) • Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e. V. (ADFC)
Lärmschutz	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsches Institut für Urbanistik (Difu) • Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI) • Amt für Umweltschutz Stadt Nürnberg • Amt für Umweltschutz, Stadt Essen • Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV NRW)
Fahrzeugtechnik / Fahrzeugakustik	<ul style="list-style-type: none"> • Verband der Automobilindustrie (VDA) • Fachausschuss Fahrzeugakustik (DEGA) • Robert Bosch GmbH • HEAD acoustics GmbH • ZF Friedrichshafen AG • Denso Automotive Deutschland GmbH • Thyssenkrupp Bilstein GmbH • Nuance • Faurecia Automotive GmbH • Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV NRW) • Wissenschaftliche Mitarbeiter (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg)
Nutzererfahrungen	<ul style="list-style-type: none"> • United Parcel Service S.a.r.l & Inc OHG (UPS)

Quelle: Eigene Erhebung

Das übergeordnete Ziel der Befragung lag darin, die unterschiedlichen Positionen und Blickwinkel, welche die aktuelle Diskussion zu AVAS bestimmen, in Erfahrung zu bringen. Hier sollte die breite Erfahrungsbasis mit unterschiedlichen Perspektiven der InteressenvertreterInnen im Zusammenhang mit dem Einsatz eines AVAS genutzt werden. Das Ziel der Befragung orientiert sich dabei stets am Gesamtziel des Forschungsvorhabens: Lärmvermeidung bei gleichzeitiger Gewährleistung einer sicheren Mobilität im Verkehr für alle VerkehrsteilnehmerInnen.

Die Befragung basierte auf einer kombinierten Methode aus papiergestützter und telefonischer Befragung. Diese Kombination hat sich bewährt, da sich eine hohe Effizienz bei der Befragung sowie bei der Qualität der Antworten erzielen lässt. Die InterviewpartnerInnen erhielten den Fragebogen zur Vorbereitung auf die Befragung und konnten sich mit den Fragen auseinandersetzen. Bei Bedarf können weitere ExpertInnen im Hause zur Unterstützung bei speziellen Fachfragen eingebunden werden. Im Telefongespräch ist ein direktes Nachfragen des Interviewpartners möglich. Somit lassen sich auch komplexe Sachverhalte in der erforderlichen Tiefe besprechen und mögliche Missverständnisse abklären. Zudem besteht bei Bedarf die Möglichkeit einer zeitlichen Staffelung einzelner Abschnitte der Befragung, wodurch sich für die InterviewpartnerInnen eine hohe Flexibilität bei der Durchführung ergibt.

Bei der Erstellung des Fragebogens wurde darauf geachtet, dass der Lese- und Bearbeitungsaufwand für die ExpertInnen geringgehalten wird. Dies erhöht die Akzeptanz der Befragten. Beispielsweise konnten die Fragen elektronisch, d. h. direkt im Dokument selbst, beantwortet werden. Ein Ausdruck des Fragebogens wird nicht erforderlich und der ausgefüllte Bogen kann direkt per E-Mail zurückgeschickt werden. Zudem wurde bei der Erstellung des Fragebogens die Einhaltung der Barrierefreiheit berücksichtigt (z. B. für die Menschen mit Sehschädigung).

Den 27 ExpertInnen der unterschiedlichen Fachdisziplinen wurde derselbe Fragebogen zugesandt, um die möglicherweise unterschiedlichen Standpunkte zu denselben Fragestellungen aufnehmen, später vergleichen und die Schnittmengen identifizieren zu können. Dies war insbesondere auch im Hinblick auf die Zusammenfassung und Vergleichbarkeit der Ergebnisse im Zuge der Auswertung (s. Abschnitt 6.1.2) entscheidend.

Für die Befragung wurde zunächst eine Liste mit Personen bzw. Verbänden und Institutionen erstellt, die als geeignete bzw. relevante Partner im Rahmen der Bearbeitung der Forschungsaufgabe und der Zielerreichung gesehen wurden (Tabelle 15). Diese Liste wurde anschließend mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Ein erster Entwurf eines Fragenkatalogs wurde mit dem Auftraggeber abgestimmt und einem Pre-Test unterzogen. Die endgültige Fassung (Anhang B) wurde an die ausgewählten ExpertInnen per E-Mail versendet. Im Anschluss erfolgte die telefonische Befragung, in der Informationen entsprechend des fachlichen Schwerpunktes des oder der Befragten vertieft abgefragt wurden. Für die Telefoninterviews wurde ein Leitfaden (s. Anhang C) entwickelt, an welchem sich die Interviewer während der Befragung orientierten. Mithilfe des Leitfadens sollte eine gleichbleibende Qualität der Befragung trotz unterschiedlicher Interviewer sichergestellt werden.

Der Fragenkatalog beinhaltete insgesamt 27 Fragen und war folgendermaßen aufgebaut (Anhang B):

- A) Persönliche Informationen
- B) Persönliche Erfahrung
- C) Einschätzung der Wirkung des AVAS
- D) Umsetzung AVAS und Alternativen
- E) Weitere Anregungen

Im **Fragenblock A** wurden zunächst die Kontaktinformationen der InterviewpartnerInnen, deren fachliche Kompetenzen sowie deren bisherige Erfahrungen mit AVAS abgefragt.

Fragenblock B zielte auf die persönliche Erfahrung mit leisen Kraftfahrzeugen sowie die Einschätzung der Lärmbelästigung durch unterschiedliche Verkehrsgeräusche ab. Dieser Fragenblock befasste sich dabei noch nicht mit der konkreten Form des AVAS, sondern war eher allgemein gehalten.

Fragenblock C beinhaltete konkrete Fragen im Zusammenhang mit dem Einsatz eines AVAS, d. h. welche Notwendigkeiten bzw. Bedenken bestehen im Zusammenhang mit dieser technischen Umsetzung in ihrer konkreten Form.

Fragenblock D widmete sich Alternativen zum AVAS. Hier ging es vor allem darum, neben den Studien in Kapitel 4 weitere, ergänzende Hinweise für die spätere Bewertung dieser Alternativen zu erlangen (z. B. hinsichtlich der Nutzerakzeptanz, Marktreife usw.).

Im **Fragenblock E** hatten die ExpertInnen die Möglichkeit weitere Hinweise zu geben, z. B. ihre Erwartungen und Bedenken im Zusammenhang mit AVAS.

Die gestellten Fragen standen dabei immer im Bezug zur übergeordneten Fragestellung des Projektes: Welche Möglichkeiten zur Lärmvermeidung bestehen, ohne dabei die Ziele der Verkehrssicherheit zu gefährden?

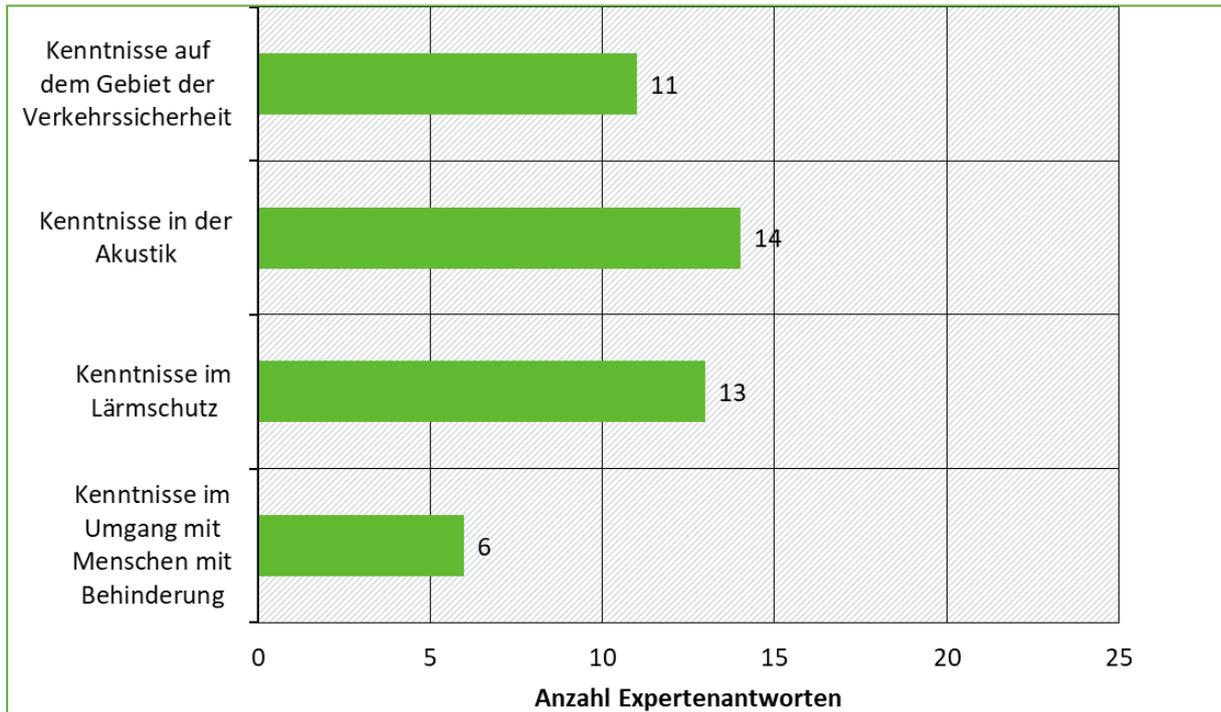
Einige Tage vor dem geplanten Telefoninterview wurden den Befragten einige AVAS-Soundbeispiele zugesendet, welche im Rahmen des Forschungsvorhabens von den Auftragnehmern eigens produziert worden waren. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass im anschließenden Telefoninterview über dasselbe bzw. ein ähnliches Warngeräusch gesprochen wurde.

6.1.2 Auswertung der Befragung und Bewertung

Die insgesamt 27 InteressenvertreterInnen aus unterschiedlichen Fachbereichen verfügten über unterschiedliche fachliche Kompetenzen (vgl. Abbildung 28) sowie unterschiedliche Erfahrungen mit AVAS (vgl. Abbildung 29), sodass bei der Bewertung wie beabsichtigt unterschiedlichen Perspektiven zum Tragen kamen.

Abbildung 28: Fachkompetenzen der befragten InteressenvertreterInnen

Frage: Welche fachlichen Kompetenzen besitzen Sie?

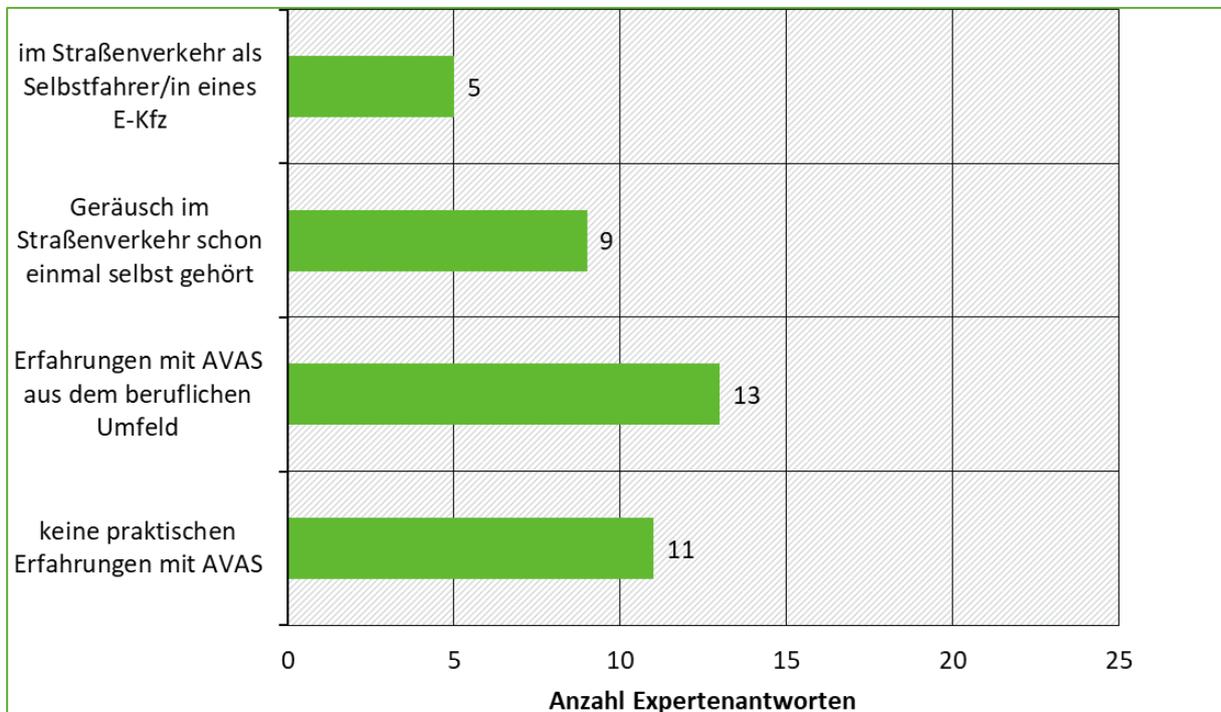


N = 27, Frage A2, Mehrfachnennungen möglich.

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 29: Erfahrungen der InteressenvertreterInnen mit AVAS

Frage: Welche Erfahrungen mit AVAS haben Sie?



N = 27, Frage A4, Mehrfachnennungen möglich.

Quelle: Eigene Darstellung

Die meisten der befragten InteressenvertreterInnen (74 %, N =20) waren mit der Funktion und dem Zweck des AVAS bereits vor der Befragung vertraut. Wie zu erwarten, kannten sich insbesondere die Akteure aus dem Bereich Fahrzeugtechnik und Fahrzeugakustik sehr gut mit dem AVAS sowie den Vorschriften dazu im Detail aus. Fast die Hälfte der Befragten (48 %, N =13) kannte AVAS aus dem beruflichen Umfeld, z. B. weil sie selbst an der Klangentwicklung beteiligt sind.

Bei 41 % (N =11) der Befragten war der Wissensstand zu den Details von AVAS weniger ausgeprägt. Sie hatten zwar schon von AVAS gehört, waren jedoch nicht weiter mit der Umsetzung und konkreten Funktionsweise des Warnsystems vertraut. Ein Drittel der Befragten (33 %, N =9) gab an, ein AVAS schon einmal im Straßenverkehr gehört zu haben. Nachdem die AVAS-Soundbeispiele angehört worden waren, waren sich jedoch die meisten der Befragten nicht mehr sicher, ob es sich bei dem damals wahrgenommenen Geräusch tatsächlich um ein AVAS-Warngeräusch bzw. ein regelkonformes AVAS gehandelt hatte.

Fragenblock B zielte auf die persönlichen Erfahrungen mit leisen Fahrzeugen ab. Die Frage, ob sie selbst schon einmal eine kritische Verkehrssituation mit einem leisen Kraftfahrzeug erlebt hätten, verneinten 70 % (N =19) der Befragten. Von den verbliebenen 30 % (N =8) gaben drei Personen an, dass es sich dabei um ein Elektro- bzw. Hybridfahrzeug gehandelt habe. Die meisten dieser Personen (88 %, N =7) waren während des Ereignisses zu Fuß unterwegs. Die kritischen Situationen waren in unterschiedlichen Verkehrssituationen passiert, z. B. beim Überqueren einer Fahrbahn (sowohl auf der Strecke als auch Kreuzung), auf einem Parkplatz oder während eines Überholvorgangs eines Rad fahrenden auf der Fahrbahn. Als Ursache für die kritische Verkehrssituation gaben die meisten der Betroffenen (N =7) an, das Fahrzeug nicht gehört zu haben, da es zu leise war. Andere (N =3) erklärten, dass sie das herannahende Fahrzeug aufgrund lauter Umgebungsgeräusche nicht ausreichend wahrgenommen hätten. Auf Nachfrage in den Telefoninterviews wurde erläutert, dass es bei diesen Situationen weder zu einem Unfall noch einem Beinahe-Unfall kam. Die Befragten gaben an, dass sie sich in dieser Situation lediglich erschrocken hätten, da sie das leise Fahrzeug nicht haben kommen hören. Die Frage, ob ein AVAS geholfen hätte, die kritische Situation mit dem leisen Kraftfahrzeug zu vermeiden, wurde von den meisten bejaht. Vereinzelt gab es auch Rückmeldungen aus der Perspektive der FahrerInnen, dass Personen und Tiere vom herannahenden, leisen Fahrzeug überrascht worden wären.

Aufgrund der Tatsache, dass unter „kritische Verkehrssituationen“ ggf. reine Unfallsituationen bzw. Beinaheunfälle verstanden werden könnten, wurde bei jedem Telefoninterview – unabhängig von der gegebenen Antwort der Befragten – diese Frage explizit abgeklärt. Die Interviewer erläuterten, dass hierbei jede Interaktion mit einem leisen Fahrzeug von Interesse sei, unabhängig von den Auswirkungen. Trotz der erneuten Nachfrage, konnten sich die Befragten, welche die Frage zuvor verneint hatten (insgesamt 70 %, N =19) jedoch nicht daran erinnern, jemals eine kritische Verkehrssituation mit einem leisen Fahrzeug (weder Pkw, noch Lieferwagen, noch LKW) erlebt bzw. beobachtet zu haben.

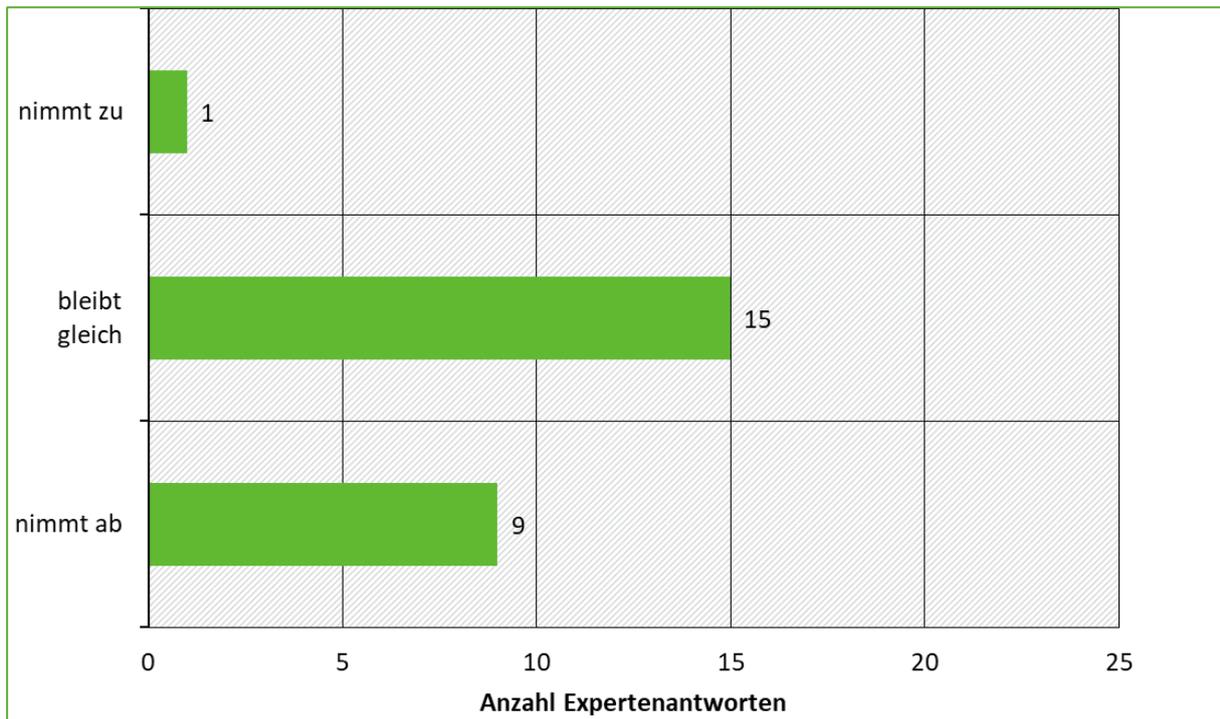
In den Frageblöcken C („Einschätzung der Wirkung des AVAS“) und D („Umsetzung AVAS und Alternativen“) wurde explizit darauf hingewiesen, dass die Fragen nicht auf die persönliche Sichtweise zielten, sondern aus Sicht der jeweiligen Interessengemeinschaft zu beantworten wären, sofern eine solche vertreten würde. Auf Nachfrage in den Telefoninterviews bestätigten nahezu alle Befragten, dass sie dies bei der Beantwortung des Fragebogens berücksichtigt

hätten. Einige der Interviewten gaben an, den Fragebogen in Zusammenarbeit mit KollegInnen sowie weiteren ExpertInnen ihrer Institution (z. B. aus dem Bereich Elektromobilität) bearbeitet zu haben. Daher nahmen an einigen Telefoninterviews auch mehrere Fachleute (max. zwei Personen) zeitgleich teil. Hierbei wurden die Aussagen beider InterviewpartnerInnen festgehalten und ausgewertet.

36 % (N =9) der InteressenvertreterInnen vertraten die Ansicht, dass sich ein zunehmender Anteil von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen (rein elektrisch oder Hybrid) negativ auf die Verkehrssicherheit auswirken würde (Abbildung 30).

Abbildung 30: Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit durch zunehmenden Anteil an E-Pkw

Frage: Wie wird sich ein zunehmender Anteil von elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen (rein elektrisch, Hybride) auf die Verkehrssicherheit auswirken?



N = 23 (keine Angabe: Vier ExpertInnen), Frage C1, Mehrfachnennungen: Zwei ExpertInnen.

Quelle: Eigene Darstellung

Ein Grund für die vermutete Tendenz war die Sorge, dass durch die unterschiedlichen Antriebsarten (Benziner, Diesel, Elektromotor mit und ohne AVAS) die ohnehin leisen Geräusche der Elektrofahrzeuge maskiert und demzufolge von den ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen leicht überhört werden könnten. Die Zusammenstöße zwischen E-Pkw und FußgängerInnen bzw. RadfahrerInnen wurden sowohl bei der Vorwärtsfahrt als auch beim Zurücksetzen des E-Pkw vermutet. Insbesondere für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen wurde aufgrund des Maskierungseffektes vermutet, dass nicht mehr zuverlässig erkennbar sei, ob sich ein E-Pkw auf der Fahrbahn befindet, sich einer querungswilligen Person nähert oder sich von dieser entfernt. Dies mache das sichere Querens der Fahrbahn für diese Personengruppe nahezu unmöglich.

Auch die Start-Stopp-Automatik bei Verbrennern wurde teilweise als problematisch angesehen. Stehende Fahrzeuge mit dieser Technologie können ebenfalls nicht akustisch wahrgenommen werden. So erklärten beispielsweise die Personen mit Sehbeeinträchtigung im Telefoninterview,

dass die Start-Stopp-Automatik bei Verbrennern insbesondere an Lichtsignalanlagen (LSA) ein großes Problem darstelle. Sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen benötigten akustische Signale, um sich zu orientieren und dazu würden auch Fahrzeuggeräusche genutzt. Anderenfalls könne die Fahrbahn von dieser Personengruppe nicht sicher gequert werden. Dazu käme, dass sehgeschädigte Menschen sich aufgrund der Start-Stopp-Automatik vor allem an Fußgängerüberwegen ohne LSA öfter erschrecken würden. Denn aufgrund der fehlenden Fahrzeuggeräusche vermuteten sie, dass die Fahrbahn frei sei und betreten diese daraufhin. Sie würden sich anschließend erschrecken, wenn plötzlich ein Fahrzeug mit Start-Stopp-Automatik losführe. Von stehenden Fahrzeugen mit Start-Stopp-Automatik ginge folglich auch eine Gefährdung für sehgeschädigte Personen aus.

Ein weiteres Problem im Hinblick auf die Verkehrssicherheit wurde in der zunehmenden Ablenkung der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen im Straßenverkehr gesehen, z. B. durch die verstärkte Nutzung von Smartphones, durch Musikhören und andere ablenkende Tätigkeiten. Durch die ungünstige Kombination aus zunehmender Ablenkung und der gleichzeitigen Abnahme der Fahrzeuggeräusche wurde eine zukünftig zunehmende Anzahl kritischer Verkehrssituationen und Unfälle vermutet.

Nach Ansicht einiger InteressenvertreterInnen wäre insbesondere in der Phase der zunehmenden Einführung von E-Kfz eine Gewöhnungsphase notwendig, in der sich die FußgängerInnen und RadfahrerInnen an leise Fahrzeuge und deren neue (Informations-) Signale gewöhnen müssten. Da die ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen bisher kaum Erfahrungen mit den Geräuschen von E-Pkw hätten, wurden insbesondere für die Transferphase zunehmende Fußgänger-Fahrzeug-Konflikte vermutet. Vor allem für Wohngebiete, in denen Kraftfahrzeuge aufgrund der geringen Geschwindigkeiten sowieso bereits leise unterwegs wären, nahmen einige InteressenvertreterInnen an, dass durch den Wegfall der Antriebs- und Abgasstranggeräusche und der damit weniger ausgeprägten akustischen Information („Fahrzeug kommt“) zu einer Zunahme von Verkehrsunfällen mit FußgängerInnen kommen könnte. Jedoch wurde die Meinung vertreten, dass sich das Problem mit steigendem Bewusstsein für leise (Elektro-) Fahrzeuge sowie die Gewöhnung an die akustischen Warngeräusche in der weiteren Entwicklung relativieren würde. Die ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen würden sich zukünftig auf die neuen Verkehrssituationen und Technologien im Straßenverkehr einstellen (müssen).

Jedoch vertraten die meisten InteressenvertreterInnen (65 %, N =15) die Meinung, dass die zukünftige Zunahme an E-Pkw keine Auswirkung auf die Verkehrssicherheit haben würde („bleibt gleich“, Abbildung 30). Als Begründungen führten sie folgende Punkte an:

- ▶ Das Angebot von Fahrerassistenzsystemen (z. B. automatischer Bremsassistent) in E-Pkw wird in den nächsten Jahren zunehmend steigen (auch im Transporterbereich) und auch verstärkt genutzt werden. Durch den verstärkten Einsatz von Fahrerassistenzsystemen werden auch geräuscharme E-Pkw in der unteren Gewichtsklasse in innerstädtischen und verkehrsberuhigten Bereichen im Allgemeinen zu mehr Sicherheit beitragen.
- ▶ Auch die herkömmlichen Verbrennerfahrzeuge (PKW) der Oberklasse sind bei geringen Geschwindigkeiten von unter 20 km/h sehr leise. Sie verhalten sich folglich akustisch sehr ähnlich zu elektrisch angetriebenen Fahrzeugen. Daher wurde vermutet, dass die

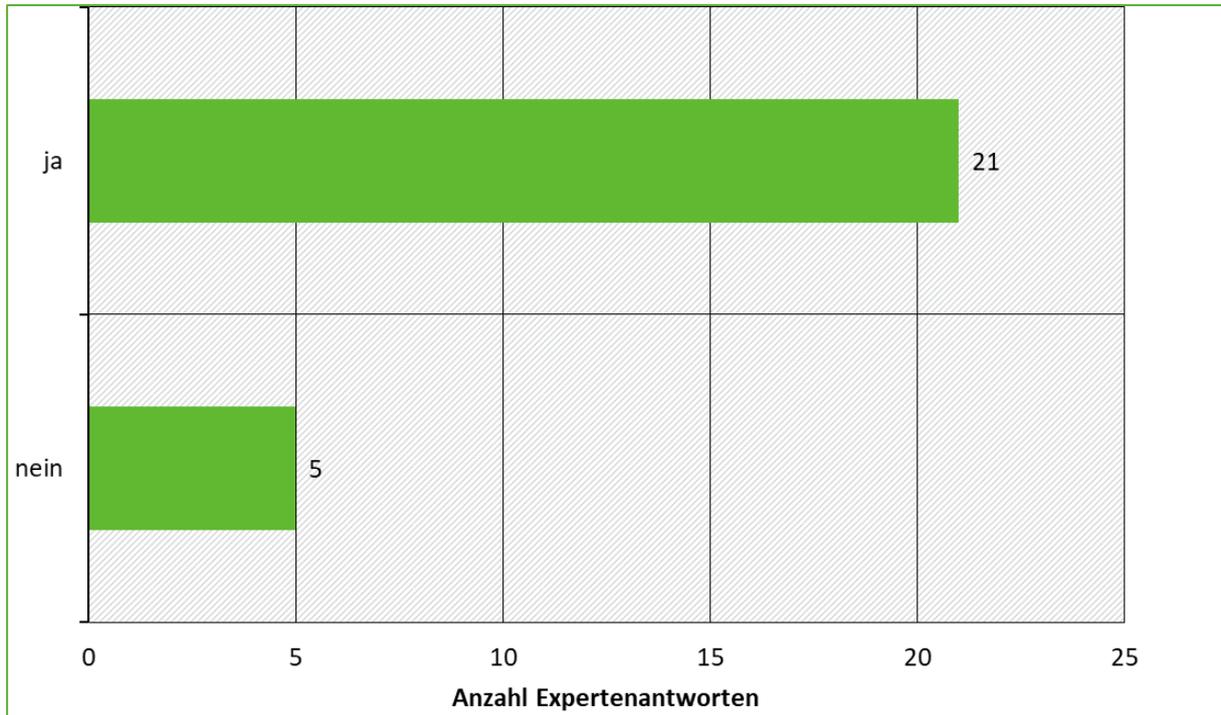
Verkehrssicherheit durch den zunehmenden Anteil an E-Pkw nicht bzw. weniger beeinträchtigt wird.

- ▶ Der Aspekt „elektrischer Antrieb“ wurde als nur einer von vielen gesehen, der sich auf die Verkehrssicherheit auswirkt. Wesentliche Probleme der Verkehrssicherheit sind vor allem überhöhte Geschwindigkeiten sowie unangemessenes Verhalten im Straßenverkehr (z. B. Ablenkung, Alkohol, sonstige Drogen usw.) und unabhängig von der Antriebsart eines Kraftfahrzeugs.
- ▶ Bei geringen Geschwindigkeiten entstehen kritische Verkehrssituationen kaum. Zum einen ist der Bremsweg hier deutlich kürzer und zum anderen wurde vermutet, dass FahrerInnen von E-Pkw bei geringen Geschwindigkeiten besonders aufmerksam unterwegs sein werden. Insbesondere in der Phase des langsamen Anfahrens sei die Aufmerksamkeit der FahrerInnen vermutlich besonders stark auf das Nahfeld gerichtet. Deshalb sei zu erwarten, dass Menschen, Tiere und Gegenstände gut wahrgenommen würden. Dazu komme das Bewusstsein der FahrerInnen von E-Pkw, dass sie bei geringen Geschwindigkeiten von anderen VerkehrsteilnehmerInnen schlecht wahrgenommen werden könnten. Zudem würde in der Bedienungsanleitung jedes E-Pkw explizit auf diese Gefahren hingewiesen. In diesem Zusammenhang vertraten andere InteressenvertreterInnen die Meinung, dass FahrerInnen von E-Pkw sogar eine erhöhte Pflicht zur Aufmerksamkeit bei geringen Geschwindigkeiten von bis zu 30 km/h hätten, um beispielsweise beim Ausparken oder Rückwärtsfahren keine anderen VerkehrsteilnehmerInnen zu gefährden.
- ▶ Die Verantwortung wurde überwiegend beim Fahrzeuglenkenden gesehen, da dieser gerade beim Ausparken und Rückwärtsfahren zu erhöhter Aufmerksamkeit gefordert sei.
- ▶ Es wurde vermutet, dass aufgrund der steigenden Anzahl von E-Pkw Beinahe-Unfälle zukünftig zunehmen könnten, aber nicht die tatsächlichen Unfälle. Das gesamte Geräuschniveau würde zukünftig sinken. Die Menschen würden sich daran gewöhnen, dass es nun vermehrt leisere Fahrzeuge im Straßenverkehr gäbe. Sie würden sich auf die geänderten Rahmenbedingungen einstellen, denn immerhin gab es bereits immer leise VerkehrsteilnehmerInnen (z. B. RadfahrerInnen). Diese könnten ebenfalls eine Gefährdung für andere VerkehrsteilnehmerInnen darstellen, sie gäben jedoch auch keinen permanenten Warnton ab.

Hinsichtlich der Frage, ob ein akustisches Warnsystem (AVAS) in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen einen Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten kann, waren die Antworten und Ansichten der befragten InteressenvertreterInnen recht einheitlich. 81 % (N =21) sind der Meinung, dass Elektrofahrzeuge mit einem AVAS die Verkehrssicherheit positiv beeinflussen würden (Abbildung 31). Dieses Ergebnis deckt sich auch überwiegend mit den Erkenntnissen der empirischen Untersuchungen aus Abschnitt 4.3.2.

Abbildung 31: Beitrag von AVAS zur Verkehrssicherheit

Frage: Kann ein akustisches Warnsystem (AVAS) in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen einen Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten?



N = 26 (keine Angabe: ein Experte), Frage C2.

Quelle: Eigene Darstellung

Als maßgebende Begründung für die angenommene Zunahme bei der Verkehrssicherheit nannten die Befragten die verbesserte akustische Wahrnehmbarkeit der Fahrzeuge durch AVAS. AVAS wurde insbesondere für sehgeschädigte Menschen als besonders hilfreiche und sinnvolle Maßnahme eingeschätzt, denn diese Personengruppe sei auf akustische Informationen angewiesen. Zudem sei das akustische Geräusch auch für normalsehende Personen für die Wahrnehmung der Fahrzeuge sehr hilfreich. Dies insbesondere in Situationen, in denen kein direkter Sichtkontakt mit dem Fahrer bzw. der Fahrerin des E-Pkw besteht. Schall würde räumlich wirken und würde mit einer Richtungsinformation wahrgenommen, wohingegen die visuelle Wahrnehmung über das Sichtfeld im Vergleich sehr eingeschränkt sei.

Weiterhin würde durch das akustische Zusatzgeräusch die Aufmerksamkeit der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen auf einen herannahenden E-Pkw gelenkt. Dadurch erhöhe sich zumindest die Wahrscheinlichkeit, dass ein herannahendes Fahrzeug rechtzeitig wahrgenommen und ein Zusammenstoß verhindert werden kann. Denn v. a. FußgängerInnen und RadfahrerInnen würden sich im Straßenverkehr neben der visuellen auch auf ihre akustische Wahrnehmung verlassen. Einige Befragte sprachen sich in diesem Zusammenhang auch für eine Ausstattung von E-Rollern, E-Bikes und leisen Verbrennern mit einem dauerhaft wirksamen akustischen Zusatzgeräusch aus.

Die meisten InteressenvertreterInnen gingen davon aus, dass die Verkehrssicherheit durch das zusätzliche Geräusch insbesondere in Wohngebieten zunehmen wird, da die Vorteile durch das fehlende Antriebsgeräusch v. a. bei Geschwindigkeiten unter 30 km/h durch ein zusätzliches Informations-/Warnsignal kompensiert würden.

Die Verkehrssicherheit hatte bei den meisten der befragten InteressenvertreterInnen einen deutlich größeren Stellenwert als der Lärmschutz. Entsprechend äußerte die überwiegende Zahl der Befragten die Meinung, dass AVAS sich positiv auf die Verkehrssicherheit auswirken wird. Dennoch äußerten mehrere ExpertInnen (v. a. aus dem Bereich Lärmschutz und Fahrzeugtechnik) deutliche Kritik an dem bestehenden System und sprachen sich zum Teil eindeutig für eine Abschaffung des AVAS aus. So stellten insbesondere die InteressenvertreterInnen, die sich mit Fragen des Lärmschutzes befassen, die ausreichende akustische Wahrnehmbarkeit sowie Wirksamkeit des Warngeräusches in Frage. Sie merkten an, dass AVAS die Lärmbelastung in Innenstädten und verkehrsberuhigten Bereichen verstärken würde. So würden beispielsweise nun verstärkt Geräusche dort auftreten, wo es zuvor ruhig war. Dennoch sind diese ExpertInnen der Auffassung, dass der Verkehrssicherheit eine sehr hohe Bedeutung zukommen sollte.

Zudem kritisierten einige InteressenvertreterInnen, dass der Geräuschpegel des Warntons einiger aktueller E-Pkw (z. B. Renault Zoe) derzeit nicht synchron zur Fahrgeschwindigkeit ertöne. Es könne folglich aus dem Warngeräusch nicht direkt über einen Erfahrungswert auf die Fahrgeschwindigkeit von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor geschlossen werden.

Ein Befragter mit einer Sehbeeinträchtigung kritisierte, dass das derzeitige AVAS-Geräusch mit 56 dB zu leise sei. Das Warngeräusch müsse mindestens 58 bis 60 dB laut sein, damit ein herannahendes E-Pkw von sehgeschädigten Personen sicher und rechtzeitig wahrgenommen werden könne.

Es vertraten 19 % (N =5) der Befragten die Meinung, dass AVAS keinen Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten kann (Abbildung 31). Sie waren der Auffassung, dass in Verkehrssituationen, in denen mehrere E-Pkw mit einem AVAS anwesend sind, ein Durcheinander an Geräuschen entstehen könnte. Diese Geräuschvielfalt könnte eher irritieren als einen positiven Beitrag leisten. Insbesondere für sehgeschädigte Personen würde die Wahrnehmbarkeit wichtiger Schallquellen durch eine Vielzahl unterschiedlicher Geräusche deutlich verschlechtert.

Als weiterer Grund für diese Einschätzung wurde angeführt, dass FahrerInnen von E-Pkw besonders bei geringen Geschwindigkeiten unter 20 km/h sehr aufmerksam fahren würden. Demzufolge komme es nur selten zu kritischen Situationen mit ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen. Durch das achtsame Fahren und den Einsatz geeigneter Assistenzsysteme könnten Gefahrensituationen mit ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen – auch ohne zusätzliches akustisches Warnsignal – zukünftig vermieden werden.

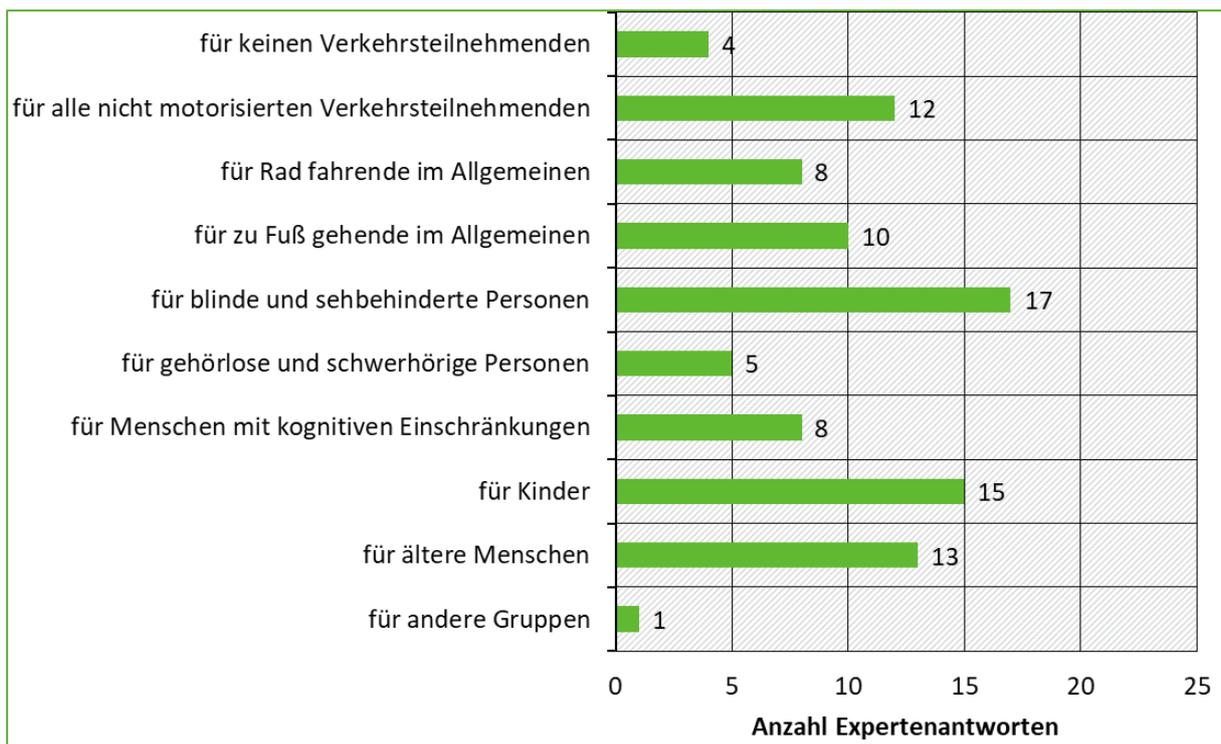
Auf die Frage, ob sich für bestimmte Personengruppen infolge des zunehmenden Anteils von E-Pkw ein erhöhter Schutzbedarf ergibt, sehen die meisten InteressenvertreterInnen alle nicht motorisierten VerkehrsteilnehmerInnen als schützenswert an (Abbildung 32). Insbesondere sehgeschädigte Personen, Kinder sowie ältere Menschen werden aufgrund des zunehmenden Anteils von E-Pkw als gefährdete Personengruppen eingestuft. Diese Personengruppen seien aufgrund ihrer sensorischen bzw. altersbedingten Einschränkungen oftmals nicht in der Lage, sich nähernde, geräuscharme Fahrzeuge wahrzunehmen bzw. deren Entfernung richtig einzuschätzen. So können beispielsweise Kinder im Alter von 12 bis 13 Jahren Fahrgeschwindigkeiten von bis zu 30 km/h nur schwer einschätzen und auch das Richtungshören ist bei Kindern bis zu einem gewissen Alter noch nicht voll entwickelt (vgl.

Abschnitt 2.1.3). Bei älteren Menschen erschwert hingegen das nachlassende Hörvermögen mit dem Alter die akustische Wahrnehmbarkeit (vgl. Abschnitt 2.1.4). Zum selben Ergebnis kamen auch die WissenschaftlerInnen der in Kapitel 4 vorgestellten Studien.

Auf Nachfrage in den Telefoninterviews gaben die Befragten an, dass ein Schutzbedarf grundsätzlich für alle Personen bestehe, für die eine auditive Wahrnehmung eine entscheidende Rolle bei ihren Handlungen im Straßenverkehr spielt. Eine weitere Problematik im Hinblick auf die Verkehrssicherheit wurde in der schlechten Angewohnheit der erwachsenen VerkehrsteilnehmerInnen gesehen, die Fahrbahn „rein nach Gehör“ zu queren. Die Menschen seien gewohnt, dass Fahrzeuge im Straßenverkehr Geräusche von sich geben, an denen sie sich orientieren können. Fallen diese Geräusche weg, stelle das eine potenzielle Gefährdung für die VerkehrsteilnehmerInnen dar. Es sei entscheidend, an die Eigenverantwortung und den Lernprozess der VerkehrsteilnehmerInnen zu appellieren. Von Seiten der Entwickler aus dem Bereich der Fahrzeugakustik werden neben den ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen auch die FahrerInnen als schutzwürdig betrachtet – und zwar in Bezug auf eine belästigende akustische Wirkung des Warngeräusches.

Abbildung 32: Schutzbedarf für bestimmte Personengruppen

Frage: Ergibt sich für bestimmte Personengruppen ein Schutzbedarf infolge eines zunehmenden Anteils elektrisch angetriebener Kraftfahrzeuge?



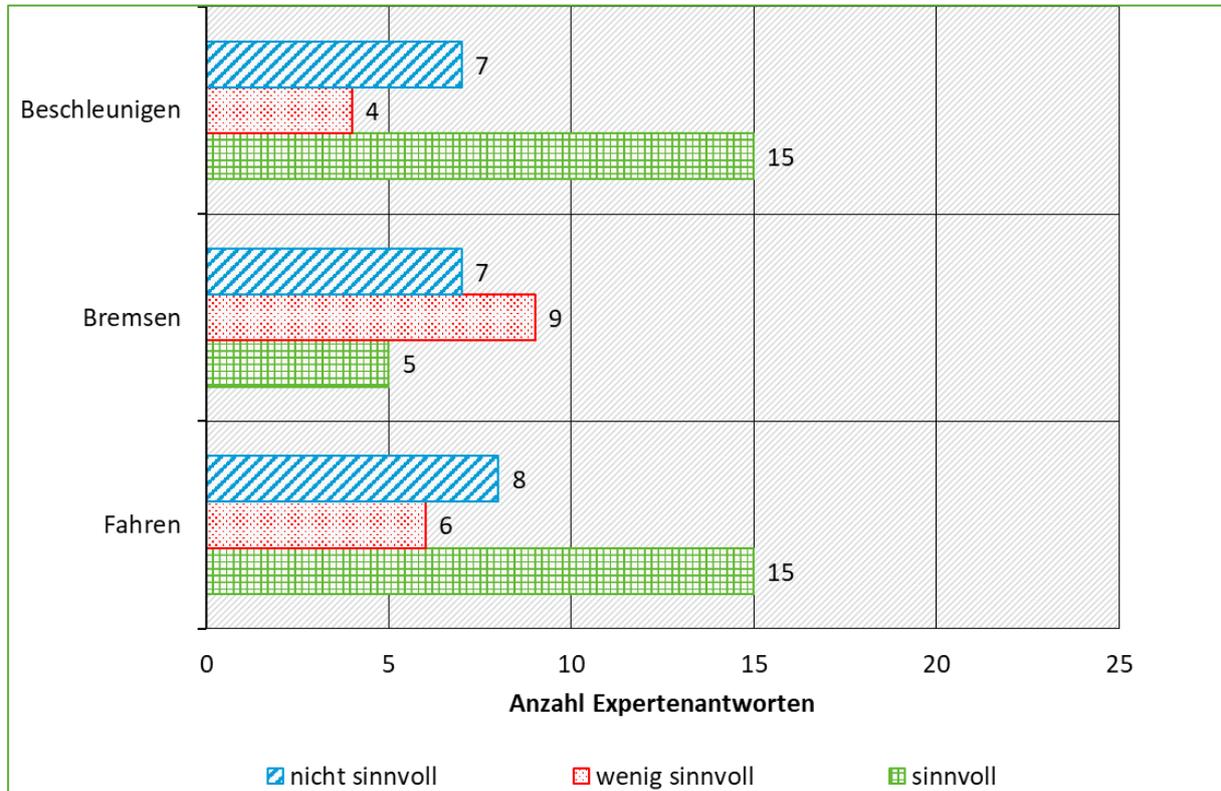
N = 27, Frage C3, Mehrfachnennungen möglich.
Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Frage, bei welchen Fahrzuständen AVAS sinnvoll wäre, waren sich die meisten InteressenvertreterInnen einig: Ein akustisches Warngeräusch sei insbesondere beim Beschleunigen und Fahren angebracht (jeweils 55 %, N =15, vgl. Abbildung 33). Für den Bremsvorgang wurde ein AVAS als weniger bzw. nicht sinnvoll erachtet. So erklärte beispielsweise ein Interessenvertreter eines Kurier- und Logistikdienstleisters, der zahlreiche E-Pkw im Einsatz hat, dass sich die FahrerInnen während der Auslieferung aufgrund der kurzen

Distanzen zum Nachbargebäude sehr oft anfahren und bremsen müssen. Da sie sich dabei regelmäßig auf Höfen, in Fußgängerzonen und im beruhigten Verkehrsbereichen befinden, seien insbesondere hier zusätzliche Geräusche durch Bremsvorgänge möglichst zu vermeiden, um die AnwohnerInnen nicht zu belästigen.

Abbildung 33: Zweckmäßigkeit von AVAS für verschiedene Fahrzustände

Frage: Bei welchen der folgenden Fahrzustände wäre AVAS sinnvoll?



N = 27, Frage C4, Mehrfachnennungen möglich.

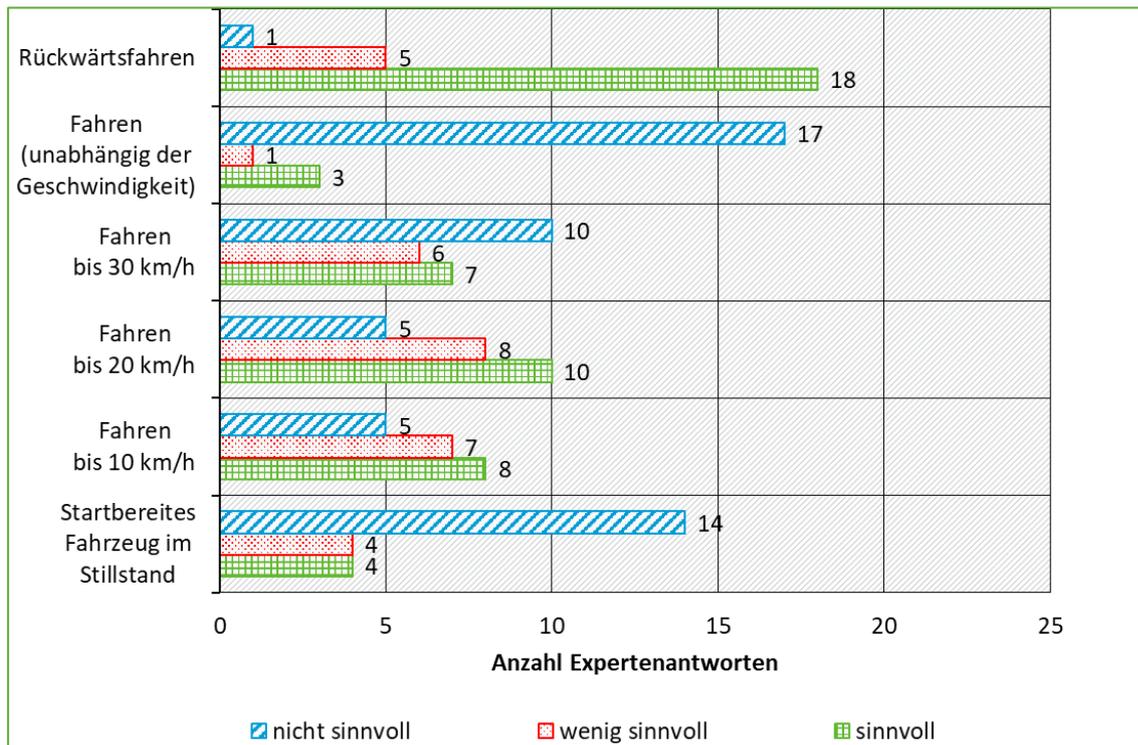
Quelle: Eigene Darstellung

Als Fahrmanöver, bei denen AVAS sinnvollerweise ertönen sollte, wurden überwiegend das Rückwärtsfahren sowie das Fahren bei Geschwindigkeiten bis 20 km/h genannt (vgl. Abbildung 34). Insbesondere beim Rückwärtsfahren wurde ein akustisches Warngeräusch von den meisten InteressenvertreterInnen (67 %, N = 18) als sehr sinnvoll erachtet (vgl. Abbildung 34). So erläuterte ein Interessenvertreter im Telefoninterview, dass v. a. Rückfahr sensoren bzw. eine Rückmeldekamera (wie bei UPS-Fahrzeugen oder Street-Scootern der Deutschen Post) eine große Hilfe für die FahrerInnen darstelle. Jedoch fühlten sich durch das in diesem Zusammenhang ertönende akustische Geräusch viele Kundinnen und Kunden gestört.

Bei Fahrgeschwindigkeiten von über 20 km/h bis zu 30 km/h, beim Fahren unabhängig von der Geschwindigkeit sowie beim startbereiten Fahrzeug im Stillstand wurde AVAS von den InteressenvertreterInnen überwiegend als wenig bzw. nicht sinnvoll erachtet (vgl. Abbildung 34). Diese Erkenntnis deckt sich jedoch nicht vollständig mit den Erkenntnissen der empirischen Untersuchungen aus Kapitel 4, denn hier wurde zum Teil auf die Problematik der Start-Stopp-Automatik verwiesen.

Abbildung 34: Zweckmäßigkeit von AVAS für verschiedene Fahrmanöver

Frage: Bei welchem der folgenden Fahrmanöver wäre AVAS sinnvoll?



N = 27, Frage C5, Mehrfachnennungen möglich.

Quelle: Eigene Darstellung

Dass AVAS bei Fahrmanövern bis 30 km/h ertönen solle, dafür sprachen sich InteressenvertreterInnen aus, die selbst von der Problematik betroffen sind bzw. mit Menschen zusammenarbeiten, die davon betroffen sind. So erläuterten beispielsweise die InteressenvertreterInnen mit Sehbeeinträchtigung, dass die gesetzliche Vorgabe für das AVAS von 20 km/h aus Sicht sehgeschädigter VerkehrsteilnehmerInnen zu schwach sei. Die Rollgeräusche bis 20 km/h seien für sehgeschädigte Personen nicht eindeutig akustisch erfassbar. Insbesondere im Innenstadtbereich mit hohem Umgebungsgeräuschpegel würde es für diese Gruppe eine große Hilfe darstellen, wenn die akustischen Warngeräusche bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von 30 km/h ertönen würden. Ein anderer Interessenvertreter, der in seinem beruflichen Umfeld verstärkt mit älteren Menschen (70 Jahre und älter) zusammenarbeitet, betonte dies im Telefoninterview ebenfalls. Der Vertreter eines Logistikdienstleisters erklärte hierzu, dass er für deren Fahrzeugflotte ein AVAS bis 20 km/h als ausreichend erachte, da diese Fahrzeuge mit großen Aufbauten fahren und demzufolge die Rollgeräusche schon bei geringen Fahrgeschwindigkeiten dominieren. Für kleinere E-Pkw betrachtete er ein AVAS bis 30 km/h allerdings als sinnvoll.

Bei den InteressenvertreterInnen, die sich für ein AVAS unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit ausgesprochen hatten, waren die Angaben auf innerörtliche Bereiche bezogen und nicht z. B. auf Autobahnen, Schnellstraßen usw. Diese Einschränkung der Aussage konnte im Rahmen der Telefoninterviews geklärt werden. Ein Interessenvertreter erklärte, dass das automatische Ein- und Ausschalten des Warngeräusches sowohl für den Fahrzeuglenkenden als auch für die FußgängerInnen und RadfahrerInnen irritierend sei. Daher sollte das akustische Warngeräusch bei allen Fahrgeschwindigkeiten im Innenstadtbereich angeschaltet sein, denn ein permanentes Geräusch sei im Allgemeinen weniger verwirrend.

Ein anderer Interessenvertreter erklärte, dass möglichst auch startbereite Fahrzeuge im Stillstand Geräusche von sich geben sollten, um besser wahrgenommen zu werden. Dies erachtet er vor allem auf Parkplätzen als besonders sinnvoll. Passanten würden sich dann weniger erschrecken, da sie durch das wahrgenommene Standgeräusch mit dem Anfahren des Fahrzeugs rechneten.

Neben den vorgegebenen Antwortmöglichkeiten bei den Fahrmanövern (vgl. Anhang B, Frage C5 im Fragebogen), hatten die InteressenvertreterInnen die Möglichkeit, noch weitere Fahrmanöver zu nennen, bei welchen sie AVAS als sinnvoll erachten. Hierbei wurden folgende Fahrmanöver aufgeführt:

- ▶ AVAS sollte stets beim Abbiegevorgang ertönen.
- ▶ AVAS sollte stets beim Ein- und Ausparken ertönen.
- ▶ AVAS sollte bei der Vorbeifahrt an RadfahrerInnen bei Geschwindigkeiten von 20 bis 30 km/h ertönen.
- ▶ AVAS sollte bei der Vorbeifahrt an Querungsstellen mit Mittelinseln bei Geschwindigkeiten von 20 bis 30 km/h ertönen.
- ▶ AVAS sollte situationsabhängig ertönen, z. B. ähnlich einem Parkpiloten, wenn Sensoren Hindernisse oder Gefahrenstellen erkennen.
- ▶ AVAS sollte nur im Bedarfsfall ertönen, z. B. mittels einer manuell zu betätigenden Fußgängerhupe (vgl. Anhang A, Maßnahme F7).

Im Fragenblock D wurden die InteressenvertreterInnen u. a. nach ihrer Meinung zur markenspezifischen Gestaltung (Branding) des Warngeräusches im Hinblick auf die Verkehrssicherheit befragt (vgl. Abbildung 35). 60 % (N =16) der Befragten sprachen sich für ein markenunabhängiges, 11 % (N =3) für ein markenspezifisches Warngeräusch aus und 29 % (N =8) machten hierzu keine Angabe⁵³. Die Befragten vermuteten, dass bei einem markenabhängigen Geräusch eine Fülle konkurrierender Töne entstehen würde. Diese Geräuschkulisse würde als störend und lästig empfunden werden.

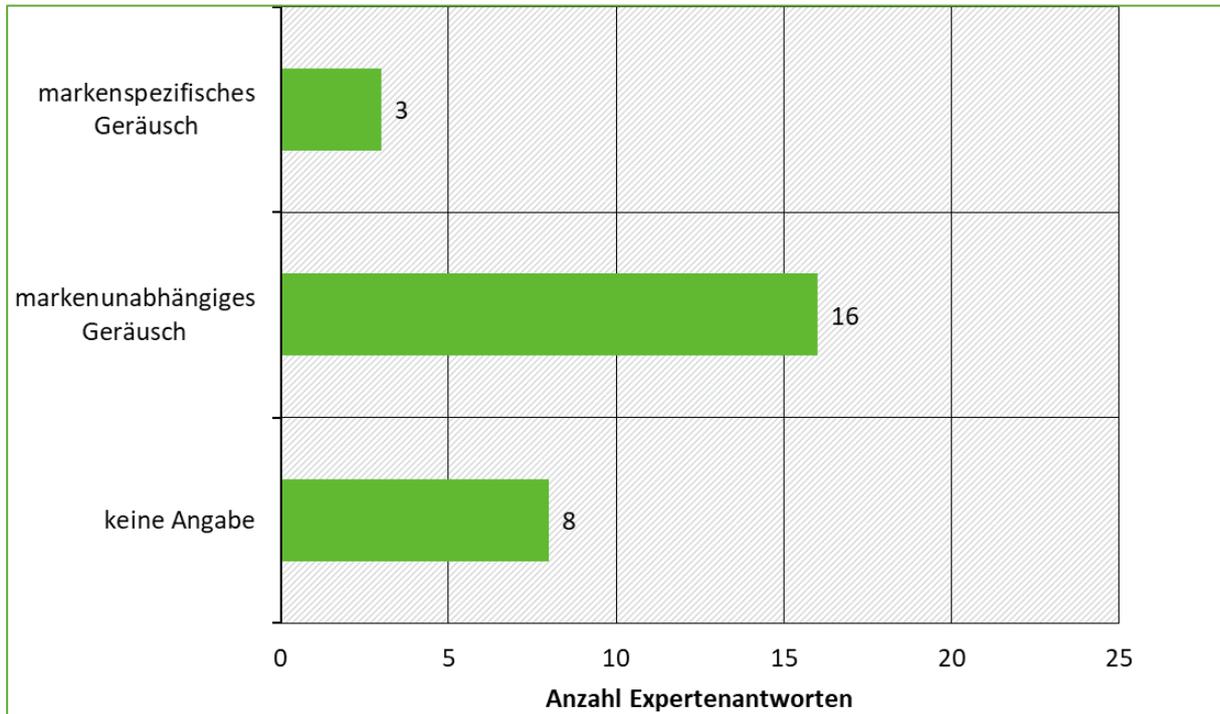
Im Hinblick auf die Verkehrssicherheit mache es jedoch keinen Unterschied, von welchem Fahrzeug (Fahrzeugmarke) das Geräusch kommt. Entscheidend sei, dass eine akustische Warnung erfolge, welche die Aufmerksamkeit der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen errege. Dies bestenfalls durch ein einheitliches Geräusch, um eine Kakophonie zu vermeiden. Für die Verkehrssicherheit sei eine Markenspezifikation folglich nicht ausschlaggebend.

Ein Interessenvertreter mit Sehbeeinträchtigung erklärte im Telefoninterview, dass es nicht relevant sei, ob ein markenspezifisches oder markenunabhängiges Warngeräusch ertöne. Entscheidend sei, dass das Fahrzeug ein akustisches Geräusch abgibt, um es überhaupt wahrnehmen zu können – um welche Fahrzeugmarke es sich dabei handele, sei sekundär. Bevor keine Geräusche ertönten, bevorzuge er markenspezifische Geräusche.

⁵³ Unter den Personen, die hier keine Antwort gaben, befanden sich auch Entwickler von markenspezifischen Geräuschen.

Abbildung 35: Markenspezifität beim AVAS

Frage: Die gesetzlichen Vorgaben lassen auch eine markenspezifische Gestaltung (Branding) des Warngeräusches zu. Bevorzugen Sie im Hinblick auf die Verkehrssicherheit ein markenspezifisches oder markenunabhängiges Geräusch?



N = 27, Frage D2.
Quelle: Eigene Darstellung

Ein anderer Interessenvertreter mit Sehbeeinträchtigung erläuterte, dass markenabhängige Warngeräusche nur sinnvoll seien, wenn sich dadurch identifizieren lasse, ob es sich bei dem Fahrzeug um ein Pkw, Lkw oder Bus handele. Er plädierte dafür, dass maximal drei verschiedene AVAS-Geräusche (für die drei o. g. Fahrzeugarten) zulässig sein sollten. Anderenfalls würde eine Vielzahl an Warngeräuschen zu einer Kakophonie an Geräuschen führen, was die auditive Wahrnehmung für sehgeschädigte Menschen deutlich verschlechtern würde. Als Alternative schlug er drei unterschiedliche, jedoch eindeutige Warngeräusche in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit der E-Pkw vor, z. B. für 10, 15 und 20 km/h. Dadurch ließe sich auch für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen die Geschwindigkeit eines herannahenden E-Pkw zuverlässig erkennen.

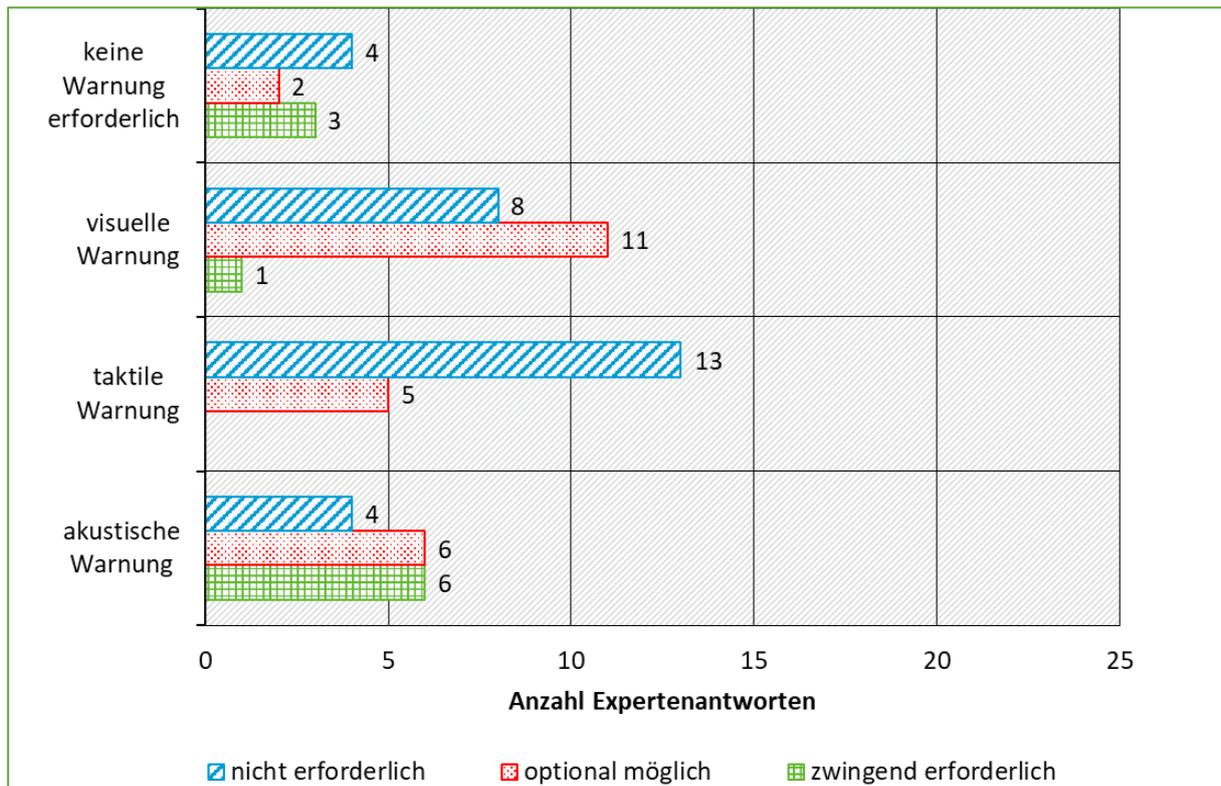
Im Allgemeinen vermuteten die InteressenvertreterInnen, dass der gesetzliche Rahmen beim Branding von den Fahrzeugherstellern auf jeden Fall vollständig ausgenutzt wird (ähnlich wie bei den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, bei denen die Fahrzeughersteller ebenfalls markenspezifische Geräusche anwenden). Denn dadurch würde ein Wiedererkennungswert erzeugt und die Fahrzeughersteller könnten sich mit ihren Fahrzeugen akustisch klar voneinander abheben. Ein Interessenvertreter wies darauf hin, dass markenspezifische Warngeräusche möglicherweise auch hilfreich bei der Erkennung von Warngeräuschen sein können, da uneinheitliche Warngeräusche ggf. mehr Aufmerksamkeit bei den ungeschützten Verkehrsteilnehmenden erregen könnten.

Hinsichtlich der Frage, ob die InteressenvertreterInnen eine Notwendigkeit bestimmter Formen von Warnsignalen im Zusammenhang mit dem Betrieb von Kraftfahrzeugen mit elektrischem

Antriebsstrang im Straßenverkehr sehen, gingen die Meinungen auseinander (vgl. Abbildung 36). So halten 24 % (N =26) der InteressenvertreterInnen eine akustische Warnung für zwingend erforderlich, 24 % (N =26) für fakultativ und 16 % (N =4) für nicht erforderlich.

Abbildung 36: Notwendigkeit unterschiedlicher Warnsignale bei E-Pkw

Frage: Besteht eine Notwendigkeit bestimmter Formen von Warnsignalen im Zusammenhang mit dem Betrieb von Kraftfahrzeugen mit elektrischem Antriebsstrang im Straßenverkehr?



N = 25 (keine Angabe: Zwei ExpertInnen), Frage D4, Mehrfachnennungen möglich
 Quelle: Eigene Darstellung

Die visuelle Warnung wird von 44 % (N =11) der Befragten als mögliche Option betrachtet. So befürworteten auf Nachfrage im Telefoninterview nahezu alle InteressenvertreterInnen das Einschalten des Tagfahrlichtes. Diese Maßnahme sollte laut der meisten InteressenvertreterInnen verpflichtend für alle Fahrzeuge, nicht nur E-Pkw eingeführt werden – bestenfalls für alle EU-Länder. Ein Interessenvertreter empfahl zusätzliche (LED-) Scheinwerfer bei E-Pkw zur besseren Erkennbarkeit einzubauen, denn der größte Teil der sehgeschädigten Menschen könnte aufgrund einer Restsehfähigkeit beleuchtete Fahrzeuge in der Regel deutlich besser wahrnehmen als unbeleuchtete Fahrzeuge. Bei modernen Fahrzeugen sei das Tagfahrlicht ohnehin immer automatisch eingeschaltet, was durchaus sinnvoll für die bessere Erkennung der geräuscharmen E-Pkw sei. Einige der Befragten hielten die visuelle Warnung für mindestens genauso wichtig wie die akustische Warnung. Andere hingegen meinten, dass ein Ton deutlich mehr bewirken kann als beispielsweise Licht. Insgesamt halten 32 % (N =8) der InteressenvertreterInnen eine visuelle Warnung für nicht erforderlich.

Die Meinungen zur taktile Warnung waren recht heterogen: Taktile Warnsignale werden von 52 % (N =13) der Befragten als nicht erforderlich angesehen oder sind lediglich als Option denkbar. Dies hing u. a. damit zusammen, dass sich die Befragten unter taktile Warnung nur wenig vorstellen konnten. Die Vorstellung klärte sich erst nach Nennung von Beispielen

während des Telefoninterviews (z. B. Verwendung einer vibrierenden Uhr oder eines vibrierenden Langstocks bei Anwesenheit von E-Pkw usw.). Jedoch änderte sich die Meinung der Befragten zu diesem Punkt dadurch nicht.

In Bezug auf Maßnahmen, die einen effektiven Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit leisten, waren sich alle 27 Befragten einig, dass fahrzeugtechnische Maßnahmen den größten Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten könnten, gefolgt von verkehrsregelnden Maßnahmen (z. B. allgemeine Geschwindigkeitsbeschränkungen, 63 %, N =17) sowie verhaltensbezogenen Maßnahmen, z. B. Kampagnen und spezielle Trainings, 56 % (N =15). Die InteressenvertreterInnen empfahlen, dass Fahrerassistenzsysteme und die Sensorik bei E-Pkw zukünftig noch weiterentwickelt werden sollten. So könnten beispielsweise in Testfeldern eingesetzte, autonom fahrende Busse bereits heute auf bestimmten Straßen und in speziellen Verkehrssituationen automatisch langsamer fahren, z. B. wenn ein zu Fuß gehender auf dem Bürgersteig erkannt wird. Um die Verkehrssicherheit zu erhöhen, könnte dies zukünftig auch bei E-Pkw umgesetzt werden. Die dazu erforderliche Fahrzeugtechnik ist allerdings noch nicht vollständig ausgereift, zudem nicht verpflichtend. So sollte beispielsweise der Einbau von Notbremsassistenten keine Frage des Preises sein, sondern sollten solche Systeme zur Standardausstattung eines Neufahrzeugs gehören.

Auch Maßnahmen, die auf die Kommunikation zwischen dem E-Pkw und dem Verkehrsteilnehmenden (Car2X) abzielen, sowie Maßnahmen, die die Verwendung eines persönlichen, technischen Gerätes beinhalten, wurden zum Teil als effektiv angesehen (37 % (N =10) bzw. 30 % (N = 8), vgl. Abbildung 37). Die wurde allerdings mit der Bedingung verknüpft, dass diese Maßnahmen bei unterschiedlichen Entfernungen sicher funktionieren müssten. Den FußgängerInnen und RadfahrerInnen sollte dann sowohl visuell als auch akustisch signalisiert werden, wo sich der E-Pkw befindet und mit welcher Geschwindigkeit er fährt (z. B. weniger als 20 km/h oder mehr als 20 km/h).

Als weitere effektive Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit wurden folgende Maßnahmen aufgeführt⁵⁴:

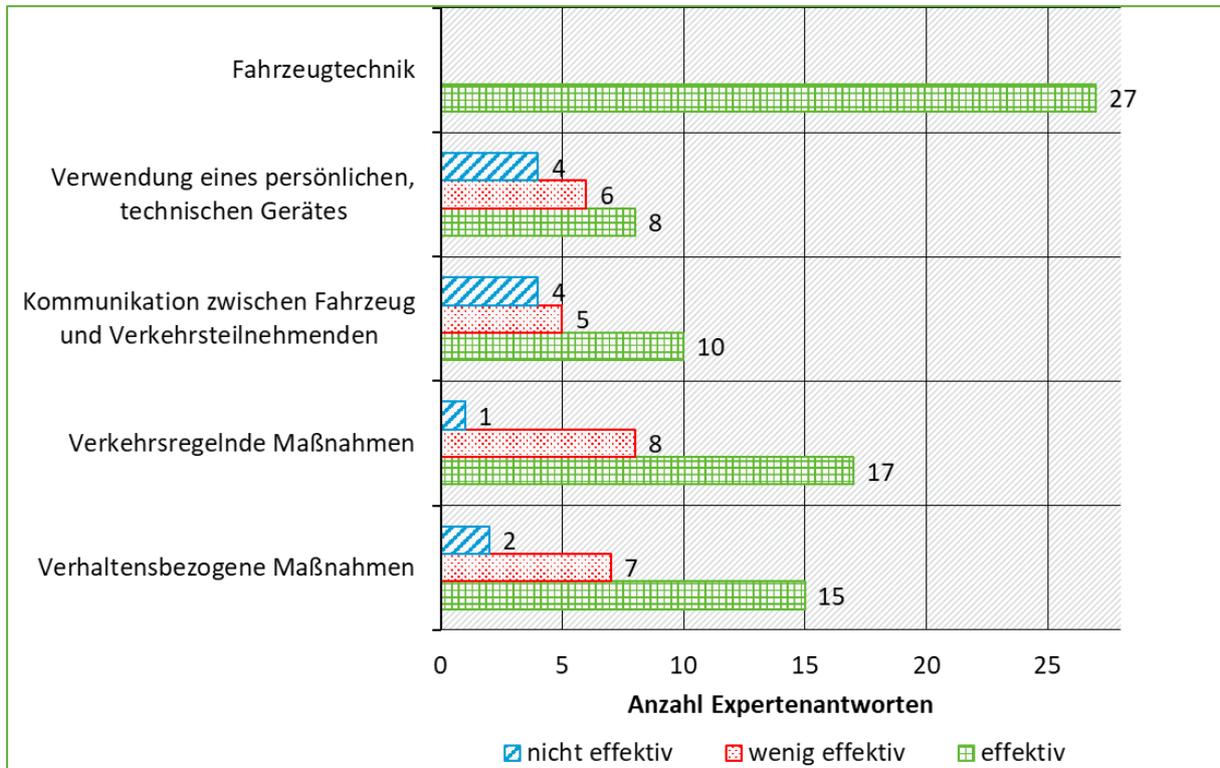
- ▶ Allgemeine Geschwindigkeitsbeschränkungen, z. B. Tempo 30 Regelgeschwindigkeit innerorts;
- ▶ Dialog-Display zur Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit;
- ▶ Verringerung des gesamten Fahrzeugaufkommens (MIV, LKW), v. a. in den Innenstädten;
- ▶ verbesserte bauliche Trennung von Fuß- und Radwegen;
- ▶ App zu Warnung vor E-Pkw;
- ▶ Verbesserung der Fahrausbildung der FahrerInnen von E-Pkw zur Vorbereitung auf potenzielle Gefahrensituationen (Übungen, Schulungen, regelmäßige Trainings);
- ▶ Automatische Erkennung von FußgängerInnen und RadfahrerInnen (vergleichbar mit Licht am Außenspiegel für toten Winkel);

⁵⁴ Die erwähnten Maßnahmen wurden schwerpunktmäßig in Kapitel 5 behandelt.

- Vibrierender Blindenstock, der mit dem E-Pkw kommuniziert.

Abbildung 37: Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit

Frage: Welche der folgenden Maßnahmen könnte effektiv zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen?



N = 27, Frage D5, Mehrfachnennungen möglich.

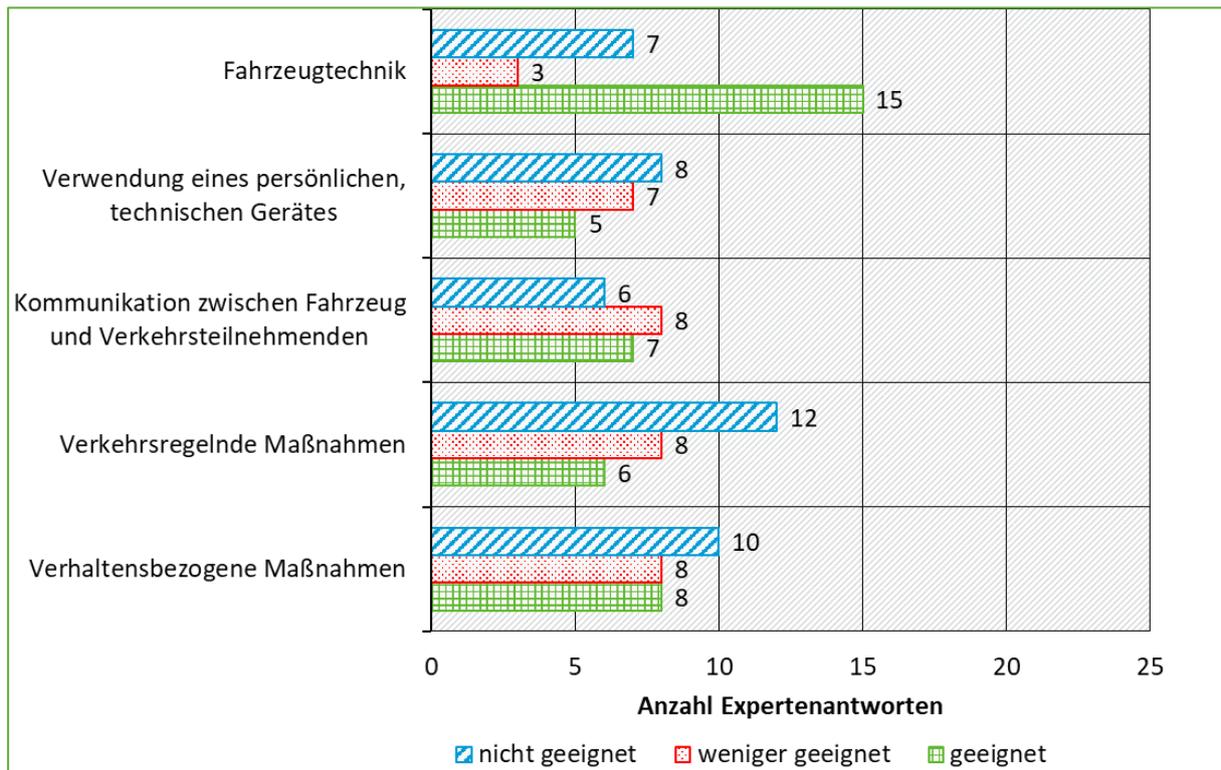
Quelle: Eigene Darstellung

Nach Einschätzung von 56 % (N = 15) der Befragten eignen sich lediglich fahrzeugtechnische Maßnahmen dazu, das derzeitige AVAS zu ersetzen (vgl. Abbildung 38). Verkehrsregelnde und verhaltensbezogene Maßnahmen wurden von den meisten InteressenvertreterInnen als Alternative zum AVAS als nicht geeignet betrachtet. Diese sind lediglich als Ergänzung zum AVAS denkbar und könnten in Kombination mit anderen Maßnahmen eine effektive Wirksamkeit erzielen.

Die Meinungen zu den AVAS-Alternativen gingen bei den befragten InteressenvertreterInnen zum Teil stark auseinander. Die Sichtweise wurde stark vom fachlichen Hintergrund bestimmt. So vertraten beispielsweise die Personen mit Sehbeeinträchtigung die Meinung, dass das derzeitige AVAS alternativlos sei. Für sie und ihre Interessengemeinschaft sind keine alternativen Maßnahmen denkbar, die hinsichtlich der Wahrnehmung der E-Kfz eine mit dem AVAS vergleichbare Wirksamkeit für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen erzielen. Es wurde noch einmal betont, dass ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen auf die akustischen Informationssignale angewiesen seien.

Abbildung 38: Mögliche AVAS-Alternativen

Frage: Welche der folgenden Maßnahmen wäre geeignet, ein AVAS zu ersetzen?



N = 27, Frage D6, Mehrfachnennungen möglich.

Quelle: Eigene Darstellung

Ein Experte erklärte, dass das AVAS keinesfalls ersetzt werden kann, da akustische Warnsysteme im Vergleich zu anderen Systemen deutlich weniger fehleranfällig seien. Bei einem akustischen System müsste lediglich die Lautstärke reguliert und die Lautsprecher regelmäßig auf ihre Funktionsfähigkeit hin überprüft werden. Er machte den Vorschlag, dass die Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Lautsprecher bzw. des Systems beispielsweise auch in die regelmäßige Hauptuntersuchung des Fahrzeugs aufgenommen werden sollte. Sensoren seien im Allgemeinen deutlich anfälliger als Lautsprecher. AVAS sollte daher nicht ersetzt werden, sondern lediglich durch zusätzlich Systeme unterstützt werden, z. B. Sende- oder Empfangseinheit für blinde VerkehrsteilnehmerInnen oder an Fahrrädern.

Die Frage, ob es vorstellbar wäre, dass zu Fuß gehende und Rad fahrende zukünftig eine Sende- bzw. Empfangseinheit mit sich führen, fand wenig Zuspruch. 78 % (N = 21) der InteressenvertreterInnen lehnten dies ab (vgl. Abbildung 39). Sie führten hierzu folgende Begründungen auf:

- Es sei die falsche Herangehensweise, dass diejenigen, die gefährdet seien und von denen nicht die Gefahr ausginge, die Verantwortung tragen müssten. Die Vorsorgepflicht dürfe daher nicht auf die ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen übertragen werden. Die Verantwortung sollte bei den FahrerInnen des E-Pkw liegen. Daher sei das Mitführen einer Sende- oder Empfangseinheit für die ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen nicht zumutbar.

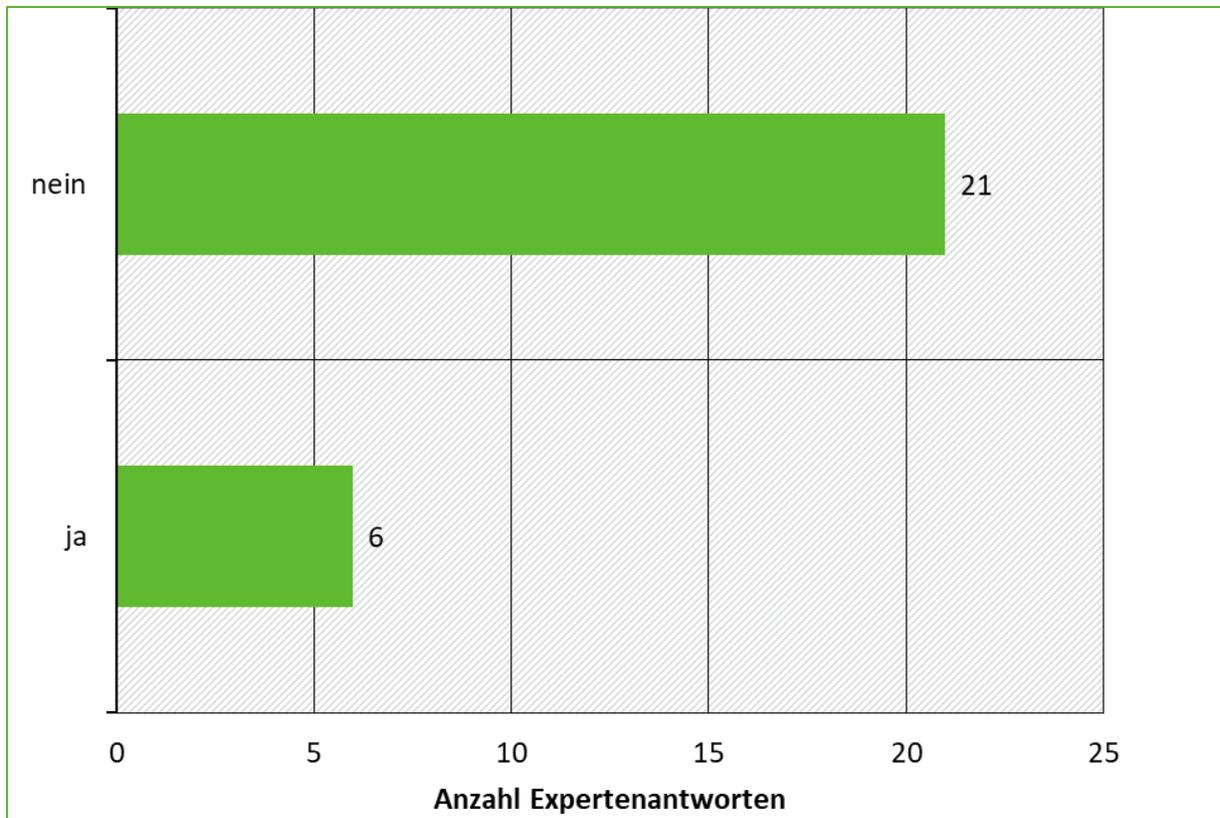
- ▶ Leise Fahrzeuge stellten nicht nur für sehgeschädigte Menschen eine Gefahr dar, sondern für alle VerkehrsteilnehmerInnen. Demzufolge müsste jeder zu Fuß gehende und Rad fahrende mit einer solchen Sende- oder Empfangseinheit ausgestattet sein. Dies sei jedoch undenkbar. Entscheidend sei eine gegenseitige Vor- und Rücksichtnahme von FahrerInnen und FußgängerInnen sowie RadfahrerInnen.
- ▶ Die Gefahr sei zu groß, dass das Sende- oder Empfangsgerät zuhause vergessen wird, der Akku nicht aufgeladen ist o. Ä.
- ▶ Es sei zu vermuten, dass FußgängerInnen und RadfahrerInnen sich mit einem derartigen Gerät ausschließlich auf die Warnung bzw. Technik verlassen und demzufolge weniger achtsam die Fahrbahn betreten würden.
- ▶ Ein Zwang, derartige Gerät mitführen zu müssen, wurde z. T. als diskriminierend für sehgeschädigte Menschen empfunden.
- ▶ Bei der Teilnahme am Verkehr könnte das Gerät freiwillig (und damit als ergänzende Maßnahme) mitgeführt werden, es dürfe jedoch nicht verpflichtend sein.

Die blinden und damit am ehesten betroffenen Befragten schlossen diese Maßnahme kategorisch aus. Auch als Zusatzfunktion zum AVAS sei diese Maßnahme für sie nicht denkbar. Sehgeschädigte Personen müssten ohnehin an eine Vielzahl von Dingen denken, um sich sicher im Verkehr bewegen zu können, wenn sie das Haus verlassen (z. B. Langstock, Mobiltelefon usw.) Zudem würden sich sehgeschädigte Personen nicht noch mehr von technischen Geräten abhängig machen wollen. Weiterhin wurde ein Problem im Zusammenhang mit der Verantwortung gesehen. Mit der Sende- bzw. Empfangseinheit würde die volle Verantwortung für die Absicherung an die sehgeschädigten VerkehrsteilnehmerInnen übertragen werden. Dies sei nicht angemessen.

Ein Befragter mit Sehbeeinträchtigung erklärte, dass eine derartige Maßnahme nur in Frage käme, wenn es beispielsweise ein Gerät gäbe, welches z. B. in alltägliche Gegenstände oder vorhandene Hilfsmittel, wie einen Schuh, eine Jacke, eine Mütze, einen Gürtel, einen Langstock o. Ä. integriert werden könnte. Es wäre somit kein zusätzliches Utensil und man müsste folglich nicht daran denken, einen weiteren Gegenstand einzupacken, sobald man das Haus verlässt. Das Gerät müsste sich zudem von selbst aufladen (z. B. Stromgenerierung beim Laufen), um eine permanente Funktionsfähigkeit zu ermöglichen. Nur unter diesen Bedingungen wäre eine Sende- bzw. Empfangseinheit für sehgeschädigte Personen zukünftig denkbar.

Abbildung 39: Akzeptanz einer Sende- bzw. Empfangseinheit für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen

Frage: Wäre es vorstellbar, dass zu Fuß gehende oder Rad fahrende zukünftig eine Sende- oder Empfangseinheit mit sich führen, wenn es der Erhöhung der Verkehrssicherheit dient?



N = 27, Frage D7.

Quelle: Eigene Darstellung

In Bezug auf die Frage, welche Anforderungen im Allgemeinen an ein Warnsystem gestellt werden sollten (vgl. Anhang B, Frage D9), gaben die Befragten folgende Antworten:

- ▶ Einheitliches Warngeräusch, d. h. keine starken Unterschiede zwischen der Art der Warngeräusche;
- ▶ Markantes, einprägsames Warngeräusch, d. h. die zu warnenden Personen müssen die Warnung eindeutig als solche erkennen können – auch bei verschiedenen E-Pkw;
- ▶ Intuitiv wahrnehmbares Geräusch, welches sofort als Hinweis wahrgenommen wird und direkt einem Fahrzeug zugeordnet wird;
- ▶ Technische Zuverlässigkeit, d. h. das System darf nicht vom Fahrzeuglenkenden zu deaktivieren sein;
- ▶ Kein Aufpreis für das System beim Fahrzeugkauf;
- ▶ Verpflichtend;
- ▶ International einheitlicher Standard;
- ▶ Hinweis nur, wenn tatsächlich erforderlich, z. B. über Sensorik oder manuelle Betätigung;

- ▶ Adaptives Geräusch, das sich automatisch und situationsabhängig an den Umgebungspegel anpasst; d. h. innerhalb bebauter Gebiete sollte das Geräusch lauter sein als in verkehrsberuhigten Bereichen⁵⁵;
- ▶ Das Geräusch muss aktuellen Betriebszustand, die Veränderung des Betriebszustandes und die Fahrzeugposition zuverlässig erkennen lassen;
- ▶ Ein Gleichgewicht zwischen minimaler Lästigkeit und minimalen Schallemissionen;
- ▶ Die Tonalität muss gehörspezifisch berücksichtigt werden (insofern keine Einzeltöne);
- ▶ Eine Gefahrenerkennung sollte unabhängig von Zusatzgeräten wie Smartphones o. Ä. funktionieren. Zusatzgeräte sind nur zur Sicherheitserhöhung für bestimmte Personengruppen (z. B. sehgeschädigte Personen) denkbar;
- ▶ Das Warnsystem sollte Fahrzeugführenden die Position der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen auf einem Display im Fahrzeug anzeigen.

Bei der Frage „Welche Aspekte könnten die Akzeptanz eines Warnsystems steigern?“ (Frage D10, Anhang B), führten die Befragten folgende Punkte auf:

- ▶ Angenehmer Klang mit hinreichendem Informationsgehalt;
- ▶ Klar definierter Soundcharakter, der eine ausreichende Wahrnehmung ermöglicht und ein dafür ausgelegtes System als solches sofort erkennen lässt;
- ▶ Wiedererkennungswert, d. h., das Geräusch sollte einem konventionellen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor ähneln;
- ▶ Installation am Fahrzeug (nicht an FußgängerInnen und RadfahrerInnen);
- ▶ Geringe Belästigung Unbeteiligter;
- ▶ Enge Abstimmung auf Personengruppen mit besonderem Schutzbedarf;
- ▶ Anwendung/Auslösung nur bei tatsächlichem Bedarf, z. B. vor Einrichtungen für Menschen mit Behinderungen; keine generelle Aktivität;
- ▶ Spezifität des Systems, d. h. das System erkennt zuverlässig querungswillige zu Fuß gehende bzw. Rad fahrenden sowie VerkehrsteilnehmerInnen, die wegen absehbarem Fehlverhaltens gewarnt werden müssen;
- ▶ Adaption (Lautstärkeregelung) an die Umgebungssituation;
- ▶ Konsequente und schnelle Einführung ohne große „Schlupflöcher“ und Fristen;
- ▶ Verstärkte Hervorhebung des Sinns, Zwecks und der Wirksamkeit des Warnsystems (Werbung, Schule, Weiterbildung usw.).

⁵⁵ System ist vergleichbar mit der adaptiven Ampelakustik oder der automatischen Radioregelung, welches bei höheren Geschwindigkeiten automatisch lauter geregelt wird.

Auf die Frage, was im Hinblick auf ein Warnsystem vermieden werden sollte (Frage D11, Anhang B), gaben die InteressenvertreterInnen Folgendes an:

- ▶ Missverständliche Geräusche;
- ▶ Geringe Warnintensität, d. h., das Warnsystem darf nicht leiser sein als ein Verbrennungsmotor und nicht lauter als bisherige bekannte Kfz-Geräusche;
- ▶ Fehlwarnungen, d. h. technische Unzuverlässigkeit;
- ▶ Branding, d. h. unüberschaubare Ausdifferenzierung von Warngeräuschen im Straßenverkehr;
- ▶ Kakophonie von Geräuschen;
- ▶ Lästige Geräusche – sowohl für FußgängerInnen und RadfahrerInnen als auch für die FahrerInnen;
- ▶ Unnötige akustische Störung von Unbeteiligten (z. B. Gäste in einem Straßencafé, Passanten auf dem Bürgersteig usw.);
- ▶ Dauerhafte Warngeräusche (wie z. B. das intermittierende akustische Warngeräusch von Lkw, Baumaschinen etc. beim Rückwärtsfahren); Beschränkung der akustischen Warnung grundsätzlich nur auf Bedarfsituationen (das allgemeine Verkehrsgeschehen ist keine „Gefahrensituation“ mit besonderem Bedarf);
- ▶ „Dauerbeschallung“ der gesamten Umgebung, Vermeidung zusätzlicher Lärmbelastungen in sensiblen und bereits hochbelasteten Bereichen: Die Störung sollte nicht größer als der Nutzen sein;
- ▶ Einbindung von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen durch unhandliche und/oder zusätzliche Gegenstände/Geräte (Einbindung in Smartphones ggf. denkbar);
- ▶ Erhöhung der Belastung durch Geräusche und tonhaltige Signale, die das allgemeine Rauschen deutlich übertönen und damit auch in Ruhe-/Schlafphasen negativ wirken;
- ▶ unspezifische Warnung, indem die Warninformation ohne Rücksicht auf tatsächliche Gefährdung erfolgt (z. B. der Piepton beim Rückwärtsfahren von Lkw erreicht auch Anwohnerinnen und Anwohner in der Nachbarschaft, die überhaupt nicht tangiert sind);
- ▶ Vernachlässigung des Datenschutzes, d. h. keine auslesbare GPS-Referenzierung des Standortes, keine gerichtliche Verwertbarkeit der Sende-/Empfangseinheiten für Fuß- und Radverkehr;
- ▶ aufwändige technische Infrastrukturen;
- ▶ Überregulierung des Warnsystems.

6.1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das übergeordnete Ziel der Stakeholderbefragung lag darin, die unterschiedlichen Positionen und Blickwinkel, welche die aktuelle Diskussion zum AVAS bestimmen, in Erfahrung zu bringen. Hierfür wurden insgesamt 27 InteressenvertreterInnen aus unterschiedlichen Fachbereichen befragt – zunächst mit Hilfe eines Fragebogens und anschließend in einem Telefoninterview. Die persönlichen Erfahrungen der Befragten sowie die Standpunkte der von ihnen vertretenen Interessengemeinschaft wurden in Abschnitt 6.1.2 ausführlich dargestellt. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Befragung zusammengefasst.

Den meisten InteressenvertreterInnen war das AVAS bereits vor der Befragung ein Begriff. Die Funktion und der Zweck des AVAS war ihnen u. a. aufgrund ihres beruflichen Hintergrundes bekannt. Vor allem die InteressenvertreterInnen aus dem Bereich Fahrzeugtechnik und Fahrzeugakustik waren mit Details zum System sehr gut vertraut.

Von kritischen Verkehrssituation mit einem leisen Kraftfahrzeug konnten nur wenige der Befragten berichten. In der Regel hatten die Personen, die eine kritische Situation erlebt hatten, das herannahende Fahrzeug nicht wahrgenommen und sich daraufhin erschreckt. Vereinzelt gab es Erfahrungen aus der Perspektive der FahrerInnen, die bestätigen, dass Personen und Tiere vom herannahenden Fahrzeug überrascht werden können. Die meisten InteressenvertreterInnen hatten bisher jedoch weder selbst eine kritische Verkehrssituation (im Sinne einer kritischen Interaktion mit einem E-Pkw) erlebt, noch beobachtet, noch von anderen Personen mitbekommen.

Die Einschätzung zur Belästigung von Verkehrsgeräuschen war recht unterschiedlich. Hierbei kam es auf das persönliche Empfinden der befragten Personen an. So wurde beispielsweise der allgemeine Straßenverkehrslärm von den meisten der Befragten als wenig störend eingestuft. Einige der InteressenvertreterInnen fühlten sich aber durch den allgemeinen Straßenverkehrslärm stark gestört. Die Störungen durch Fahrzeuggeräusche beim Anfahren, Beschleunigen, Bremsen sowie die allgemeinen Motorengeräusche wurden ebenfalls unterschiedlich bewertet. Geräusche wie Hupen, Martinshorn und Klingeln wurden hingegen überwiegend als stark störende Geräusche genannt.

Hinsichtlich der Lärmbelästigung in Wohngebieten und verkehrsberuhigten Bereichen waren sich die meisten der Befragten einig: Von E-Pkw ohne AVAS geht hier keine Lärmbelästigung aus. Bei E-Pkw mit AVAS wird hingegen mehrheitlich eine geringe Lärmbelästigung, zum Teil sogar hohe Belästigung, in Wohngebieten vermutet. Die InteressenvertreterInnen sind sich daher überwiegend einig, dass der große Vorteil der Elektromobilität – das geräuscharme Fahren – nicht durch zusätzliche, neue Schallemissionen zunichtegemacht werden sollte. Das Ziel sollte darin liegen, eine Lärmvermeidung durch Elektrofahrzeuge sicherzustellen und gleichzeitig eine sichere Mobilität für alle VerkehrsteilnehmerInnen im Straßenverkehr zu gewährleisten. Die Verkehrssicherheit genießt dabei hohe Priorität, wobei aber auch der Lärmschutz und der damit einhergehende Gesundheitsschutz nicht vernachlässigt werden darf.

Für die InteressenvertreterInnen steht fest, dass eine akustische, vom Fahrzeug ausgehende Warnung erforderlich ist, um die Aufmerksamkeit aller VerkehrsteilnehmerInnen zu erregen und möglichen Konflikten zwischen E-Pkw und FußgängerInnen und RadfahrerInnen vorzubeugen. Insbesondere für sehgeschädigte Personen, für Kinder und für ältere VerkehrsteilnehmerInnen stellt das akustische Informationssignal eine große Hilfe bei der

Orientierung und für die persönliche Sicherheit im Straßenverkehr dar. Daher sind zwar zusätzliche Maßnahmen, wie z. B. allgemeine Geschwindigkeitsbeschränkungen, Car2X, Aufklärungskampagnen, Einschalten des Tagfahrlichtes usw. denkbar. Jedoch eignen sich aus Sicht der Befragten diese nicht dazu, das heutige AVAS zu ersetzen. Insbesondere verkehrsregelnden und verhaltensbezogenen Maßnahmen werden als ergänzende Maßnahmen zum AVAS positiv eingeschätzt, um eine effektive Wirkung erzielen. Jedoch können sie den Zweck des akustischen Signals nicht vollständig ersetzen. AVAS ist insbesondere auch aus Sicht der sehgeschädigten Personen eine alternativlose Maßnahme, um die Wahrnehmbarkeit von elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen sicherzustellen.

Es wurden allerdings zahlreiche Vorschläge von den InteressenvertreterInnen gemacht, wie das derzeitige AVAS modifiziert werden könnte, um dadurch die Akzeptanz dieses Warnsystems ggf. zu erhöhen. So sprach sich der Großteil der InteressenvertreterInnen für ein einheitliches und markantes Geräusch aus, welches nicht dauerhaft bei Fahrgeschwindigkeiten bis 20 km/h ertönt, sondern nur bei Anwesenheit von FußgängerInnen und RadfahrerInnen. Zudem wurde im Hinblick auf den Lärmschutz ein akustisches Warngeräusch befürwortet, welches sich automatisch an den Geräuschpegel in der Umgebung anpasst. Die Störung dürfe keinesfalls größer sein als der Nutzen des Systems. Weiterhin forderten die InteressenvertreterInnen, dass das Warngeräusch eindeutig erkennbar ist. Ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen müssten das Geräusch intuitiv dem Szenario „Fahrzeug“ zuordnen können, um entsprechend reagieren zu können. Die meisten InteressenvertreterInnen sprachen sich in diesem Zusammenhang gegen ein markenspezifisches Geräusch aus, da die Markenspezifität für die Verkehrssicherheit keinen Vorteil brächte. Es wurde vielmehr angenommen, dass durch eine Vielzahl unterschiedlicher AVAS-Geräusche eine Kakophonie entstehen könnte, welche die Wahrnehmbarkeit der leisen Fahrzeuge durch schwächere VerkehrsteilnehmerInnen grundsätzlich deutlich verschlechtern könnte.

Im Zuge des zunehmenden Anteils elektrisch angetriebener Kraftfahrzeuge wurde betont, dass die gegenseitige Vor- und Rücksichtnahme aller VerkehrsteilnehmerInnen, d. h. sowohl der FahrerInnen auch der FußgängerInnen und RadfahrerInnen eine entscheidende Rolle für die Verkehrssicherheit spielt. Zudem müssten sich alle VerkehrsteilnehmerInnen der neuen Herausforderung des leisen Fahrens im Straßenverkehr bewusstwerden und sich – vor allem während der Transferphase – noch aufmerksamer verhalten. Daher ist es umso wichtiger, alle Akteure frühzeitig auf die Thematik aufmerksam zu machen und sie für das Thema und die Zusammenhänge zu sensibilisieren. Es wurde von einigen Befragten konstatiert, dass sich die ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen nach und nach an die geräuscharmen Fahrzeuge im Straßenverkehr gewöhnen werden. Begründet wurde dies unter anderem damit, dass leise Fahrzeuge (z. B. moderne Benziner, Fahrräder) immer schon Bestandteil des Verkehrsgeschehens waren. Alle diese Fahrzeuge sind nicht mit einem dauerhaft wirksamen, akustischen Signal ausgestattet. Allerdings wurde genauso die Ansicht vertreten, dass von diesen Fahrzeugen aufgrund der schlechten Wahrnehmbarkeit ein potenzielles Risiko für schwächere VerkehrsteilnehmerInnen ausgehe. Dahingehend wurde empfohlen, über die Ausstattung kleinerer Fahrzeugklassen (z. B. E-Scooter, E-Roller, E-Bikes, Quads usw.) mit einem AVAS nachzudenken.

Um zukünftig die Wirksamkeit und Effektivität des AVAS besser beurteilen zu können, wurde zudem empfohlen, die Unfallaufnahme bzw. Unfallauswertung bei Unfällen mit Beteiligung von E-Kfz (Pkw, LKW, Busse, Lieferwagen usw.) zukünftig deutlich detaillierter durchzuführen.

Insbesondere bei Zusammenstößen zwischen E-Pkw und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen sollten die Ursachen genau erfasst und analysiert werden, um sichere statistische Grundlagen für die Weiterentwicklung von Maßnahmen zu bilden.

6.2 Workshop

6.2.1 Einführung

Am 3. November 2020 fand ein Workshop mit insgesamt 34 Teilnehmenden aus folgenden Fachbereichen statt:

- ▶ VertreterInnen der Belange von Menschen mit Behinderungen,
- ▶ InteressenvertreterInnen Mobilität,
- ▶ Verkehrssicherheit,
- ▶ Wissenschaft und Forschung,
- ▶ Lärmschutz,
- ▶ Kommunen,
- ▶ Fahrzeugbereich und
- ▶ „AnwenderInnen“.

Der Workshop stellt einen zentralen Baustein für die Ergebnisfindung im Forschungsvorhaben dar und verfolgte dabei folgende Ziele:

- ▶ Neue Perspektiven im Zusammenhang mit AVAS ermöglichen;
- ▶ Das eigene Wissen in Bezug auf AVAS erweitern;
- ▶ Verständnis für die Sichtweisen anderer Akteure entwickeln;
- ▶ Mögliche Alternativen im Zusammenhang mit AVAS diskutieren;
- ▶ Lösungsansätze für Kompromisslösungen erarbeiten;
- ▶ Ein Gleichgewicht zwischen Verkehrssicherheit und Lärmschutz schaffen.

Der Workshop⁵⁶ startete zunächst mit einer thematischen Einführung in das Forschungsprojekt sowie den Workshop. Im Anschluss wurde in zwei Diskussionsrunden mit unterschiedlichen Themenschwerpunkten diskutiert. Hierzu wurden die Teilnehmenden in drei Kleingruppen (sogenannte „Breakout-Sessions“) eingeteilt, wobei darauf geachtet wurde, dass Personen mit unterschiedlichen Arbeitsschwerpunkten möglichst auf die Gruppen verteilt wurden. Damit sollte in jeder Gruppe möglichst ein ausgewogenes Verhältnis zwischen unterschiedlichen

⁵⁶ Aufgrund von Einschränkungen infolge der Corona-Pandemie konnte der Workshop nicht – wie ursprünglich geplant – als Präsenzveranstaltung stattfinden. Er wurde als virtuelle Konferenz durchgeführt.

Sichtweisen hergestellt werden. Zur Dokumentation der Ergebnisse wurden digitale Arbeitsbereiche (digital workspaces, Mural Boards) verwendet (s. Anhang D).

6.2.2 Ergebnisse der ersten Diskussionsrunde

In der ersten Diskussionsrunde ging es schwerpunktmäßig darum, die allgemeine Haltung der Teilnehmenden zu AVAS kennenzulernen. Hierbei waren die Teilnehmenden angehalten, sich zunächst kurz vorzustellen und anschließend ihre Sichtweise zum derzeitigen AVAS-Warngeräusch kund zu tun.

Während der Diskussion hat sich gezeigt, dass es zu bestimmten Diskussionspunkten sowohl gleiche bzw. ähnliche als auch konträre Ansichten bei den InteressenvertreterInnen gab. Diese Diskussionspunkte sind im Folgenden zusammengefasst.

Einigkeit herrschte überwiegend in folgenden Punkten:

- ▶ Beim AVAS handelt es sich um ein Hinweis- bzw. Aufmerksamkeitsgeräusch, welches in erster Linie der Verbesserung der Wahrnehmbarkeit der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen dient. AVAS ist kein Warngeräusch im klassischen Sinne (wie z. B. eine Fahrzeughupe).
- ▶ Ein zusätzliches akustisches Warngeräusch in Form eines AVAS kann einen Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten.
- ▶ Die Diskussion um AVAS betrifft nicht nur eine kleine Personengruppe, wie sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen, sondern auch Personengruppen, wie z. B. Kinder, ältere und abgelenkte VerkehrsteilnehmerInnen, RadfahrerInnen, Personen mit sensorischen Einschränkungen im Allgemeinen usw.
- ▶ Das AVAS ist, in der Form wie es heute existiert, nicht optimal gestaltet – weder im Hinblick auf den Lärmschutz noch im Hinblick auf die Wahrnehmbarkeit. Daher sehen die InteressenvertreterInnen hier Optimierungsbedarf. So sprechen sie sich beispielsweise für gut wahrnehmbare und angenehme Warngeräusche aus. Von einer Kakophonie unterschiedlicher Warngeräusche, z. B. je nach Fahrzeughersteller, ist abzusehen. Ein einheitliches euphonisches Warngeräusch sowohl aus Sicht der Verkehrssicherheit als auch aus Sicht des Lärmschutzes wird bevorzugt.
- ▶ Aufgrund der „automatischen Warnwirkung“ von Verbrennerfahrzeugen, sollte sich AVAS möglichst dem Sound dieser Fahrzeuge annähern. Dies würde zudem die Zuordnung des Geräusches erleichtern.
- ▶ AVAS darf auch für den Fahrer bzw. die Fahrerin keine Belästigung im Innenraum des Fahrzeugs darstellen.
- ▶ Es ist sinnvoll direkt beim Thema Lärmschutz anzusetzen. Denn wenn der Verkehr insgesamt leiser wird, könnte auch das AVAS leiser gestaltet werden.

Uneinigkeit herrschte überwiegend in folgenden Punkten (Tabelle 16):

Tabelle 16: Zusammenfassende Darstellung der gegensätzlichen Positionen im Workshop

Diskussionspunkt	Position A	Position B
Modifikationsbedarf beim derzeitigen AVAS	Ablehnung eines dauerhaften Signals bis 20 km/h. Es wird eine bedarfsorientierte bzw. situative Signalisierung bevorzugt.	Der gesetzlich festgelegte Geschwindigkeitsbereich für ein aktives AVAS ist nicht ausreichend, denn bei Geschwindigkeiten bis $v = 20$ km/h ist der Fahrzeuglenkende noch in der Lage, rechtzeitig in kritische Situationen einzugreifen. Es wird eine Erhöhung auf $v = 30$ km/h (wie in den USA) bevorzugt.
Gesetzlich festgelegter Schallpegel	AVAS ist lediglich bei niedrigem Umgebungspegel gut wahrnehmbar (z. B. in ruhigen Wohngebieten). Im Innenstadtbereich ist das derzeitige AVAS zu leise und folglich kaum wahrnehmbar.	AVAS verursacht insbesondere in ruhigen Umgebungen unnötigen Lärm. Hier sollte sich AVAS situativ an die Lautstärke des Hintergrundpegels anpassen können.
Erfordernis einer technischen Lösung	Die von E-Pkw ausgehende Gefährdung kann lediglich durch eine technische, vom Fahrzeug ausgehende Lösung behoben werden. Dies stellt die einzige sichere Lösung für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen dar.	Die Menschen sind lernfähig und werden sich auch zukünftig an die leisen E-Pkw gewöhnen. Immerhin gab es schon immer leise Fahrzeuge bzw. VerkehrsteilnehmerInnen, die heutzutage keine Gefährdung darstellen (z. B. leise Verbrenner, RadfahrerInnen usw.).
Verantwortung	Die Verantwortung darf nicht auf die ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen übertragen werden.	Die Verantwortung sollte nicht allein bei dem Fahrer bzw. der FahrerIn liegen. Jeder muss im Straßenverkehr im Rahmen seiner/ihrer Möglichkeiten aufmerksam sein und Verantwortung für sein eigenes Verhalten übernehmen.
Notwendigkeit eines AVAS	Leise Fahrzeuge verringern die Sicherheit und Teilhabe am Straßenverkehr für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen. AVAS stellt für sie die einzige Möglichkeit dar, sich auch zukünftig im Straßenverkehr selbstbestimmt bewegen zu können. Gegebenenfalls ist eine Unterscheidung Lkw/Pkw sinnvoll.	Beim AVAS handelt es sich um ein störendes, lärmverursachendes Geräusch. Der große Vorteil von E-Pkw (das geräuscharme Fahren) wird durch zusätzliche Warngeräusche verringert.
Warngeräusch im Stillstand	AVAS sollte auch im Stillstand ertönen. Dies würde für sehgeschädigten Personen die Ortung von E-Pkw erleichtern.	AVAS verursacht zusätzlichen Lärm und sollte keinesfalls auch noch im Stand ertönen.
Sounddesign	Mit dem AVAS-Geräusch wird zu viel Sounddesign betrieben. Hierunter leidet die Wahrnehmbarkeit von E-Pkw. Es ist genügend gesetzlicher Spielraum vorhanden, um das derzeitige Warngeräusch zu verbessern.	Das Sounddesign von E-Pkw hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert. Neuere E-Pkw mit einem AVAS klingen heutzutage deutlich angenehmer als noch vor einigen Jahren.

Diskussionspunkt	Position A	Position B
Beschäftigung mit der Thematik im Allgemeinen	Es ist wichtig, sich frühzeitig und präventiv mit der Thematik zu befassen, um zukünftig schlimmere Auswirkungen im Straßenverkehr verhindern zu können.	Es ist zu früh sich mit der Thematik zu befassen, da die Anzahl zugelassener E-Pkw in Deutschland sehr gering ist und kaum Erfahrungen (weder bei FahrerInnen noch bei betroffenen Personen) vorliegen.

Quelle: Eigene Erhebung

Die erste Diskussionsrunde hatte zum Ziel die Perspektive der anderen InteressenvertreterInnen kennenzulernen und bestenfalls Verständnis für andere Positionen zu erzeugen. Es war festzustellen, dass ein Zielkonflikt im Hinblick auf die Notwendigkeit des AVAS vorliegt. Für einige InteressenvertreterInnen ist AVAS hilfreich und erforderlich, um sich selbstständig und sicher im Straßenverkehr bewegen und orientieren zu können, für die anderen stellt das AVAS eine zusätzliche Lärmquelle dar, die es – in der Form wie sie heute existiert – zu vermeiden gilt.

Einige TeilnehmerInnen waren der Auffassung, dass die Diskussion um das Thema AVAS zu früh sei, da zum heutigen Zeitpunkt die Anzahl an E-Pkw auf Deutschlands Straßen zu gering sei. Demnach liegen keine belastbaren Unfallstatistiken vor, was die Diskussion um die Notwendigkeit der Warngeräusche erschwert. Es sind in Deutschland bisher nur sehr wenige Unfälle zwischen E-Pkw und FußgängerInnen bzw. RadfahrerInnen bekannt. Es wurde kritisiert, dass die Diskussion vorwiegend auf den eher Studien mit Laborcharakter aus dem In- und Ausland basiere. Zudem berichteten FahrerInnen von E-Pkw, dass sie bis dato keine kritischen Situationen mit FußgängerInnen oder RadfahrerInnen im Straßenverkehr erlebt hätten. Denn sie würden insbesondere bei geringen Geschwindigkeiten sehr aufmerksam fahren, da sie sich der Geräuscharmut ihres Fahrzeugs und der Wirkungen in der Regel bewusst sind. Auch bei sehgeschädigten VerkehrsteilnehmerInnen würden bisher kaum Erfahrungen mit E-Pkw im Straßenverkehr vorliegen. Grundsätzlich wird angemerkt, dass die Wirksamkeit des AVAS insofern noch nicht abschließend erwiesen sei.

6.2.3 Ergebnisse der zweiten Diskussionsrunde

Im Rahmen der zweiten Diskussionsrunde wurden alternative Maßnahmen zum AVAS behandelt. Hierfür wurden zunächst drei unterschiedliche Maßnahmen anhand von Kurzvideos (inkl. Audiodiskreption) vorgestellt und anschließend in Kleingruppen diskutiert. Folgende Maßnahmen wurden diskutiert:

1. Fußgängerwarnton („Fußgängerhupe“, vgl. Abschnitt 5.2.7);
2. Situatives AVAS (vgl. Abschnitt 5.2.6);
3. Sender-Empfänger-Modell (vgl. Abschnitt 5.3.6.2).

Diese Maßnahmen dienen als „Platzhalter“ stellvertretend für eine übergeordnete Gruppe an potenziellen Alternativen. Die zentralen Diskussionspunkte der InteressenvertreterInnen sowie Argumente für bzw. gegen die o. g. Maßnahmen werden im Folgenden zusammengefasst.

6.2.3.1 Beispiel 1 – Fußgängerwarnton

Als erstes Beispiel wurde ein Fußgängerwarnton als mögliche Alternative zum AVAS vorgestellt. Bei diesem System handelt es sich um einen „freundliches“ bzw. „zurückhaltendes“ Signal, welches bei Bedarf durch Betätigung eines Hebels von dem Fahrer bzw. der Fahrerin aktiv

ausgelöst werden muss. Der Ton ist deutlich leiser als eine herkömmliche Fahrzeughupe, damit sich VerkehrsteilnehmerInnen, denen das Signal gilt, sich im Regelfall bei Auslösung nicht erschrecken.

Das Beispiel steht stellvertretend für Systeme, bei denen die **Verantwortung der Warnung bei dem Fahrer bzw. der Fahrerin** liegt. Dieses Prinzip ist beispielsweise auch von der Fahrradklingel bekannt. Hier erfolgt ebenfalls eine aktive Betätigung, um die Aufmerksamkeit von FußgängerInnen oder anderen VerkehrsteilnehmerInnen zu erlangen oder diese zu warnen.

Für diese potenzielle AVAS-Alternative gehen die Meinungen der InteressenvertreterInnen z. T. stark auseinander. Aus Sicht des Lärmschutzes wird der Fußgängerwarnton im Allgemeinen befürwortet, da er nur bei Bedarf ausgelöst wird. Der Verzicht auf ein dauerhaftes Signal bis 20 km/h hätte insofern einen positiven Effekt auf den Lärmschutz, insbesondere nachts und in ruhigen Wohngebieten. Weiterhin gehen einige InteressenvertreterInnen davon aus, dass ein gezielt angewendetes Signal mehr Akzeptanz erfahren könnte als ein dauerhaft ertönendes Geräusch. Ein weiter Vorteil wurde darin gesehen, dass dieses System grundsätzlich bereits am Markt verfügbar ist. So ist das Prinzip beispielsweise beim Renault Twizy umgesetzt, bei dem das Signal über einen Drehschalter an einem Bedienhebel aktiviert oder deaktiviert wird (vgl. **Error! Reference source not found.**, Maßnahme F7).

Bedenken äußerten die TeilnehmerInnen insbesondere bezüglich der Frage der Verantwortung. Beim Fußgängerwarnton läge die Verantwortung vollständig bei den FahrerInnen. Ist dieser während der Fahrt abgelenkt oder unkonzentriert, könnte die Betätigung des Fußgängerwarntons vergessen werden. Dies stelle eine potenzielle Gefährdung für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen dar. Die meisten InteressenvertreterInnen vertraten die Ansicht, dass manuell zu betätigende Systeme im Allgemeinen deutlich unsicherer als technische, im Fahrzeug verbaute Systeme seien. Insbesondere in kritischen Fahrsituationen (z. B. rückwärts Ausparken) sei es aufgrund unzureichender Sichtverhältnisse undenkbar, dass derzeitige AVAS durch einen manuell auszulösenden Warnton zu ersetzen. Hier ginge für den Fuß- und Radverkehr die größte Unfallgefahr aus und es müsste entsprechend gewarnt werden.

Ein weiterer Nachteil wurde darin gesehen, dass der Fußgängerwarnton keine geschwindigkeitsabhängigen Informationen (z. B. Anfahren, Beschleunigung, Abbremsvorgang) an die ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen weitergibt. Auch die Distanz des Fahrzeugs sei schwer einzuschätzen (Richtungswahrnehmung). Jedoch seien insbesondere sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen auf derartige akustische Informationen angewiesen. So würde durch den Fußgängerwarnton dieser Personengruppe eine Möglichkeit genommen, sich selbstbestimmt im Straßenverkehr bewegen zu können.

Problematisch sei zudem, dass bei Anwesenheit mehrerer Elektrofahrzeuge der Fußgängerwarnton die VerkehrsteilnehmerInnen erschrecken könnte. Zudem merkten die InteressenvertreterInnen an, dass impulshaltige Geräusche in der Regel lästiger empfunden werden als kontinuierliche Geräusche. Hinzu käme eine aufwendige Nachrüstung des Systems bei bereits zugelassenen E-Pkw. Weiterhin bestehe die Gefahr, dass ältere oder hörgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen den unbekanntem, vergleichsweise leisen Warnton ggf. nicht richtig zuordnen können und diesen nicht dem Zweck entsprechend deuten.

Die InteressenvertreterInnen kamen zu dem Schluss, dass der Fußgängerwarnton zwar eine sinnvolle Ergänzung zum derzeitigen AVAS darstellen, jedoch keinesfalls ein Ersatz sein könnte. Insbesondere das Thema „Verantwortung“ wurde hierbei besonders kritisch gesehen.

6.2.3.2 Beispiel 2 – Situatives AVAS

Als zweites Beispiel wurde das „situative AVAS“ vorgestellt. Dieses System steht stellvertretend für ein **situationsbezogenes, adaptives System, welches erst in einer potenziellen Gefahrensituation aktiviert wird**. „Situativ“ bzw. „adaptiv“ kann Folgendes bedeuten:

- ▶ das Warngeräusch wird in Abhängigkeit der Gefahrensituation leiser oder lauter,
- ▶ das derzeitige AVAS wird von einem zusätzlichen, lauten Warngeräusch unterstützt oder
- ▶ es erfolgt eine selbständige Steuerung des Warntons in Abhängigkeit des Schallpegels der Umgebung.

Dieses System könnte aktiv durch den Fahrer bzw. die Fahrerin ausgelöst werden oder über die Fahrzeugsensorik (z. B. ein Assistenzsystem) oder es könnte eine Kommunikation mit einem persönlichen Kommunikationsmittel erfolgen.

Beim Einsatz des situativen AVAS (ohne den zusätzlichen, lauten Warnton) sahen die InteressenvertreterInnen Potenzial für eine Lärminderung im Straßenverkehr. Insbesondere nachts wurde hier ein großes Lärmschutzpotenzial (gebietsabhängig) gesehen, wenn das Signal nur in erforderlichen Situationen ertönen würde. Falle der dauerhafte akustische Warnton weg, könnte dies auch eine Entlastung für BerufskraftfahrerInnen (z. B. von Bussen) darstellen, da diese den Emissionen ansonsten während ihrer Arbeitszeit dauerhaft ausgesetzt wären.

Ein Vorteil der Steuerung über die Fahrzeugsensorik wurde darin gesehen, dass im Vergleich zum Fußgängerwarnton die Verantwortung nicht allein bei dem Fahrer bzw. der Fahrerin liege. Die Verantwortung wird an die Fahrzeugtechnik und/oder zeitgleich bei den ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen (d. h. bei Einsatz eines Kommunikationsmittels) übertragen. Dieses System könnte daher zu mehr Sicherheit im Straßenverkehr beitragen.

Einige InteressenvertreterInnen gehen davon aus, dass ein An- und Abschalten des Signals möglicherweise störender wirken könnte als ein permanent aktiver Ton bei geringen Geschwindigkeiten.

Eine große Herausforderung stelle laut der InteressenvertreterInnen zudem die exakte Definition kritischer Situationen dar, in denen das Signal tatsächlich aktiv werden soll. Die Festlegungen für eine Eingriffsschwelle müssten die rechtzeitige und zuverlässige Erkennung von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen gewährleisten. Für die technische Umsetzung wurde ein besonders hoher Entwicklungsaufwand gesehen.

Die InteressenvertreterInnen kommen mehrheitlich zu dem Schluss, dass das situative AVAS als ergänzendes System zu heutigen Assistenzsystemen (z. B. Notbremsassistent) geeignet wäre. Das situative AVAS könnte nicht nur bei E-Pkw zum Einsatz kommen, sondern auch bei leisen Verbrennern. Aus Sicht des Lärmschutzes und der Verkehrssicherheit wird eine Kombination aus dem situativen AVAS und dem Sender-Empfänger-Kommunikationsmodell (vgl. Beispiel 3, Abschnitt 6.2.3.3 und Abbildung 40) als mögliche Alternative zum heutigen AVAS gesehen. Weiterhin sprachen sich die meisten InteressenvertreterInnen beim situativen AVAS für einen

einheitlichen Warnton aus, damit sich die VerkehrsteilnehmerInnen entsprechend an das Klangbild gewöhnen können.

6.2.3.3 Beispiel 3 – Sender-Empfänger-Modell

Dieses Beispiel steht stellvertretend für Lösungen, die eine **Kommunikation zwischen den VerkehrsteilnehmerInnen** erforderlich machen. Bei diesem System liegt die Verantwortung bei beiden beteiligten Parteien, d. h. sowohl bei dem Fahrzeuglenkenden als auch bei den ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen.

Das hier diskutierte System wurde durch eine gedankliche Weiterentwicklung einer prinzipiell bereits realisierten Maßnahme (vgl. Maßnahme N12) dargestellt. Das vorgestellte Prinzip wird bereits heute zur Aktivierung bzw. Pegelanhebung von Signaltönen an Lichtsignalanlagen sowie im Bereich der automatisierten Fahrgastinformation eingesetzt. Nähert sich ein Nutzender mit entsprechendem Sender beispielsweise einer Lichtsignalanlage und ist der Sender aktiviert, wird der Schallpegel des Auffindetons an der Zusatzeinrichtung am Lichtsignalmast angehoben. Damit wird die Auffindbarkeit des Mastes für sehgeschädigte NutzerInnen erleichtert. Eine Erweiterung des Systems auf weitere Anwendungsfälle, z. B. auf das AVAS wäre analog zur Anwendung an der Lichtsignalanlage denkbar (Abbildung 40). Ergänzend zur technischen Umsetzung besteht die Idee, dass es für sehgeschädigte NutzerInnen eine App als sogenannte Middleware geben könnte. Diese übernimmt die Kommunikation mit anderen Mobilitätsapps (als „Such-App“), sodass NutzerInnen sich nur um die Bedienung einer App kümmern müssen. Dazu soll eine Servicestelle die Bedienung der App erklären.

Abbildung 40: Sender-Empfänger-Modell am Beispiel einer Langstocknutzerin mit situativer Anpassung des AVAS



Quelle: RTB GmbH & Co. KG

Die InteressenvertreterInnen waren mehrheitlich der Meinung, dass die Maßnahme des Sender-Empfänger-Modells als Unterstützung bzw. Zusatzfunktion zum derzeitigen AVAS grundsätzlich gut geeignet sei, jedoch keine Ersatzmaßnahme für ein AVAS darstelle. Als alleinstehende Lösung sei die Maßnahme zum derzeitigen Zeitpunkt nicht geeignet, da noch kein ausgereiftes, zuverlässiges und leicht bedienbares Gerät für schwächere VerkehrsteilnehmerInnen verfügbar sei. Hinzu komme, dass nicht jeder Verkehrsteilnehmende heutzutage im Besitz eines Smartphones ist – insbesondere ältere Personen nicht. Weiterhin wurde kritisiert, dass die sichere Mobilität der VerkehrsteilnehmerInnen von technischen Geräten und deren Funktionsfähigkeit abhängig wird. Die Geräte müssten im Straßenverkehr stets mitgeführt werden, der Akku müsste regelmäßig aufgeladen werden usw. Ein weiteres Problem wurde bezüglich der Freiwilligkeit der Umsetzung, der Frage der Kostentragung sowie im Bereich des Datenschutzes gesehen.

Zudem wurden Bedenken geäußert, dass ein derartiges Gerät zu einer stärkeren Ablenkung der FußgängerInnen führen könnte. Durch akustische Informationen, die der zu Fuß gehende über

sein Smartphone, eine Uhr, ein Hörgerät o. Ä. erhält, könnte der Fokus auf den Straßenverkehr abnehmen. Dadurch könnten kritische Situationen begünstigt werden.

Jedoch wurde auch festgestellt, dass der digitale Fortschritt eine große Unterstützung für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen im Straßenverkehr darstellen und sicherheitsfördernd wirken könnte. Denn durch derartige Maßnahmen könnten insbesondere besonders gefährdete VerkehrsteilnehmerInnen gezielt geschützt werden. Vorteilhaft sei zudem, dass beiden beteiligten Verkehrsteilnehmenden ein Signal übermittelt würde. Weiterhin sei diese Maßnahme relativ kostengünstig und ohne größeren technischen Aufwand realisierbar (z. B. in bestehende Geräte integrierbar).

Auf den Lärmschutz wirke sich diese Maßnahme ebenfalls positiv aus, da keine dauerhaften, lauten und unangenehmen Warngeräusche bei geringen Fahrgeschwindigkeiten ertönen. Diese Maßnahme könnte zudem ausgeweitet werden, indem beispielsweise alle Fahrzeuge (u. a. Einsatzfahrzeuge) in die Kommunikationswege eingebunden würden. Hierin wird großes Potenzial für die Verringerung von Geräuschmissionen im Straßenverkehr im Allgemeinen gesehen. Jedoch sei der Wirkungsgrad dieser Maßnahme auch stark von der Akzeptanz und Verbreitung abhängig. Apps oder ähnliche Systeme stellten insbesondere im Bereich von Fragen der Verkehrssicherheit in der Regel keine Alternative dar, da die Risiken von den Kraftfahrzeugen ausginge und die Verantwortung für eine Risikovermeidung nicht auf die ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen übertragen werden sollte.

Diese Maßnahme wurde zudem ggf. als Alternative für die Nachrüstung von E-Pkw als denkbar betrachtet, welche bereits vor dem verpflichtenden Einbau eines AVAS zugelassen worden waren.

6.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Diskussion mit den InteressenvertreterInnen der unterschiedlichen Fachbereiche hat gezeigt, dass es schwierig ist, einen Kompromiss zwischen dem Lärmschutz und der Verkehrssicherheit zu finden. Insbesondere der Aspekt Barrierefreiheit stellte ein zentrales und gleichzeitig schwieriges Thema dar, das im Workshop besonders emotional diskutiert wurde. Denn die Problematik betrifft nicht nur sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen, sondern eine Vielzahl an Personen, z. B. Kinder, ältere Personen, Personen mit sensorischen Einschränkungen im Allgemeinen, unaufmerksame Verkehrsteilnehmende usw. Demnach profitiert nicht nur eine kleine Randgruppe von den zusätzlichen akustischen Fahrzeuggeräuschen, sondern nahezu alle FußgängerInnen und RadfahrerInnen. Fest steht jedoch, dass für alle Teilnehmenden die Verkehrssicherheit höchste Priorität hat.

Die Diskussionen machten zudem deutlich, dass sowohl aus Sicht des Lärmschutzes als auch aus Sicht der Verkehrssicherheit Modifikationsbedarf bei dem heutigen AVAS besteht. So wurden sowohl im Hinblick auf das Klangbild, den Geschwindigkeitsbereich sowie den Schallpegel Verbesserungsvorschläge diskutiert. Fest steht, dass eine Kakophonie im Straßenverkehr aufgrund zahlreicher unterschiedliche Warngeräusche in jedem Fall zu vermeiden ist. Denn dies wirkt sich sowohl negativ auf die Verkehrssicherheit als auch auf den Lärmschutz aus.

Besonders kritisch wird auch das Thema Verantwortung im Hinblick auf die Warnfunktion gesehen. Sehgeschädigte Personen vertreten die Meinung, dass sie sich nicht noch mehr von technischen Zusatzgeräten abhängig machen wollen und die Verantwortung nicht bei ihnen liegen darf. Die VertreterInnen des Lärmschutzes hingegen fordern, dass Personen, die aufgrund unterschiedlicher sensorischer Einschränkungen im Straßenverkehr potenziell gefährdet sind, mithilfe von technischen Geräten selbst dafür Sorge tragen sollten, im Straßenverkehr von

anderen VerkehrsteilnehmerInnen besser wahrgenommen zu werden. Dies würde ihre persönliche Sicherheit erhöhen und könnte zudem gefahrenabwehrend wirken.

Die zukünftige Aufgabe besteht darin, einhergehend mit steigender Verbreitung des AVAS dessen Wirksamkeit zu überprüfen und diese gemeinsam mit allen beteiligten Interessengruppen geeignet fortzuentwickeln, um so den Lärmschutz und die Verkehrssicherheit besser zu vereinen.

7 Zusammenfassung und Empfehlungen

7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Mehr als die Hälfte der deutschen Bevölkerung fühlt sich von Verkehrsgeräuschen gestört oder belästigt. Der dabei entstehende Lärm kann bei längerer Einwirkung einen negativen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen haben. (Umweltbundesamt 2017) Durch elektrische Antriebstechnologien bei Kraftfahrzeugen ergibt sich eine Verringerung der Schallemissionen aus dem Antriebs- und Abgasstrang bei niedrigen Geschwindigkeiten bis etwa 30 km/h. Darüber hinaus dominieren die Abrollgeräusche der Reifen auf der Fahrbahn und die Vorteile des elektrischen Antriebs hinsichtlich der Schallemissionen sind nicht mehr gegeben (Fürst und Kühne 2010, S. 35)

Auf der einen Seite wird eine Chance gesehen, die Schallemissionen aus dem Verkehrsbereich insbesondere in den Innenstädten zu verringern und damit die Lebensqualität für BewohnerInnen zu erhöhen. Demgegenüber werden mögliche Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit infolge der verringerten Fahrzeuggeräusche kritisch diskutiert. Es wird ein höheres Risiko für Unfälle des Fuß- und Radverkehrs mit leisen Kraftfahrzeugen gesehen. Insbesondere gilt dies für Menschen mit sensorischen oder kognitiven Einschränkungen, wie Kinder, ältere Menschen sowie Menschen mit Hörbehinderungen oder Sehschädigungen. Vor allem blinde und sehbehinderte VerkehrsteilnehmerInnen werden in diesem Zusammenhang immer wieder als besonders gefährdete Personengruppe genannt, wenn die bei elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen wegfallende Schallquellen des Antriebs- und Abgasstranges nicht adäquat ersetzt werden.

Um die Wahrnehmbarkeit elektrisch angetriebener Kraftfahrzeuge bei niedrigen Geschwindigkeiten zu verbessern, wurde in vielen Ländern – so auch in der EU und damit in Deutschland – der Einbau eines akustischen Warnsystems (Acoustic Vehicle Alerting System, kurz AVAS) verbindlich vorgeschrieben. In den Staaten der Europäischen Union muss das AVAS seit dem 1. Juli 2019 in *neuen Typen* von Hybridelektro- und reinen Elektrofahrzeugen und ab dem 1. Juli 2021 in *allen neuen* Hybridelektro- und reinen Elektrofahrzeugen eingebaut werden (vgl. Art. 8 VO (EU) Nr. 540/2014).

In dieser Arbeit wurden Lösungsansätze gesucht, inwiefern das Lärminderungspotenzial von Kraftfahrzeugen mit elektrischem Antrieb unter der Bedingung der Erhaltung bzw. Erhöhung der Verkehrssicherheit ausgeschöpft werden könnte. Dafür wurden zunächst die besonders gefährdeten Personengruppen und ihre Defizite bei der Mobilität identifiziert. Im Anschluss wurden Daten zu Unfällen zwischen elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen und dem Fuß- und Radverkehr auf nationaler und internationaler Ebene ausgewertet. Anschließend wurden der rechtliche Rahmen sowie die technischen Anforderungen in Bezug auf das AVAS aufgearbeitet. Auf Basis zahlreicher nationaler und internationaler Studien wurde weiterhin untersucht, wie sich die akustische Wahrnehmbarkeit von E-Pkw und Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor unterscheidet und welche Faktoren für die Fahrzeugwahrnehmung ausschlaggebend sind. Einen weiteren Baustein dieser Arbeit stellte die Identifizierung und Analyse möglicher Alternativen zum derzeitigen AVAS dar. Dabei standen insbesondere fahrzeugtechnische und nutzerbasierte Maßnahmen im Fokus. InteressenvertreterInnen unterschiedlicher Fachrichtungen wurden über eine Befragung und einen Workshop in die Ergebnisfindung des Projekts eingebunden.

Die Ergebnisse der Arbeit werden im Folgenden zusammengefasst.

Rad- und Fußverkehr bilden die Gruppe der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen. Diese tragen bei Zusammenstößen mit einem Kraftfahrzeug häufig schwere Verletzungen davon. Dazu kommt, dass verschiedene sensorische oder kognitive Einschränkungen die Wahrnehmung von Fahrzeugen im Allgemeinen und leisen Fahrzeugen im Besonderen erschweren können.

Häufigster Unfallgegner des Fuß- und Radverkehrs ist ein Kraftfahrzeug. Der überwiegende Teil (94 %) von Unfällen zwischen ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen und Kraftfahrzeugen ereignet sich innerhalb von geschlossenen Ortschaften. Fahrmanöver mit niedrigen Geschwindigkeiten der Kraftfahrzeuge, wie beispielsweise Anfahren, Rangieren oder Rückwärtsfahren, spielen bei Unfällen mit Beteiligung eines Kraftfahrzeugs und einem zu Fuß gehenden eine nicht unerhebliche Rolle. In einer Untersuchung im Auftrag der Allianz-Versicherung wurde etwa bei einem Viertel dieser Unfälle dieser Zusammenhang festgestellt. Dies sind grundsätzlich Fahrmanöver, bei denen ein AVAS gemäß Vorschrift aktiv sein müsste.

Unfallanalysen aus verschiedenen Ländern und über mehrere Jahre zeigen ein nicht vollständig einheitliches Bild bezüglich der Abschätzung des Risikos für Unfälle zwischen E-Kfz ohne AVAS und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen. Überwiegend kommen die Untersuchungen zum Schluss, dass ein leicht erhöhtes Risiko für einen Zusammenstoß besteht (z. B. Deutschland, USA). Studien aus der Schweiz, den Niederlanden und Japan haben dagegen tendenziell kein besonderes Risiko feststellen können. Bei der Gesamtbetrachtung ist allerdings zu berücksichtigen, dass die bisherigen Unfallanalysen nur auf sehr geringen Fallzahlen basieren. Dies ist nicht zuletzt durch den zur Zeit der Untersuchungen geringen Bestand an elektrisch betriebenen Kraftfahrzeugen an allen zugelassenen Kraftfahrzeugen begründet. Die Aussagen über ein grundsätzlich erhöhtes Risiko oder eine Risikoabschätzung für die zukünftige Entwicklung sind daher mit Unsicherheiten behaftet.

Die Analyse der unterschiedlichen Studien zur Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugaußengeräuschen hat gezeigt, dass ein zusätzliches akustisches Warngeräusch bei elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen mit geringen Fahrgeschwindigkeiten mehrheitlich als sinnvolle und notwendige Maßnahme für die Sicherheit von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen erachtet wird. Durch diese zusätzliche Geräuschquelle können geräuscharme Fahrzeuge von FußgängerInnen und RadfahrerInnen in der Regel besser detektiert und lokalisiert werden, wodurch Unfälle potenziell vermieden werden können. Hinzu kommt, dass von den akustischen Warngeräuschen nicht nur eine kleine Randgruppe profitiert, sondern alle ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen, z. B. neben sehgeschädigten Personen, auch Kinder und ältere Menschen. Denn durch den akustischen Warnton steigt zumindest die Wahrscheinlichkeit, dass ein herannahendes Elektrofahrzeug rechtzeitig wahrgenommen wird.

Als mögliche AVAS-Alternative wurden unterschiedliche Technologien und Ansätze identifiziert, wobei auch die Marktreife, Kosten und Nutzerakzeptanz bewertet wurden. Hierbei sind insbesondere fahrzeugtechnische, nutzerbasierte und verkehrsregelnde bzw. aufklärende Maßnahmen denkbar. Die Umsetzung der Systeme kann dabei entweder als eigenständige Lösung erfolgen oder die Kombination unterschiedlicher Maßnahmen erforderlich machen. Potenzial für einen tatsächlichen AVAS-Ersatz im Sinne der gesetzlichen Vorgaben haben jedoch nur die wenigsten der identifizierten Maßnahmen. Der Fokus liegt dabei eher auf der Erweiterung bzw. Anpassung des derzeitigen AVAS, so dass neben der Verkehrssicherheit auch der Lärmschutz ausreichend Berücksichtigung findet. Um die Aufmerksamkeit aller VerkehrsteilnehmerInnen zu erregen und so mögliche Zusammenstöße zwischen E-Pkw und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen zu vermeiden, sind vor allem technische, vom Fahrzeug ausgehende Lösungen erforderlich.

Im Rahmen der Befragung zeigte sich, dass sich die meisten InteressenvertreterInnen in folgendem Punkt einig waren: Der große Vorteil der Elektromobilität – das geräuscharme Fahren – darf nicht durch eine zusätzliche Lärmproduktion der Elektrofahrzeuge zunichtegemacht werden. Das Ziel sollte darin liegen, eine Lärmvermeidung durch Elektrofahrzeuge sicherzustellen und gleichzeitig eine sichere Mobilität für alle VerkehrsteilnehmerInnen zu gewährleisten. Die Verkehrssicherheit steht dabei im Fokus, wobei der Lärmschutz und der damit einhergehende Gesundheitsschutz nicht vernachlässigt werden dürfen. Die meisten der Befragten sprechen sich daher für eine Modifikation des derzeitigen AVAS aus. Dies könnte möglicherweise auch die Akzeptanz des Warnsystems erhöhen. So befürwortet beispielsweise der Großteil der InteressenvertreterInnen ein einheitliches, markantes und einem Fahrzeug zuordenbares Warngeräusch, welches nicht dauerhaft bei Fahrgeschwindigkeiten bis 20 km/h, sondern nur in kritischen Verkehrssituationen ertönt. Aus Sicht des Lärmschutzes wird ein Warngeräusch gefordert, welches sich automatisch an den Schallpegel der Umgebung anpasst. Denn die Störung darf hier keinesfalls größer sein als der Nutzen des Warnsystems.

Die zum Teil sehr emotionalen Diskussionen im Workshop hatten gezeigt, dass die Ansichten der InteressenvertreterInnen im Hinblick auf die Notwendigkeit des AVAS teilweise stark variieren. Insbesondere die VertreterInnen aus dem Bereich Lärmschutz und die VertreterInnen der Menschen mit Behinderung vertraten teilweise grundlegend unterschiedliche Meinungen zum AVAS. Hierbei wurde sehr deutlich, dass E-Pkw insbesondere für sehgeschädigte VerkehrsteilnehmerInnen eine Gefährdung darstellen können. Ein akustisches Warngeräusch ist u. a. für diese Personengruppe von großer Bedeutung, um sich auch zukünftig selbstbestimmt und sicher im Straßenverkehr bewegen und orientieren zu können. In Anbetracht dessen sprechen sich die VertreterInnen aus dem Bereich Lärmschutz dafür aus, dass das akustische Warngeräusch bei E-Pkw nicht zu zusätzlichem Verkehrslärm beitragen darf und die erzeugten Geräusche keinesfalls lästig oder störend wirken dürfen. Insbesondere in ruhigen Wohngebieten und bei Nacht wird das AVAS als vermeidbare Lärmquelle angesehen. Weiterhin wurde kritisiert, dass die Wirksamkeit des AVAS nicht abschließend erwiesen sei und zum derzeitigen Zeitpunkt sowohl auf Seiten der FahrerInnen als auch auf Seiten der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen zu wenig Erfahrungen mit E-Pkw vorliegen, um die ausgehende Gefährdung abschließend beurteilen zu können. Aus Sicht der Verkehrssicherheit lässt sich die von E-Pkw ausgehende Gefährdung jedoch nicht quantitativ an Unfallzahlen belegen. Es muss frühzeitig und präventiv gehandelt werden, um auch zukünftig Zusammenstöße zwischen E-Pkw und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen zu vermeiden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Ziel und die gleichzeitige Herausforderung zukünftig darin liegen, eine maximale Sicherheit für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen bei minimalem Umgebungslärm und minimaler Lästigkeit zu erzeugen. Das AVAS sollte zukünftig dahingehend optimiert werden, dass es nicht lauter ertönt als notwendig, jedoch bei gleichzeitiger Gewährleistung der Sicherheit für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen. Eine Überdimensionierung der Warngeräusche von E-Pkw ist auf jeden Fall auch in Zukunft zu vermeiden. Weiterhin sollte mit steigender Verbreitung des AVAS dessen Wirksamkeit abschließend überprüft und diese gemeinsam mit allen beteiligten Interessengruppen entsprechend fortentwickelt werden, um so den Lärmschutz und die Verkehrssicherheit besser zu vereinen.

Zudem sollte der Schwerpunkt zukünftig weniger auf dem Sounddesign des AVAS liegen, sondern vielmehr auf der Reduzierung des Maskierungseffektes. Denn dieser trägt maßgeblich dazu bei, dass die Wahrnehmbarkeit leiser Fahrzeuge verschlechtert wird. Würde der

Schallpegel der Umgebung im Allgemeinen sinken, könnte auch das AVAS zukünftig leiser gestaltet werden. Dies hätte eine positive Auswirkung auf den Lärmschutz sowie die Gesundheit der Menschen.

7.2 Empfehlungen

► Regelungen

Zur Verhinderung unnötig erhöhter akustischer Emissionen sollten, wie in der amerikanischen Regelung auch, maximale Gesamtpegel vorgegeben werden.

Eine Befassung der Arbeitsgruppe Geräusche und Reifen (Working Party on Noise and Tyres der UNECE) im Rahmen der Regelungen für zusätzliche Bestimmungen zur Schallemission (Additional Sound Emission Provisions (ASEP)) könnte die Nutzung der AVAS-Geräte zur zusätzlichen Soundgenerierung einschränken.

► Unfallanalyse

Das Unfallmonitoring sollte bei Zusammenstößen von E-Pkw mit ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen zukünftig verbessert werden, z. B. mittels

- detaillierter Aufnahme der Unfallursachen in den Polizeibericht. Hier wäre zukünftig ggf. das Unfallprotokoll der Polizei entsprechend anpassen.
- Aufnahme, ob eine Person mit Behinderung (v. a. sensorischen und körperlicher Einschränkungen) an dem Unfall beteiligt war. Ist dies der Fall, sollte die Art der Behinderung ins Unfallprotokoll aufgenommen, um möglich Rückschlüsse auf das Gefährdungspotenzial von E-Pkw ziehen zu können.

Es sollte eine verbesserte Unfallauswertung bei allen Arten von Elektro- und Hybridfahrzeugen (Pkw, LKW, Busse, Lieferwagen, E-Mofa, E-Roller usw.) erfolgen.

► Durchführung von Studien zur Wahrnehmbarkeit von Fahrzeuggeräuschen

Bei zukünftigen empirischen Untersuchungen zum AVAS sollten die Randbedingungen entsprechend der Vorgaben in der UNECE R 138 festgelegt werden, um eine Vergleichbarkeit der Untersuchungen gewährleisten zu können. Bisher variieren die untersuchten Faktoren in den Studien zum Teil stark, z. B. hinsichtlich des Fahrzeugtyps, der Anzahl der betrachteten Fahrzeuge, des Geschwindigkeitsbereichs, der Position der Mikrofone, des Umgebungspegels, der Reifen, der Bodenbeläge, der Einschränkungen der Nutzergruppen usw. Einheitliche Randbedingungen könnten die Vergleichbarkeit der Studien erleichtern.

► Einbindung von InteressenvertreterInnen

Es sollten zukünftig mehr FahrerInnen von E-Pkw in Befragungen eingebunden werden. Ein entsprechender Fragebogen könnte beispielsweise in Elektromobilitätsvereinen, in entsprechenden Foren oder bei sogenannten E-Stammtischen verteilt werden. Die praktischen Erfahrungen von FahrerInnen von E-Pkw könnten neue Erkenntnisse im Hinblick auf kritische Situationen mit FußgängerInnen bzw. RadfahrerInnen sowie die Wirksamkeit des heutigen AVAS bringen.

► **Technische Empfehlungen**

Aus akustischer und technischer Sicht liegt großes Potential in adaptiven Warnsystemen. Bei ausreichender Marktreife und Zuverlässigkeit ergibt sich ein großes allgemeines Lärminderungspotential bei gleichzeitiger Stressminderung der Fahrerin bzw. des Fahrers. Mit bedarfsgerechter Warnung erhöht sich außerdem die Warnqualität im Vergleich zu Dauersignalen. Die Akzeptanz von allen InteressenvertreterInnen ist Voraussetzung zur Umsetzung solcher Maßnahmen.

► **Weitere Empfehlungen**

- Geräuschemissionen im Straßenverkehr sollten nach Möglichkeit reduziert werden, um den Maskierungseffekt zu verringern und dadurch die akustische Wahrnehmbarkeit von E-Pkw zu verbessern. Hier könnte beispielsweise bei der Reduktion des Geräuschpegels lauter Fahrzeuge angesetzt werden, wie z. B. Lastkraftwagen, Bussen, Fahrzeugen der Müllabfuhr usw.
- Erfahrungsberichte der FahrerInnen von E-Pkw sollten genauer analysiert werden. Diese werden jedoch frühestens in den nächsten Jahren (d. h. mit steigenden Zulassungszahlen von E-Pkw) zur Verfügung stehen. Die Störwirkung des AVAS für FahrzeugführerInnen im Fahrzeug könnte ein zusätzlicher Aspekt sein, z. B. auch bei städtischen Linienbussen.
- Krankenkassen sollten zukünftig spezielle „Wearables“ (Zusatzgeräte) für Personen mit sensorischen bzw. kognitiven Einschränkungen bezuschussen und auch die Schulung für solche Geräte übernehmen. Dadurch könnte auch die Akzeptanz für diese Systeme gesteigert werden. Die Umsetzung scheidet derzeit zum einen an teils hohen Anschaffungskosten, die mehrere tausend Euro betragen können. Zum anderen fehlt es an Kompetenzen für die Bedienung insbesondere digitaler Hilfsmittel.
- Es sollten bewusstseinsbildende Maßnahmen sowohl für FußgängerInnen und RadfahrerInnen als auch FahrerInnen von E-Pkw zum Einsatz kommen, um diese auf die Risiken von E-Pkw bei niedrigen Geschwindigkeiten aufmerksam zu machen. Die Informationen könnten beispielsweise in öffentlichen Kampagnen und Fahrschulen vermittelt werden.
- Eine regelmäßige Überprüfung der Vorgaben von AVAS-Systemen kann zur Verbesserung der Warnqualität führen und minimiert gleichzeitig akustische Emissionen einhergehend mit steigender Zahl zugelassener elektrischer Fahrzeuge und ist gerade in der Übergangsphase zu vorwiegend elektrischem Verkehr erforderlich.

8 Prisma Statement

Die übergeordnete Kernaufgabe des Auftragnehmers ist es, eine intensive und umfassende Literaturrecherche zur Wirksamkeit und Notwendigkeit des AVAS sowie zu bestehenden potenziellen AVAS-Alternativen durchzuführen.

Das Ziel der Recherche lag darin zu analysieren, über welche alternativen Ansätze das Lärminderungspotenzial von Elektro- und Hybridfahrzeugen unter der Bedingung der Erhaltung bzw. Erhöhung der Verkehrssicherheit bei niedrigen Geschwindigkeiten (unter 20 km/h) ausgeschöpft werden kann.

In einem Suchzeitraum von insgesamt fünf Monaten (Anfang November 2018 bis Ende März 2019) wurden im Rahmen der Literaturrecherche folgende Datenbanken nach geeigneten Quellen durchsucht:

- ▶ Bibliothek der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)
 - TRID
 - OPUS
- ▶ Rosap (Repository & Open Science Access Portal, National Transportation Library)
- ▶ Sciencedirect
- ▶ TIB Hannover
- ▶ WTI Frankfurt
- ▶ Scopus
- ▶ Straßenbau A-Z
- ▶ Open Access Journals
- ▶ NTIS
- ▶ OSTI.GOV
- ▶ Dokumentation Kraftfahrtwesen
- ▶ FGSV Technisches Regelwerk
- ▶ SpringerLink
- ▶ UMLIS/UFORDAT

Die o. g. Datenbanken wurden in unterschiedlichen Suchbereichen sowohl nach deutsch- als auch englischsprachigen Suchbegriffen durchsucht. Die übergeordneten Suchbereiche (engl. Subject areas) sowie die deutschen und englischen Suchbegriffe sind der Tabelle 17 zu entnehmen.

Tabelle 17: Suchbereiche und Suchbegriffe

Suchbereiche / Subject areas	Deutsche Suchbegriffe	Englische Suchbegriffe
<ul style="list-style-type: none"> • Unfall und Mensch • Fahrzeugkonstruktion • Umwelt • Accidents and the Human Factor • Environment • Road traffic safety • Vehicle Design and Safety • Pedestrians and Bicyclists • Safety and Human Factors • Vehicles and Equipment • Accident Studies • Accident Analysis and Prevention 	<ul style="list-style-type: none"> • AVAS / Acoustic Vehicle Alert System • Elektrofahrzeug(e), Hybridfahrzeug(e) • Verkehrsteilnehmer, Verkehrsteilnehmende, Fußgänger / Fussgaenger / zu Fuß gehende, Radfahrer / Rad fahrende, Behinderte • Verkehrssicherheit • Warnsignal, Warnton, Warnung, Geräusch/Geraeusuch, Warnsystem, Warnanlage • Akustik, akustisches Signal, akustisches Warnsignal, akustische Warnanlage • Mobilitätseinschränkung, Behinderung, Hörvermögen / Hoervermoegen, Sehvermögen, Blindheit • Wahrnehmung, Wahrnehmbarkeit • Unfall, Unfallgeschehen, Zusammenstoß • Leises Fahrzeug, geräuscharmes / geraeuscharmes Fahrzeug 	<ul style="list-style-type: none"> • AVAS / Acoustic vehicle alert system • Electric vehicle(s)/ automobile(s) / car(s), hybrid vehicles(s) / automobile(s) / car(s), quiet vehicle(s), HEV, ICE • Pedestrian, Bicyclist • Safety, Pedestrian Safety • Road user(s), Vulnerable road user(s) • Person with disabilities, Disabled person, Visually impaired person, Visual impairment, Blind Person, • Warning system, Warning sound, External sound, Alert sound, Audible Warning devices, Auditory warning, Signal(s), Signal detection, Sound, Sound level, Sound system • Pedestrian alerting system • Acoustic, Noise • Countermeasure(s) • Accident, crash, traffic crash, traffic accident, pedestrian crash, bicyclist crash • Perception, Annoyance, Detectability, Detection • Accident prevention, Injury prevention

Quelle: Eigene Darstellung

Im Laufe des Projektes (etwa bis Dezember 2020) wurden noch zahlreiche weitere Quellen in die Datenbank aufgenommen, welche zum einen die bisherigen Erkenntnisse bestätigten und zum anderen neue Erkenntnisse im Hinblick auf die Forschungsaufgabe lieferten. Der Zeitraum der durchsuchten Literatur umfasst etwa 15 Jahre (2006 bis 2020).

Insgesamt wurden in den drei Schwerpunktbereichen Verkehrssicherheit, Fahrzeugtechnik und Lärmschutz (einschließlich der Analyse des rechtlichen Rahmens) 355 Quellen gefunden und in die projektinterne Datenbank („Citavi“) eingepflegt. Davon waren 109 Quellen für die Forschungsaufgabe von zentraler Bedeutung und wurden in diesem Forschungsbericht entsprechend berücksichtigt. Die anderen 246 Quellen wurden u. a. aus folgenden Gründen nicht explizit ausgewertet:

- Zu Beginn des Projektes wurden zunächst alle Quellen in der Datenbank gesammelt, die auf den ersten Blick für die Forschungsaufgabe relevant erschienen. Die erste Durchsicht der Quellen ergab, dass einige von ihnen keinen direkten Informationsgewinn für das

Forschungsvorhaben lieferten. Da alle Quellen gesichtet wurden, verblieben sie dennoch in der Datenbank.

- ▶ Für die Erarbeitung dieses Berichts wurden in der Regel aktuelle Studien, Veröffentlichungen, Regelwerke, Verordnungen, Gesetze usw. für die Auswertung verwendet. Veraltete Quellen wurden der Vollständigkeit halber zwar in die projektinterne Datenbank aufgenommen, diese wurden jedoch abschließend nicht weiter berücksichtigt. (So wurde für den Schlussbericht beispielsweise lediglich die Jahresbilanz des Kraftfahrtbundesamtes aus dem Jahr 2020 (Kraftfahrt-Bundesamt 2020) ausgewertet, nicht jedoch die Vorjahresbilanzen.)
- ▶ Ältere Literaturquellen, welche deutlich vor dem Jahre 2006 veröffentlicht wurden, blieben in der Regel unberücksichtigt, z. B. „Identification and Text of Pedestrian Safety Message for Public Education Programs“ aus dem Jahr 1975 (U.S. Department of Transportation 1975). Heutzutage liegen zahlreiche neue Erkenntnisse und Forschungsergebnisse zu der behandelten Thematik vor, weswegen der Fokus der Literaturrecherche eher auf Quellen der letzten 15 bis 20 Jahre lag.
- ▶ Einige Quellen lagen sowohl in deutscher als auch in englischer Sprache vor (z. B. „Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region“ bzw. „Environmental Noise Guidelines für the European Region“ der WHO aus dem Jahr 2018). Da es sich inhaltlich um das gleiche Dokument handelte, wurde an dieser Stelle der Einfachheit halber das deutschsprachige Dokument für die Auswertung herangezogen. Die englische Fassung des Dokuments wurde der Vollständigkeit halber dennoch in die Datenbank aufgenommen.
- ▶ Es wurden zahlreiche Quellen gefunden, die auf denselben Sachverhalt verwiesen (z. B. Unfall des blinden Mannes mit seinem Blindenführhund, der von einem rückwärtsfahrenden Lastkraftwagen ohne akustisches Warnsignal überfahren und dabei getötet wurde.) Hierzu wurde zwar eine Vielzahl von Quellen gefunden, jedoch verwiesen diese zum Teil gegenseitig aufeinander. In derartigen Fällen wurden die Informationen im Allgemeinen aus der „seriösesten“ Quelle entnommen. Auf Informationen aus Pressemeldungen, Zeitungsartikel usw. wurde in der Regel verzichtet.
- ▶ Unseriöse bzw. fehlerhafte Quellen, welche beispielsweise Informationen aus Studien unsachgemäß zitierten, wurden von der Analyse ausgeschlossen. Sie wurden dennoch in die Projektdatenbank aufgenommen und gesichtet, blieben jedoch im weiteren Verlauf unberücksichtigt.
- ▶ Bei einigen Studien (v. a. zum Thema akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugaußengeräuschen) stellte sich heraus, dass es sich nicht um eigens durchgeführte Untersuchungen handelte, sondern lediglich um eine Zusammenfassung der Ergebnisse anderer WissenschaftlerInnen. Diese Untersuchungen verblieben ebenfalls in der Datenbank, ausgewertet wurden jedoch – sofern beschaffbar – die Primärquellen.
- ▶ Bei einigen Dokumenten handelte es sich um komprimierte Auszüge aus den Untersuchungen. Diese (meist englischsprachigen Paper) wurden ebenfalls in die Datenbank

aufgenommen, analysiert wurden jedoch in der Regel die umfangreichen Studien (vgl. Garay-Vega et al. 2010).

- ▶ Einige als relevant erachtete Quellen aus dem Ausland (z. B. Niederlande und Japan) konnten nicht vollumfänglich analysiert werden, da diese weder in deutscher noch in englischer Sprache verfügbar waren. Hier wurden jedoch die für die Forschungsfrage relevanten Informationen zum Teil aus der englischen Zusammenfassung zu Beginn der Arbeiten (dem sog. „Abstract“) entnommen (z. B. Schoon und Huijskens 2011). In einigen Fällen wurden die relevanten Informationen der Arbeiten auch in englischen Vorträgen gefunden, die meist die Kernaussagen aus den entsprechenden Arbeiten enthielten (z. B. JASIC 2009).
- ▶ Weiterhin wurden Arbeiten ausgeschlossen, welche sich aus Forschungsnehmersicht nicht tiefgründig mit der o. g. Thematik auseinandersetzten und diese nur oberflächlich behandelten. Diese Arbeiten (z. B. Haußmann 2015) wurden zwar gesichtet, jedoch wurden daraus keine Informationen entnommen, sondern in den angegebenen Primärquellen des Quellenverzeichnisses der Arbeit selbst noch einmal nachgesehen.

Hinsichtlich der Ein- und Ausschlusskriterien der gefundenen Literatur ist zu sagen, dass *kein* Schwerpunkt auf deutschsprachiger Literatur lag, sondern die Recherche auf internationaler Ebene erfolgte. Es wurden deutsch- und englischsprachige Quellen in gleichem Ausmaß berücksichtigt.

Es wurden im Allgemeinen nationale, europäische und internationale Studien zur akustischen Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugaußengeräuschen untersucht. Da die Studien sich in ihren Untersuchungskriterien z. T. stark unterschieden, war ein direkter Vergleich der Untersuchungsergebnisse der unterschiedlichen Studien nicht möglich. Die Unterschiede der Studien lagen z. B. in folgenden Kriterien:

- ▶ Anzahl der beteiligten Testpersonen,
- ▶ Einschränkungen der untersuchten Personengruppe (z. B. Testpersonen mit und ohne Sehbehinderung, junge und ältere Testpersonen usw.),
- ▶ Antriebsart der Testfahrzeuge (z. B. Elektrofahrzeug, Hybridfahrzeug, herkömmliche Verbrennerfahrzeug, Vergleich von Dieselfahrzeugen und Benzinern),
- ▶ Vorhandensein eines zusätzlichen akustischen Warnsignals,
- ▶ Vorhandensein eines den gesetzlichen Anforderungen entsprechenden AVAS,
- ▶ Untersuchung verschiedener Fahrmanöver,
- ▶ Untersuchung bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten (in der Regel zwischen 10 km/h und 30 km/h),
- ▶ Untersuchung bei unterschiedlichen Umgebungsschallpegeln,
- ▶ unterschiedliche Testbedingungen (Untersuchung im Labor mittels Hörversuchen bzw. draußen mit Testfahrzeugen)
- ▶ usw.

Neben den Studien in Form von Berichten und Internetdokumenten, wurden auch Zeitschriftenaufsätze, Gesetze, Verordnungen, Vorträge bzw. Präsentationen, Bücher (Monografie) sowie Reportagen aus dem Fernsehen berücksichtigt.

Neben der zentralen Forschungsaufgabe wurden über die gefundene Literatur hinaus einige zusätzliche Informationen berücksichtigt. Dazu zählen z. B. folgende Punkte:

- ▶ Chancen und Risiken durch neue Technologien (z. B. Start-Stopp-System),
- ▶ Einfluss weiterer Faktoren auf die akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugaußengeräuschen,
- ▶ Gefährdung für den Fuß- und Radverkehr durch leise Fahrzeuge im Allgemeinen (nicht ausschließlich durch E-Pkw),

Die Beschreibung von Inhalt und zentralen Ergebnissen der eingeschlossenen Literatur sind dem Kapitel 2 bis 5 zu entnehmen. Weiterhin werden die zentralen Erkenntnisse aus der Literatur im Kapitel 7 „Zusammenfassungen und Empfehlungen“ sowie der Kurzfassung zu Beginn dieses Berichtes berücksichtigt.

9 Literatur- und Quellenverzeichnis

9.1 Rechtliche Regelungen und Standards

VO 661/2009/EG: Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit. Fundstelle: ABl. EU L 200 vom 31.07.2009, S. 1.

VO (EU) 2018/858: Verordnung (EU) 2018/858 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die Genehmigung und die Marktüberwachung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 715/2007 und (EG) Nr. 595/2009 und zur Aufhebung der Richtlinie 2007/46/EG. Fundstelle: ABl. (EU) L 151 vom 14.06.2018, S. 1.

VO (EU) 2019/2144: Verordnung (EU) 2019/2144 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 27. November 2019 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge im Hinblick auf ihre allgemeine Sicherheit und den Schutz der Fahrzeuginsassen und von ungeschützten Verkehrsteilnehmern, zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/858 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 78/2009, (EG) Nr. 79/2009 und (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Verordnungen (EG) Nr. 631/2009, (EU) Nr. 406/2010, (EU) Nr. 672/2010, (EU) Nr. 1003/2010, (EU) Nr. 1005/2010, (EU) Nr. 1008/2010, (EU) Nr. 1009/2010, (EU) Nr. 19/2011, (EU) Nr. 109/2011, (EU) Nr. 458/2011, (EU) Nr. 65/2012, (EU) Nr. 130/2012, (EU) Nr. 347/2012, (EU) Nr. 351/2012, (EU) Nr. 1230/2012 und (EU) 2015/166 der Kommission. Fundstelle: ABl. L 325 vom 16.12.2019, S. 1.

VO (EU) Nr. 540/2014: Verordnung (EU) Nr 540/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämpferanlagen sowie zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 70/157/EWG. Fundstelle: ABl. (EU) L 158 vom 27.05.2014, S. 131.

VO (EU) Nr. 167/2013: Verordnung (EU) Nr. 167/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Februar 2013 über die Genehmigung und Marktüberwachung von land- und forstwirtschaftlichen Fahrzeugen. Fundstelle: ABl. (EU) L 60 vom 02.03.2013, S. 1.

VO (EU) Nr. 168/2013: Verordnung (EU) Nr. 168/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Januar 2013 über die Genehmigung und Marktüberwachung von zwei- oder dreirädrigen und vierrädrigen Fahrzeugen. Fundstelle: ABl. (EU) L 60 vom 02.02.2013, S. 52.

Richtlinie 2007/46/EG: Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. September 2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge. Fundstelle: ABl. L 263 vom 9.10.2007, S. 1.

Richtlinie 2014/50/EU: Richtlinie 2014/50/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über Mindestvorschriften zur Erhöhung der Mobilität von Arbeitnehmern zwischen den Mitgliedstaaten durch Verbesserung des Erwerbs und der Wahrung von Zusatzrentenansprüchen. Fundstelle: ABl. EU L 128 vom 30.04.2014, S. 1.

Richtlinie 92/97/EWG: Richtlinie 92/97/EWG des Rates vom 10. November 1992 zur Änderung der Richtlinie 70/157/EWG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über den zulässigen Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtung von Kraftfahrzeugen. Fundstelle: ABl. EG L 371 vom 19.11.1992, S. 1.

Richtlinie 70/157/EWG: Richtlinie des Rates vom 6. Februar 1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über den zulässigen Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtung von Kraftfahrzeugen. Fundstelle: ABl. L 42 vom 23.02.1970, S. 16.

FMVSS No. 141 (26.02.2018): Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 141 2018-03721. Fundstelle: Federal Register, Vol. 83, No. 38. In: Department of Transportation (DOT).

GB 7258-2017 (29.09.2017): Technical specifications for safety of power-driven vehicles operating on roads.

HilfsM-RL: Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses über die Verordnung von Hilfsmitteln in der vertragsärztlichen Versorgung (Hilfsmittel-Richtlinie) in der Fassung vom 21. Dezember 2011/ 15. März 2012 (BAnz AT 10.04.2012 B2) zuletzt geändert am 28. Mai 2020 (BAnz AT 12.06.2020 B3).

SAE J2889/1 (21.09.2011): Measurement of Minimum Noise Emitted by Road Vehicles.

StVO: Straßenverkehrs-Ordnung vom 6. März 2013 (BGBl. I S. 367), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 20. April 2020 (BGBl. I S. 814) geändert worden ist.

StVZO: Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung vom 26. April 2012 (BGBl. I S. 679), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 20. Oktober 2017 (BGBl. I S. 3723) geändert worden ist.

UNECE R 28: Regelung Nr. 28 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) — Einheitliche Vorschriften für die Genehmigung der Vorrichtungen für Schallzeichen und der Kraftfahrzeuge hinsichtlich ihrer Schallzeichen. Fundstelle: ABl. EU L 323 vom 06.12.2011, S. 33.

UNECE R 51: Regelung Nr. 51 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeuge mit mindestens vier Rädern hinsichtlich ihrer Geräuschemissionen.

UNECE R 117: Regelung Nr. 117 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Reifen hinsichtlich der Rollgeräuschemissionen und der Haftung auf nassen Oberflächen und/oder des Rollwiderstandes [2016/ 1350]. Fundstelle: ABl. EU L 218 vom 12.08.2016, S. 1.

UNECE R 138: Regelung Nr 138 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE) — Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung geräuscharmer Straßenfahrzeuge hinsichtlich ihrer verringerten Hörbarkeit (2017/71). Fundstelle: ABl. (EU) L 9 vom 13.01.2017, S. 33.

UNECE R 138.01: Änderungen an der Regelung Nr. 138 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE) — Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung geräuscharmer Straßenfahrzeuge hinsichtlich ihrer verringerten Hörbarkeit. Fundstelle: ABl. L 204 vom 05.08.2017, S. 112.

UNECE R 138: Regulation No 138 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE) - Uniform provisions concerning the approval of Quiet Road Transport Vehicles with regard to their reduced audibility [2017/71]. Fundstelle: ABl. L 9 vom 13.1.2017, S. 33.

9.2 Weitere Quellen

ADAC e. V. (2019): Information zu neuen Fahrzeugsystemen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit (General Safety Regulation 2019). Verordnung über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen im Hinblick auf ihre allgemeine Sicherheit und den Schutz der Fahrzeuginsassen und von ungeschützten Verkehrsteilnehmern. München (Test und Technik).

ADAC e. V. (2020): Die besten Notbremssysteme 2019. München. Online verfügbar unter <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/assistenzsysteme/notbremsassistenten-vergleich/>, zuletzt geprüft am 29.06.2020.

Altinsoy, Ercan; Landgraf, Jürgen (2015): Elektromobilität und Wahrnehmbarkeit von Fahrzeuggeräuschen: Parkplatzsituation. In: Lärmbekämpfung 10 (6), S. 262–267.

Altinsoy, Ercan; Landgraf, Jürgen; Rosenkranz, Robert; Lachmann, Margitta; Hagen, Katharina; Schulze, Christoph; Schlag, Bernhard (2015): Wahrnehmung und Bewertung von Fahrzeugaußengeräuschen durch Fußgänger in verschiedenen Verkehrssituationen und unterschiedlichen Betriebszuständen. Zusammenfassender Bericht zu den Forschungsprojekten: FE 82.0578/2012, FAT: 3.28 und F3.30. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Bergisch Gladbach (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, F 110).

Ammann, Christoph; Saurer, Tina; Knöpfel, Jonas; Alberti, Bruno; Stauber, Stefan; Probst, Björn et al. (2015): Potential von Temporeduktion innerorts als Lärmschutzmaßnahme. Studie. Grolimund + Partner AG. Zürich (Schweiz) (A4398, V1.0).

Ashmead, Daniel H.; Grantham, D. Wesley; Maloff, Erin S.; Hornsby, Benjamin; Nakamura, Takabun; Davis, Timothy J. et al. (2012): Auditory Perception of Motor Vehicle Travel Paths. Online verfügbar unter

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3448288/pdf/nihms402418.pdf>, zuletzt geprüft am 09.01.2019.

Babisch, Wolfgang (2006): Transportation Noise and Cardiovascular Risk. Review and Synthesis of Epidemiological Studies, Dose-effect Curve and Risk Estimation. Umweltbundesamt. Berlin (WaBoLu, 01/06).

Berge, Truls (2018): Adaptive AVAS to improve electric vehicle safety | Government Europa. Leider ist das Ergebnis der Studie noch nicht publiziert. Online verfügbar unter <https://www.governmenteuropa.eu/adaptive-avas-electric-vehicle-safety/91652/>, zuletzt geprüft am 23.02.2019.

Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) (2020): ICD-10-WHO Version 2019. Kapitel VII Krankheiten des Auges und der Augenanhangsgebilde (H00-H59). Tabelle der Sehschärfe. Online verfügbar unter <https://www.dimdi.de/static/de/klassifikationen/icd/icd-10-who/kode-suche/htmlamtl2019/block-h53-h54.htm>, zuletzt geprüft am 29.01.2021.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2018): Bericht über Maßnahmen auf dem Gebiet der Unfallverhütung im Straßenverkehr 2016 und 2017 (Unfallverhütungsbericht Straßenverkehr 2016/17). Berlin.

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) (05.06.2015): Tag der Sehbehinderung: bmvit schafft Bewusstsein für blinde und sehbehinderte FußgängerInnen. Wien. Online verfügbar unter https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20150605_OTS0038/tag-der-sehbehinderung-bmvit-schafft-bewusstsein-fuer-blinde-und-sehbehinderte-fussgaengerinnen-bild, zuletzt geprüft am 26.06.2020.

Chamard, Jean-Christophe; Roussarie, Vincent (2012): Design of Electric or Hybrid vehicle alert sound system for pedestrian. Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference 23-27 April 2012, Nantes, France (HAL Id: hal-00811353), S. 1691–1695.

Computerbild Digital GmbH (2020): Apple Glass: Neue Details zur AR-Brille. Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.computerbild.de/artikel/cb-News-PC-Hardware-Apple-Glass-AR-Brille-Spezifikationen-Release-26215191.html>, zuletzt aktualisiert am 20.05.2020, zuletzt geprüft am 26.06.2020.

Deutscher Bundestag (1999): Umwelt und Gesundheit - Risiken richtig einschätzen. Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen. Drucksache 14/2300 vom 15.12.1999.

Deutscher Gehörlosen-Bund e. V. (2021): Gehörlosigkeit - FAQ. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.gehoerlosen-bund.de/faq/geh%C3%B6rlosigkeit>, zuletzt aktualisiert am 29.01.2021, zuletzt geprüft am 29.01.2021.

Deutscher Verkehrssicherheitsrat e. V. (DVR) (02.03.2017): Immer mehr Fahrzeuge mit Fahrerassistenzsystemen erhältlich – auch Klein- und Kompaktwagen. Bonn. Online verfügbar unter https://www.dvr.de/presse/informationen/immer-mehr-fahrzeuge-mit-fahrerassistenzsystemen-erhaeltlich---auch-klein-und-kompaktwagen_id-4697.html, zuletzt geprüft am 29.06.2020.

Deutscher Verkehrssicherheitsrat e. V. (DVR) (2020): Ausstattung und Nutzung von Fahrerassistenzsystemen 2020. Umfrage 2020. Bonn.

Duckwitz, Amelie; Funk, Walter; Schliebs, Catherine (2020): Zielgruppengerechte Ansprache in der Verkehrssicherheitskommunikation über Influencer in den sozialen Medien - Forschungsstand und Handlungsempfehlungen. Unter Mitarbeit von Christopher Hermanns. Bremen: Carl. Ed. Schünemann KG (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit, M 302).

Dudenhöffer, Kathrin (2013): Lärmemissionen von Elektroautos. Experimente zur Geräuschwahrnehmung. In: HZwei (1), S. 40–41.

Dudenhöffer, Kathrin; Hause, Leonie (2012): Sound perception of electric vehicles. In: ATZ 114 (03), S. 46–50.

Ewert, Uwe (2017): Geräuscharmheit von Elektrofahrzeugen unter besonderer Berücksichtigung sehbehinderter Menschen. bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung. Bern (bfu-Faktenblatt, Nr. 18).

Fürst, Peter; Kühne, Rainer (2010): Straßenverkehrslärm. Eine Hilfe für Betroffene. 1. Aufl. Unter Mitarbeit von Evelin Baumer, Thomas Beckenbauer, Michael Jäcker-Küppers, Bernd Lehming und Joachim Scheuren. Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA); Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD). Berlin (ALD-Schriftenreihe, 1/2010).

- Gabler Wirtschaftslexikon (2020): Wearables. Definition. Wiesbaden. Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/wearables-54088>, zuletzt geprüft am 26.06.2020.
- Garay-Vega, Lisandra; Hastings, Aaron; Pollard, John K.; Zuschlag, Michael; Stearns, Mary D. (2010): Quieter Cars and the Safety Of Blind Pedestrians: Phase I. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (DOT HS 811 304).
- Gerlach, Jürgen; Seipel, Sebastian; Poschadel, Sebastian; Boenke, Dirk (2014): Sichere Knotenpunkte für schwächere Verkehrsteilnehmer. Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV). Berlin (Forschungsbericht, 23).
- Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) (2013): Innerörtliche Unfälle mit Fußgängern und Radfahrern. Berlin (Unfallforschung kompakt, 39).
- Glaeser, Klaus-Peter; Marx, Torsten; Schmidt, Eike (2011): Sound detection of electric vehicles by blind or visually impaired persons, 05.12.2011.
- Goodes, Paul; Bai, Yun Bryan; Meyer, Everett (2009): Investigation into the detection of a quiet vehicle by the blind community and the application of an external noise (SAE Tech. Paper, No. 2009-01-2189).
- Grossmann, Helmut; König, Volker; Ruhe, Carsten (2008): Hinweise. Barrierefreiheit im öffentlichen Verkehrsraum für seh- und hörgeschädigte Menschen. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW (direkt, 64).
- Hagemeister, Carmen; Tegen-Klebingat, Anneheide (2011): Fahrgewohnheiten älterer Radfahrerinnen und Radfahrer. Köln: TÜV Media (Mobilität und Alter, Band 05).
- Hagen, Katharina; Schulze, Christoph; Schlag, Bernhard (2012a): Interaktionen zwischen Kraftfahrzeugen und Fußgängern. In: Automobiltechnische Zeitschrift 114 (722-727).
- Hagen, Katharina; Schulze, Christoph; Schlag, Bernhard (2012b): Verkehrssicherheit von schwächeren Verkehrsteilnehmern im Zusammenhang mit dem geringen Geräuschniveau von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben. Schlussbericht zum FE-Projekt 82.0379/2010. Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. Berlin (FAT-Schriftenreihe, 245).
- Hanna, Refaat (2009): Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles. Technical Report (DOT HS 811 204). National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Washington, D.C (USA).
- Haußmann, Mathias (2015): Sound für Elektro- und Hybridfahrzeuge (Acoustic Vehicle Alerting Systems (AVAS)). Bachelorarbeit. Hochschule der Medien, Stuttgart. Audiovisuelle Medien.
- Heinrichs, Eckhart; Scherbarth, Frank; Sommer, Karsten (2016): Wirkungen von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen. Stand November 2016. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.
- Hoogeveen, Laurens V.J. (2010): Road traffic safety of silent electric vehicles. A Silent Future Research. Utrecht.
- IFAM; DFKI (2011): Sehbehinderte und blinde Menschen testen Elektroautos: Müssen bald spürbare Fahrzeuge her? Unter Mitarbeit von Martina Ohle und Birthe Cil. Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM; Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH. Bremen.
- JASIC (2009): A Study on Approach Warning Systems for hybrid vehicle in motor mode. Informal document No. GRB-49-10. Japan Automobile Standards Internationalization Center (JASIC). Shinjuku-ku, Tokyo (Japan).
- Johnson, Drew (2008): 8-year old boy hit by Toyota Prius, raises debate over hybrid minimum sound levels. Leftlane. Online verfügbar unter <https://www.leftlanenews.com/2008/05/08/8-year-old-boy-hit-by-toyota-prius-raises-debate-over-hybrid-minimum-sound-levels/>, zuletzt geprüft am 30.03.2021
- Kim, Dae Shik; Wall Emerson, Robert; Naghshineh, Koorosh; Pliskow, Jay; Myers, Kyle (2012): Impact of adding artificially generated alert sound to hybrid electric vehicles on their detectability by pedestrians who are blind. In: JRRD 49 (3), S. 381. DOI: 10.1682/JRRD.2011.03.0041.
- Kocherscheid, Kristina; Rudinger, Georg (2005): Ressourcen älterer Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer. In: Strategien zur Sicherung der Mobilität älterer Menschen. TÜV-Verlag GmbH. Köln, S. 19–42.

Koesch, Sascha; Magdanz, Fee; Stadler, Robert (2008): Diese Klingeltöne können nur Teenager hören. Spiegel (Online-Ausgabe). Online verfügbar unter <https://www.spiegel.de/netzwelt/mobil/hochfrequente-toene-diese-klingeltoene-koennen-nur-teenager-hoeren-a-594953.html>, zuletzt geprüft am 23.06.2020.

Kotrba, David (2012): Smartphone-App für sichere Bahnübergänge. Futurezone GmbH. Wien. Online verfügbar unter <https://futurezone.at/digital-life/smartphone-app-fuer-sicherere-bahnuebergaenge/24.581.338>, zuletzt aktualisiert am 10.06.2012, zuletzt geprüft am 02.02.2020.

Kraftfahrt-Bundesamt (2020): Jahresbilanz - Bestand. Bestandsüberblick am 1. Januar 2020. Flensburg. Online verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz/b_jahresbilanz_inhalt.html?nn=2601598, zuletzt geprüft am 01.02.2021.

Kubitzki, Jörg; Fastenmeier, Wolfgang (2019): Sicher zu Fuß – Mobilität und Sicherheit von Fußgängern. Allianz Deutschland AG. Unterföhring.

Limbourg, Maria (2018): Kinder unterwegs im Straßenverkehr. Unfallkasse Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf (Prävention in NRW, 12).

Liu, Sara; Fitzharris, Michael; Oxley, Jennie; Edwards, Chris (2018): The impact of electric / hybrid vehicles and bicycles on pedestrians who are blind or have low vision. Monash University, Accident Research Centre (MUARC). Clayton, Victoria (Australia).

LK Argus GmbH; VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH (2013): Evaluierung von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen in Berlin. Wesentliche Erkenntnisse.

Mendonça, Catarina; Freitas, Elisabete; Ferreira, João Pedro; Raimundo, Isaac; Santos, Jorge A. (2013): Noise abatement and traffic safety: The trade-off of quieter engines and pavements on vehicle detection. In: Accident Analysis & Prevention 51, S. 11–17. DOI: 10.1016/j.aap.2012.10.018.

Menzel, Christoph (2002): Die Rolle der Geschwindigkeit bei spektakulären Unfällen im Straßenverkehr. Können Zeitungsberichte zur Verkehrssicherheit beitragen? Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Verkehrswesen. Kaiserslautern (Grüne Reihe, Nr. 52).

Misdariis, Nicolas; Cera, Andrea; Levallois, Eugénie; Locqueteau, Christophe (2012): Do electric cars have to make noise? An emblematic opportunity for designing sounds and soundscapes. Paper Presented at Acoustics 2012. Nantes.

Morgan, P. A.; Morris, L.; Muirhead, M.; Walter, L. K.; Martin, J. (2011): Assessing the perceived safety risk from quiet electric and hybrid vehicles to vision-impaired pedestrians. Project Report PPR525. Transport Research Laboratory. Wokingham (UK).

Möser, Michael (Hg.) (2018): Psychoakustische Messtechnik. Berlin: Springer Vieweg (Fachwissen Technische Akustik).

Paridon, Hiltraut; Springer, Juliane (2012): Effekte von Musik per Kopfhörer auf das Reaktionsverhalten bei unterschiedlichen Verkehrsgeräuschen. In: ZVS Zeitschrift für Verkehrssicherheit 58 (4), S. 192–195.

Parizet, Etienne; Ellermeier, Wolfgang; Robart, Ryan (2014a): Auditory Warnings for Electric Vehicles: Detectability in Normal-Vision and Visually-Impaired Listeners. In: Applied Acoustics 86, S. 50–58. Online verfügbar unter <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01026188/document>, zuletzt geprüft am 09.01.2019.

Parizet, Etienne; Robart, Ryan; Pondrom, Perceval; Chamard, Jean-Christophe; Baudet, Guillaume; Quinn, David et al. (2014b): Additional efficient warning sounds for electric and hybrid vehicles. Paper Presented at the Transport Research Arena. Paris, France.

Peschel, Ulrich; Reichart, Urs (2014): Lärmindernde Fahrbahnbeläge. Ein Überblick über den Stand der Technik. Aktualisierte Überarbeitung. Unter Mitarbeit von Wolfram Bartolomaeus, Oliver Ripke, Ulrike Stöckert und Marek Zöllner. 2. Aufl. Dessau-Roßlau (UBA-Texte, 20/2014).

Pfeffer, Karen; Barnecutt, Peter (1996): Children's auditory perception of movement of traffic sounds. In: Child: Care, Health and Development 22 (2), S. 129–137.

Pilgerstorfer, Monika; Runda, Kerstin; Conter, Marco; Gatscha, Michael; Pumberger, Andreas; Müller, Anna Meta et al. (2013): drivEkustik - Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen.

- Endbericht. Österreichisches Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit); Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds (VSF). Wien (Forschungsarbeiten des österreichischen Verkehrssicherheitsfonds, Nr. 027).
- Robert Koch-Institut (2017): GBE-Themenheft Blindheit und Sehbehinderung. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Gemeinsam getragen von RKI und Destatis. Berlin.
- Rosenblum, Lawrence (2008): Hybrid Cars Are Harder to Hear. Quiet vehicles may pose greater risks to pedestrians, UCR psychologist finds. UCR Newsroom. Riverside (Calif.). Online verfügbar unter <https://newsroom.ucr.edu/1803>, zuletzt geprüft am 30.10.2019.
- Rüttener, Stefanie (2016): Tempo 30 - Potential. Umwelt-und Gesundheitsschutz Zürich UGZ 24. November 2016 anlässlich SGA Herbsttagung Rückblick -Ausblick, 2016.
- Sandberg, Ulf (2012): Adding Noise to Quiet Electric and Hybrid Vehicles: An Elektric Issue. In: Acoustics Australia 40 (No. 3), S. 211–220.
- Sandberg, Ulf; Goubert, Luc; Mioduszewski, Piotr (2010): Are vehicles driven in electric mode so quiet that they need acoustic warning signals? Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010. 23.-27 August 2010, Sydney, Australia, S. 1–7.
- Schleh, Rosemarie; Bierbach, Maxim; Piasecki, Conrad; Pöppel-Decker, Martin; Schönebeck, Susanne (2018): Alternative Antriebstechnologien: Marktdurchdringung und Konsequenzen für die Straßenverkehrssicherheit. Berichtsjahre 2014 und 2015. Bericht zum Forschungsprojekt F1100.4288003. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Bergisch Gladbach (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit, M 278).
- Schleh, Rosemarie; Bierbach, Maxim; Piasecki, Conrad; Pöppel-Decker, Martin; Ulitzsch, Michael (2017): Alternative Antriebstechnologien – Marktdurchdringung und Konsequenzen. Berichtsjahr 2013. Bericht zum Forschungsprojekt F1100.4113003. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Bergisch Gladbach (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit, M 270).
- Schoon, Chris C.; Huijskens, Cees G. (2011): Verkeersveiligheidsconsequenties elektrisch aangedreven voertuigen: Een eerste verkenning (Traffic safety consequences of electrically powered vehicles: a preliminary survey). Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV. Leidschendam (NL) (SWOV-Rapport, R-2011-11).
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin (2018): Umweltatlas Berlin. Strategische Lärmkarten (Ausgabe 2017). Berlin.
- Spessert, Bruno; Kühn, Bernhard (2017): Ergänzende Untersuchungen zur Auswirkung der Geschwindigkeit auf die Geräuschimmission innerorts. In: Lärmbekämpfung 12 (6), S. 203–205.
- Statista GmbH (2020): Statistiken zu Wearables. Hamburg. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/themen/3471/wearables/>, zuletzt aktualisiert am 17.03.2020, zuletzt geprüft am 26.06.2020.
- Statistisches Bundesamt (2018a): Verkehr: Verkehrsunfälle 2017. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2018b): Verkehrsunfälle: Kinderunfälle im Straßenverkehr 2017. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2018c): Verkehrsunfälle: Unfälle von Senioren im Straßenverkehr 2017. Wiesbaden.
- Stelling-Kończak, Agnieszka; Hagenzieker, Marjan; Commandeur, Jacques J.F.; Agterberg, Martijn J.H.; van Wee, Bert (2016): Auditory localisation of conventional and electric cars: Laboratory results and implications for cycling safety. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 41, S. 227–242.
- Stelling-Kończak, Agnieszka; Hagenzieker, Marjan; van Wee, Bert (2015): Traffic Sounds and Cycling Safety. The Use of Electronic Devices by Cyclists and the Quietness of Hybrid and Electric Cars. In: Transport Reviews 35 (4), S. 422–444. DOI: 10.1080/01441647.2015.1017750.
- sz.de (2019): Sehbehinderter wird von lautlosem Elektroauto angefahren. Süddeutsche Zeitung. Online verfügbar unter <https://www.sueddeutsche.de/panorama/unfaelle-lohmar-sehbehinderter-wird-von-lautlosem-elektroauto-angefahren-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-190730-99-274557>, zuletzt geprüft am 18.06.2020.

U.S. Department of Transportation (1975): Identification and Text of Pedestrian Safety Message for Public Education Programs. Final Report. Contract No. DOT-HS-099-3-705. Washington, D.C (USA).

Umweltbundesamt (2017): Straßenverkehrslärm. Geräuschbelastung im Straßenverkehr. Dessau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/verkehrslaerm/strassenverkehrslaerm#textpart-1>, zuletzt geprüft am 08.01.2020.

Utzmann, Iris (2008): Summative Evaluation der Verkehrserziehung und -aufklärung. Methodische Vorgehensweisen bei der Wirkungsmessung von Maßnahmen der Verkehrserziehung und -aufklärung. Hamburg: Kovač (Verkehrspolitik in Forschung und Praxis, 3).

VDI Verlag GmbH (2015): Unfallschutz: Sanfter Ton warnt Fußgänger vor E-Autos. Düsseldorf. Online verfügbar unter <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/e-mobilitaet/unfallschutz-sanfter-ton-warnt-fussgaenger-e-autos/>, zuletzt geprüft am 29.06.2020.

Verheijen, Edwin; Jabben, Jan (2010): Effect of electric cars on traffic noise and safety. RIVM - National Institut for Public Health and the Environment (Netherlands). Bilthoven (RIVM letter, report 680300009/2010).

Wall Emerson, Robert; Naghshineh, Koorosh; Hapeman, Julie; Wiener, William (2011): A Pilot Study of Pedestrians with Visual Impairments Detecting Traffic Gaps and Surges Containing Hybrid Vehicles. Study of AVAS on toyota and ford hybrids for blind and pedestrians. In: Transportation research. Part F, Traffic psychology and behaviour 14 (2), S. 117–127. DOI: 10.1016/j.trf.2010.11.007.

Weinrichter, Monika (2016): Blinder durch fehlendes Warngeräusch getötet – Wien braucht hörbare Busse. Wien. Online verfügbar unter <http://www.elektra.or.at/?p=549>, zuletzt geprüft am 22.11.2018.

Wende, Heidemarie; Ortscheid, Jens; Hintzsche, Matthias (2004): Lärmwirkungen von Straßenverkehrsgeräuschen. Auswirkungen eines lärmarmen Fahrbahnbelages. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Wiener, William; Naghshineh, Koorosh; Salisbury, Brad; Rozema, Randall (2006): The impact of hybrid vehicle on street crossing. In: RE:view: Rehabilitation Education for Blindness and visual Impairment 38 (2), S. 65–78.

Wochnik, Sebastian (2017): Ich filter mir die Welt widdewiddewie sie mir gefällt. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.golem.de/news/vernetzte-hoergeraete-und-hearables-ich-filter-mir-die-welt-widdewiddewie-sie-mir-gefaellt-1705-127476.html>, zuletzt geprüft am 25.06.2020.

World Health Organization (WHO) (2018): Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region. Zusammenfassung (deutsch). Kopenhagen.

Wu, Jingshu (2017): Updated Analysis of Pedestrian and Pedalcyclist Crashes With Hybrid Vehicles. DOT HS 812 371. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Washington, D.C (USA) (Traffic Safety Facts - Research Note).

Wu, Jingshu; Austin, Rory; Chen, Chou-Lin (2011): Incidence Rates of Pedestrian And Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles: An Update. Technical Report (DOT HS 811 526). National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Washington, D.C (USA).

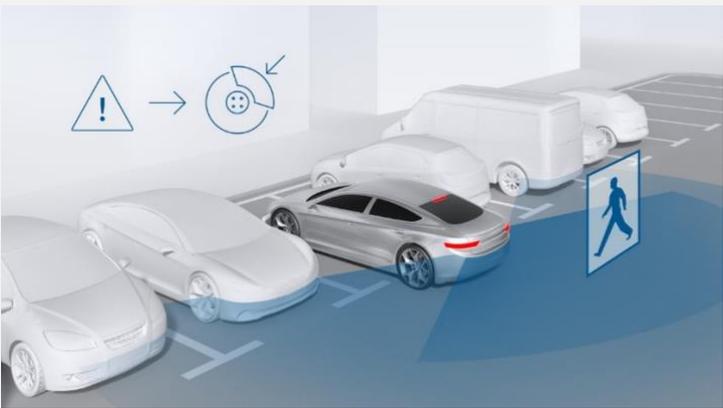
Yamauchi, K.; Sano, T.; Hasegawa, S.; Tamura, F.; Takeda, Y. (2014): Detectability and hearing impression of additional warning sounds for electric or hybrid vehicles. Paper Presented at INTER-NOISE, 16–19 November. Melbourne, Australia.

Yamauchi, Katsuya; Menzel, Daniel; Fastl, Hugo; Takada, Masayuki; Nagahata, Koji; Iwamiya, Shin-ichiro (2011): Cross-cultural study on feasible sound levels of possible warning sounds for quiet vehicles. C:\Users\shubb\sciebo\AVAS\Literatur\Material. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/267382893_Cross-cultural_study_on_feasible_sound_levels_of_possible_warning_sounds_for_quiet_vehicles, zuletzt geprüft am 09.01.2019.

Zwicker, Eberhard (1982): Psychoakustik. Berlin: Springer.

Anhang A: Datenblätter „Alternative Technologien und Ansätze zum derzeitigen AVAS“

Notbremsassistent	
Maßnahmennummer	F1
Maßnahmentyp	Fahrerassistenzsystem
Beispielanwendung	in Fahrzeugen verschiedener Hersteller
Zweck der Maßnahme	Erhöhung der Verkehrssicherheit; Schutz der schwächeren Verkehrsteilnehmenden, die Straßen an schlecht einsehbaren Abschnitten queren wollen
Art der Warnung	akustische und visuelle Warnung
Kommunikationsprinzip	einseitig
Systemanwendende	FahrerInnen
Beispielbild	 <p>Quelle: Front camera of Volvo S60 von dani31-at, lizenziert unter CC BY 2.0</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Die Front des Fahrzeuges wird kontinuierlich durch Radar-, Laser-, und/oder Kamerasensoren überwacht. Sobald die Entfernung und der Winkel von FußgängerInnen zum Fahrzeug kritisch sind, kann das System aktiv in das Fahrgeschehen eingreifen. In der Regel sind diese Systeme für Geschwindigkeiten zwischen 30 und 60 km/h ausgelegt. Das System reagiert neben FußgängerInnen auch auf RadfahrerInnen und motorisierte Fahrzeuge, wie Motorräder und andere Fahrzeuge.
Wirksamkeit Lärmschutz	<p>😊 Warnung nur innerhalb des Fahrzeuges</p> <p>😊 Vermeidung akustischer Dauersignale</p>
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<p>😊 Verhinderung oder Milderung von Verkehrsunfällen mit ungeschützten Verkehrsteilnehmenden, daher großer Beitrag zum Fußgängerschutz</p> <p>😊 kontinuierliche Erfassung von potenziellen Gefahren, auch bei schlechter Witterung</p> <p>😞 nur einseitige Warnung im Fahrzeuginneren</p> <p>😞 nur Überwachung der Fahrzeugfront</p>
Akzeptanz Fahrzeugführende	hoch, da Unterstützung bei Fahraufgabe
Marktreife	verfügbar
Kosten	mittel; Kostenrahmen stark unterschiedlich, da die beschriebene Funktionalität in unterschiedliche Gesamtkonfigurationen integriert ist.

Querverkehrsassistent	
Maßnahmennummer	F2
Maßnahmentyp	Fahrerassistenzsystem
Beispielanwendung	verschiedene Fahrzeughersteller (teils Serie, teils optional)
Zweck der Maßnahme	Warnen des Fahrers bzw. der Fahrerin vor potenziell querenden Personen in schlecht einsehbaren Verkehrssituationen, z. B. beim rückwärts Ausparken
Art der Warnung	akustische und visuelle Warnung
Kommunikationsprinzip	einseitig
Systemanwendende	FahrerInnen
Beispielbild	 <p>Quelle: Bosch Mobility Solutions</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Per Radar wird im Bereich des Fahrzeughecks gescannt, so dass auch Objekte seitlich zum Fahrzeug erfasst werden, welche der Fahrer bzw. die Fahrerin nicht einsehen kann. Erkennt das Fahrzeug ein Objekt, wird der Fahrer/zeuglenkende im Fahrzeuginnenraum akustisch und visuell gewarnt. Sollte der Fahrer bzw. die Fahrerin nicht reagieren, kann das Fahrzeug selbstständig einen kurzen Bremsruck erzeugen, um den Fahrer bzw. die Fahrerin etwas intensiver auf die potenzielle Gefährdung hinzuweisen. BMW nutzt das System auch an der Front, um in verkehrsberuhigten Gebieten den Fahrenden auf querenden Verkehr vor ihm aufmerksam zu machen.
Wirksamkeit Lärmschutz	<ul style="list-style-type: none"> 😊 Warnung nur innerhalb des Fahrzeuges 😊 nur in spezifischen Situationen aktiv
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<ul style="list-style-type: none"> 😊 warnt bei besonders schlecht einsehbaren Situationen 😊 besonders hoch, wenn zwischen Parkplatz und Fahrbahn noch eine Fahrradspur liegt 😞 System funktioniert nur bei geringer Geschwindigkeit zuverlässig 😞 Reichweite für FahrerIn in der Rückwärtsbewegung schwer erfassbar
Akzeptanz Fahrzeugführende	hoch, da vor allem das rückwärts Ausparken teilweise eine schwierige Aufgabe darstellt
Marktreife	verfügbar
Kosten	ca. 850 ,- Euro im Verbund mit anderen Assistenzsystemen (z. B. Audi)

Top View Kameras	
Maßnahmennummer	F3
Maßnahmentyp	Fahrerassistenzsystem
Beispielanwendung	viele moderne Fahrzeuge mit radarbasierten Abstandsregelsystemen
Zweck der Maßnahme	sensorbasiertes System zur Unterstützung bei eingeschränkter Sicht, insbesondere beim Ein- und Ausparken
Art der Warnung	akustische und visuelle Warnung
Kommunikationsprinzip	einseitig
Systemanwendende	FahrerInnen
Beispielbild	 <p>Quelle: Seitenparksensor an einem VW Golf VII von Basotxerri, lizenziert unter CC BY-SA 4.0</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Durch den Sensor (derzeit in der Regel Ultraschall) werden die Umgebung des Fahrzeugs überwacht und die Daten ausgewertet. Durch akustische und visuelle Darstellung werden die Informationen an den Fahrer/zeuolenkenden weitergeleitet.
Wirksamkeit Lärmschutz	<p>😊 nur im Innenraum des Fahrzeugs hörbar</p> <p>😊 nur bei eingelegtem Rückwärtsgang und niedrigen Geschwindigkeiten (Rangieren) aktiv</p>
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<p>😊 bei geringer Geschwindigkeit und in schlecht einsehbaren Situationen kann sich der/die FahrerIn besser auf die Umgebung konzentrieren und wird durch akustische Töne vor Kollision mit Objekten oder Personen gewarnt</p> <p>😞 nur in wenigen Situationen eine Alternative zum AVAS</p>
Akzeptanz Fahrzeugführende	hoch, da das System den Fahrer bzw. die Fahrerin auch bei schlecht einsehbaren Parkplätzen unterstützt
Marktreife	verfügbar
Kosten	mittel

Spezielle Unfallpräventionssysteme – Beispiel Mobileye	
Maßnahmennummer	F4
Maßnahmentyp	Fahrerassistenzsystem, integriert und nachrüstbar
Beispielanwendung	u. a. BMW, Audi, Volkswagen, Nissan, Ford (laut Mobileye)
Zweck der Maßnahme	Warnung vor potenziellen Gefahren durch Kollision, das Verlassen der Fahrspur oder Passanten und Radfahrern. Je nach Version auch Totwinkelerkennung und weitere Funktionen.
Art der Warnung	akustische und visuelle Warnung
Kommunikationsprinzip	einseitig
Systemanwendende	FahrerInnen
Beispielbild	 <p style="text-align: center;">Quelle: Mobileye</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Das System scannt kamerabasiert das Verkehrsgeschehen vor dem Fahrzeug und bewertet kontinuierlich das Risiko einer potenziellen Gefahr. Dabei werden Objekte auf der Straße erkannt sowie Fahrspuren und weitere Faktoren, die das System verarbeitet und im Notfall Alarm schlägt. Das System greift nicht aktiv in das Fahrgeschehen ein, sondern warnt den Fahrer bzw. die Fahrerin lediglich vor einer potenziell drohenden Gefahr.
Wirksamkeit Lärmschutz	<p>😊 keine Warnsignale nach außen</p> <p>😊 es wird nur im Inneren des Fahrzeuges gewarnt</p>
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<p>😊 auch für größere Fahrzeuge, wie LKW geeignet</p> <p>😞 nur FahrerIn wird gewarnt, keine aktive Warnung der ungeschützten Verkehrsteilnehmenden</p>
Akzeptanz Fahrzeugführende	mittel, da das System zwar den Fahrer bzw. die Fahrerin in seiner Fahraufgabe unterstützt, jedoch die Kosten als Nachrüstung hoch sind
Marktreife	verfügbar
Kosten	ca. 849 ,- Euro (Mobileye 630, günstigste Version)

Vernetzte Kommunikation zwischen VerkehrsteilnehmerInnen	
Maßnahmennummer	F5
Maßnahmentyp	Fahrerassistenzsystem
Beispielanwendung	Verschiedene Pilotstudien
Zweck der Maßnahme	Vermeidung von Kakophonie; Lärmreduzierung bei Anwesenheit mehrerer E-Pkw
Art der Warnung	akustische Warnung
Kommunikationsprinzip	einseitig
Systemanwendende	FahrerInnen
Beispielbild	 <p>Quelle: <u>Grafische Darstellung (Symbolbild) der drahtlosen Kommunikation zwischen Fahrzeugen und ihrer Umgebung mit digitalen Mitteln, auch Car2x-Kommunikation genannt</u> von Hans-J. Brehm , lizenziert unter CC BY-SA 4.0</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Durch Flottenintelligenz können Fahrzeuge untereinander über die Car-to-Car-Kommunikation (C2C) bzw. Car-to-Infrastructure (C2I) Daten austauschen. So könnten Überlagerungen mehrerer AVAS Systeme vermieden werden. Eine Ortung der Fahrzeuge ist dadurch für andere VerkehrsteilnehmerInnen einfacher. Das System hat darüber hinaus das Potenzial, auch andere Daten, beispielsweise lokale Gefahrensituationen und Verkehrsrisiken, auszutauschen.
Wirksamkeit Lärmschutz	<ul style="list-style-type: none"> 😊 Vermeidung von überlagerten desorientierten Klangbildern 😊 Lärmreduzierung bei Anwesenheit mehrerer E-Pkw
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<ul style="list-style-type: none"> 😊 bessere Ortung einer potenziellen Gefahrenquelle 😊 verbesserte Lokalisierung der Fahrzeuge 😊 Vernetzung könnte noch mehr Vorteile hinsichtlich der Verkehrssicherheit aufzeigen
Akzeptanz Fahrzeugführende	mittel, Datenschutz könnte ggf. kritisch gesehen werden
Marktreife	nicht verfügbar (für zuverlässige Funktion ist 5G Netz erforderlich)
Kosten	derzeit hoch; nach verpflichtender Einführung von Assistenzsystemen mittel

Situatives AVAS	
Maßnahmennummer	F6
Maßnahmentyp	Fahrerassistenzsystem
Beispielanwendung	Projekt e-Vader mit Nissan und weiteren Partnern
Zweck der Maßnahme	aktive Warnung durch ein kameragestütztes System, welches darüber hinaus ermöglicht, auch gezielt in die Richtung von Passanten zu warnen
Art der Warnung	akustische und visuelle Warnung
Kommunikationsprinzip	zweiseitig
Systemanwendende	FahrerInnen
Beispielbild	 <p>Quelle: https://evader-project.eu/partners/</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Das kameragestützte System warnt nur dann, wenn es vor sich eine potenzielle Gefahr erkennt. Die Situation kann durch gezieltes Warnen, beispielsweise in Richtung eines zu Fuß gehenden, entschärft werden. Die Entwicklung wurde im Zuge der Vorgaben zum AVAS eingestellt.
Wirksamkeit Lärmschutz	<p>😊 Vermeidung akustischer Dauersignale bei niedrigen Geschwindigkeiten</p> <p>😊 gezieltes akustisches Warnen von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen</p>
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<p>😊 könnte Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit leisten, sofern System zukünftig zuverlässig funktioniert</p> <p>😞 unerwarteter Warnton könnte die ungeschützten Verkehrsteilnehmenden erschrecken</p>
Akzeptanz Fahrzeugführende	hoch, da situativ gewarnt wird; FahrerIn von E-Pkw wird auf Gefahr aufmerksam gemacht
Marktreife	Forschung & Entwicklung
Kosten	hoch (schwer einzuordnen, da System derzeit in der Entwicklung ist)

„Fußgängerhupe“	
Maßnahmennummer	F7
Maßnahmentyp	Fahrerassistenzsystem
Beispielanwendung	Praxiseinsatz, z. B. Renault Twizy, Renault Zoe ZW50, Opel Ampera
Zweck der Maßnahme	manuelle Warnung von FußgängerInnen und RadfahrerInnen
Art der Warnung	akustische Warnung
Kommunikationsprinzip	einseitig
Systemanwendende	FahrerInnen
Beispielbild	 <p>Quelle: <u>Warnton-Drehschalter des Renault Twizy</u> von Rainer Haas, lizenziert unter <u>CC BY-SA 4.0</u></p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	<p>Das System funktioniert wie eine Klingel oder sanfte Hupe. Im Falle einer kritischen Situation, muss der Fahrer bzw. die Fahrerin das System bewusst betätigen, um andere VerkehrsteilnehmerInnen zu warnen.</p> <p>Weitere Infos: https://www.youtube.com/watch?v=kjNPGHRMsfk</p>
Wirksamkeit Lärmschutz	<ul style="list-style-type: none"> 😊 geringere Schallemissionen als bei herkömmlicher Fahrzeughupe 😊 Effekt einer „freundlichen“ Fahrradklingel 😊 kein dauerhafter, sondern situativ eingesetzter Warnton 😞 tonales, „nerviges“ Geräusch
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<ul style="list-style-type: none"> 😊 kein Erschrecken der ungeschützten Verkehrsteilnehmenden, da „freundliche“ Warnung 😞 geringe Marktdurchdringung, da derzeit keine Serienausstattung 😞 System muss aktiv von FahrerIn aktiviert werden (Verantwortung liegt vollständig bei dem/der FahrerIn) 😞 System kann deaktiviert werden bzw. freiwillig eingesetzt werden
Akzeptanz Fahrzeugführende	hoch, da deaktivierbar und somit kein dauerhaftes Ertönen eines akustischen Warnsignals
Marktreife	verfügbar (seit 2013)
Kosten	gering

Anpassung der AVAS-Frequenzen für Blindenführhunde	
Maßnahmennummer	F8
Maßnahmentyp	Fahrerassistenzsystem
Beispielanwendung	unbekannt
Zweck der Maßnahme	Die Maßnahme könnte insbesondere sehgeschädigte Personen mit Blindenführhunden schützen. Normalhörende Personen erfahren keine Lärmbelästigung durch den Ton.
Art der Warnung	akustische Warnung
Kommunikationsprinzip	einseitig
Systemanwendende	FahrerInnen
Beispielbild	 <p>Quelle: <u>Førerhund på jobb i bygate i Oslo von Hanegal</u>, lizenziert unter <u>CC-BY-SA 4.0</u></p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	<p>Das Fahrzeug emittiert einen Warnton, der in einem Bereich liegt, der für das menschliche Ohr nicht hörbar ist. Hunde jedoch hören den Ton und können darauf trainiert werden. Das Funktionsprinzip ähnelt dem einer Hundepfeife.</p> <p>Die Verbesserung der Geräuscherkennung für Blindenhunde würde eine Anpassung des Trainingsprogramms für diese erfordern, so dass diese zukünftig auch Fahrzeuge als solche identifizieren können; dies könnte unabhängig von der Antriebsart des Fahrzeuges erfolgen.</p>
Wirksamkeit Lärmschutz	<p>😊 Vermeidung akustischer Dauersignale</p> <p>😊 Signale sind nicht für Menschen, sondern nur für Hunde hörbar</p>
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<p>😞 Menschen ohne Blindenführhund werden nicht gewarnt</p> <p>😞 nicht trainierte Hunde können das Signal nicht einordnen</p> <p>😞 System spricht nur eine kleine Personengruppe (blinde Verkehrsteilnehmende) an</p>
Akzeptanz Fahrzeugführende	gering, da nur ein bestimmter Teil der VerkehrsteilnehmerInnen gewarnt wird
Marktreife	Forschung & Entwicklung
Kosten	mittel

Hörgeräte bzw. Hearables	
Maßnahmennummer	N1
Maßnahmentyp	nutzerbasiert
Beispielanwendung	ReSound Linx 2®
Zweck der Maßnahme	Verbesserung des Hörens (allgemein und situationspezifisch)
Art der Warnung	keine
Kommunikationsprinzip	einseitig (Empfänger)
Systemanwendende	v. a. schwerhörige Menschen (als Hilfsmittel), alle (als Wearable)
Beispielbild	 <p>Quelle: GN Hearing GmbH</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	<p>Primär als Hörgerät entwickelt. Durch verschiedene Störfilter lassen sich situationspezifisch Frequenzbereiche absenken oder anheben, um die Wahrnehmung für bestimmte Geräusche zu erhöhen (z. B. Verbesserung der Sprachverständlichkeit in einem Restaurant bei ansonsten lauter Umgebung). Filter ortsbasiert einstellbar. Kopplung mit Geräten möglich, z. B. Navi, TV, Telefon. Weitere Vernetzung mit der Umwelt (z. B. akustische Ansagen im ÖPNV, SmartHome) in Planung. Einstellung über Smartphone-App möglich.</p> <p>Weitere Infos: https://www.golem.de/news/vernetzte-hoergeraete-und-hearables-ich-filter-mir-die-welt-widdewiddewie-sie-mir-gefaellt-1705-127476-2.html</p>
Wirksamkeit Lärmschutz	<p>😊 keine Schallemissionen nach außen</p> <p>😊 ermöglicht gezielte akustische Informationen direkt am Nutzenden</p>
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<p>😊 für AnwenderInnen zusätzliche Sicherheit durch verbesserte Wahrnehmung u. U. relevanter Geräusche (z. B. Warngeräusche)</p> <p>😞 „Knopf im Ohr“</p>
Akzeptanz ungeschützte Verkehrsteilnehmende	als Hilfsmittel sicher eher akzeptiert, als Wearable eher weniger
Marktreife	verfügbar
Kosten	je nach Funktionsumfang bis zu mehreren tausend Euro

Brille (Kamera)	
Maßnahmennummer	N2
Maßnahmentyp	nutzerbasiert
Beispielanwendung	Orcam MyEye 2®
Zweck der Maßnahme	Informationen über die Umgebung für sehgeschädigte NutzerInnen
Art der Warnung	keine, nur Information
Kommunikationsprinzip	einseitig
Systemanwendende	sehgeschädigte Menschen (als Hilfsmittel)
Beispielbild	 <p>Quelle: OrCam GmbH</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Hilfsmittel für Menschen mit Sehbehinderung. Die Kamera wird an den Brillenbügel geklemmt. Es werden Informationen über Personen, Produkte (Barcodes) oder Texte (Vorlesefunktion) als akustische Information an den Nutzenden ausgegeben. Weitere Infos: https://www.orcam.com/de/myeye2/
Wirksamkeit Lärmschutz	😊 Schallemissionen (akustische Ausgabe von Infos) nur für NutzerInnen
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	😊/😞 bisher kein Bezug zur Mobilität (Verkehrsteilnahme), stationäre Anwendung
Akzeptanz ungeschützte Verkehrsteilnehmende	als Hilfsmittel ggf. akzeptiert, relativ teuer
Marktreife	verfügbar
Kosten	ca. 3.000,- USD

Datenbrille (Kamera)	
Maßnahmennummer	N3
Maßnahmentyp	nutzerbasiert
Beispielanwendung	eSight 3®
Zweck der Maßnahme	Verbesserung der Sehfähigkeit, Informationen über die Umgebung
Art der Warnung	keine, nur Informationen
Kommunikationsprinzip	einseitig (Empfänger)
Systemanwendende	sehgeschädigte Menschen (als Hilfsmittel)
Beispielbild	ohne Abbildung
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Hilfsmittel für Menschen mit Sehbehinderung (Restsehfähigkeit). Die Umgebung wird mit zwei Kameras in der Brille aufgenommen. Das optimierte Live-Bild wird auf den in der Brille integrierten LED-Bildschirmen wiedergegeben. Ein Computer optimiert das über eine Kamera aufgenommene Bild automatisch, über einen Controller lassen sich zusätzlich etwa der Kontrast und die Helligkeit verändern. Außerdem kann der Träger das Bild heranzoomen oder auch einfrieren. Weitere Infos: https://esighteyewear.com/
Wirksamkeit Lärmschutz	😊 keine Schallemissionen
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	😊/😞 bisher kein bzw. wenig Bezug zur Mobilität (Verkehrsteilnahme), primär eher für stationäre Anwendung vorgesehen
Akzeptanz ungeschützte Verkehrsteilnehmende	als Hilfsmittel ggf. akzeptiert, relativ teuer
Marktreife	verfügbar
Kosten	ca. 15.000,- USD

Augmented Reality-Brille	
Maßnahmennummer	N4
Maßnahmentyp	nutzerbasiert
Beispielanwendung	Google Glasses®, Microsoft Hololens® und diverse Anbieter
Zweck der Maßnahme	kontextbezogene Zusatzinformationen über die Umgebung
Art der Warnung	bisher Schwerpunkt Informationsvermittlung
Kommunikationsprinzip	einseitig (Empfänger)
Systemanwendende	spezifisch (z. B. in der Industrie), alle (als Wearable)
Beispielbild	 <p>Quelle: Stuttgarter Straßenbahnen AG (Beispiel Smartphone-App mit AR)</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Bei Augmented Reality-Brillen (AR-Brillen) wird in das reale Umgebungsbild eine computergenerierte Zusatzinformation eingeblendet. AR-Brillen finden zunehmend im industriellen Bereich Anwendung, z. B. bei der Montage. So werden den NutzerInnen kontextspezifische Informationen auf die Bildschirme der Brille eingeblendet (z. B. Schaltpläne, Bedienungsanleitungen usw.). Im breiten Anwendungsbereich sind ortsbezogene Informationen (Navigation) denkbar.
Wirksamkeit Lärmschutz	😊 keine Schallemissionen
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	😊/😞 Augmented Reality bisher mit wenig Bezug zur Mobilität (teilweise im Zusammenhang mit Routing), primär eher für stationäre Anwendung vorgesehen
Akzeptanz ungeschützte Verkehrsteilnehmende	im professionellen Bereich etabliert, im Privatanwenderbereich bisher keine Marktdurchdringung (vgl. Google Glasses)
Marktreife	verfügbar
Kosten	mehrere hundert bis zu mehreren tausend Euro

Smartwatch	
Maßnahmennummer	N5
Maßnahmentyp	nutzerbasiert
Beispielanwendung	z. B. Polar, Fitbit, Apple, Samsung
Zweck der Maßnahme	Warnung vor herannahenden E-Pkw
Art der Warnung	visuelle Darstellung (Display) sowie akustische und taktile Warnung
Kommunikationsprinzip	einseitig (Empfänger)
Systemanwendende	FußgängerInnen im Allgemeinen
Beispielbild	 <p>Quelle: Boenke</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Über verschiedene Sensoren werden Daten über den Nutzenden selbst oder aus der Umwelt, z. B. über Körperfunktionen (Herzfrequenz) oder Umgebungslautstärke erfasst. Smartwatches sind in der Regel internetfähig, entweder über eine eigenständige Verbindung (Mobilfunk, WLAN) oder über ein gekoppeltes Smartphone. Smartwatches lassen sich über die Installation von Applikationen in ihrer Funktion erweitern und individuell anpassen. Zukünftig könnten die Datenuhren Hinweise an den Nutzenden über E-Pkw in der Nähe geben. Für die Kommunikation wäre eine passende Sende- oder Empfangseinheit an den Fahrzeugen erforderlich.
Wirksamkeit Lärmschutz	😊 keine Schallemissionen
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	😊 für AnwenderInnen zusätzliche Sicherheit 😊 großer Kreis der AnwenderInnen 😞 unilaterale Warnung (keine Redundanz) 😞 für AVAS-Ersatz Fahrzeugdaten (Position) erforderlich, bisher fehlende Schnittstelle
Akzeptanz ungeschützte Verkehrsteilnehmende	schätzungsweise eher gering, da zusätzlich zum Smartphone weiteres Gerät erforderlich ist
Marktreife	verfügbar, für AVAS-Ersatz Anpassungen erforderlich
Kosten	je nach Modell und Ausstattung zwischen 40 und 400 ,- Euro

Taktiler Armband oder Brustgurt	
Maßnahmennummer	N6
Maßnahmentyp	nutzerbasiert
Beispielanwendung	VibroTac®
Zweck der Maßnahme	Routing, Kompass
Art der Warnung	taktile Hinweise (auch richtungsbezogen) über Armband oder Brustgurt
Kommunikationsprinzip	einseitig
Systemanwendende	verschiedene (sehgeschädigte Menschen, ortsbasierte Warnfunktion für Arbeitskräfte usw.)
Beispielbild	 <p>Quelle: DLR, lizenziert unter CC-BY 3.0</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	<p>Vibrotac: Armband mit sechs Vibrationselementen. Nutzender erhält Richtungs- und Entfernungshinweise (über Kopplung mit einem Navigationssystem). Schnittstelle zum Smartphone (GPS-Daten). Als Ergänzung zum Langstock, da situationsbezogene Elemente (z. B. Lichtsignalanlagen) derzeit i. d. R. noch nicht GPS-basiert dargestellt werden können. Das Gerät kann auch für ortsbezogene Warnhinweise eingesetzt werden, z. B. für Gleisarbeiter bei Annäherung eines Zuges.</p> <p>Weitere Infos: https://www.sensodrive.de/produkte-leistungen/vibrotactiles-feedback.php; https://www.dlr.de/content/de/downloads/news-archiv/2012/20120925_navigation-durch-vibration-vibrotac-unterstuetzt-sehbehinderte-und-blinde-menschen_5318.pdf?blob=publicationFile&v=12</p>
Wirksamkeit Lärmschutz	😊 keine Schallemissionen
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<p>😊 für AnwenderInnen zusätzliche Sicherheit</p> <p>😞 unilaterale Warnung (keine Redundanz)</p> <p>😞 für AVAS-Ersatz Fahrzeugdaten (Position) erforderlich</p>
Akzeptanz ungeschützte Verkehrsteilnehmende	schätzungsweise gering (zusätzliches Gerät), anwendungsspezifisch eher vorstellbar
Marktreife	verfügbar
Kosten	nicht bekannt

Navigationsgürtel	
Maßnahmenummer	N7
Maßnahmentyp	nutzerbasiert
Beispielanwendung	naviGürtel®
Zweck der Maßnahme	Routing, Kompass
Art der Warnung	taktile, richtungsbezogene Hinweise über Gürtel
Kommunikationsprinzip	einseitig
Systemanwendende	FußgängerInnen, v. a. sehgeschädigte Menschen
Beispielbild	 <p style="text-align: center;">Foto: Blind und mobil, Hamburg</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Gürtel mit 16 Vibrationseinheiten, die richtungsbezogen vibrieren können. Über eine Smartphone-App wird navigiert (Zieleingabe oder Himmelsrichtung) und eine Rückmeldung an den Gürtel gegeben, wenn Richtungsänderungen erforderlich werden. Weitere Infos: https://www.feelspace.de/naviguertel-blinde
Wirksamkeit Lärmschutz	😊 keine Schallemissionen
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<ul style="list-style-type: none"> 😊 für AnwenderInnen zusätzliche Sicherheit, da Orientierungshilfe 😞 stark beschränkter Kreis der AnwenderInnen 😞 unilaterale Warnung (keine Redundanz) 😞 für AVAS-Ersatz bislang fehlende Schnittstelle
Akzeptanz ungeschützte Verkehrsteilnehmende	schätzungsweise eher gering, zusätzliches Gerät für speziellen Anwendungsbereich
Marktreife	verfügbar
Kosten	ca. 2.000,- Euro (zzgl. Einweisung und Mobilitätstraining); Kostenübernahme durch einige Krankenkassen erfolgt bereits

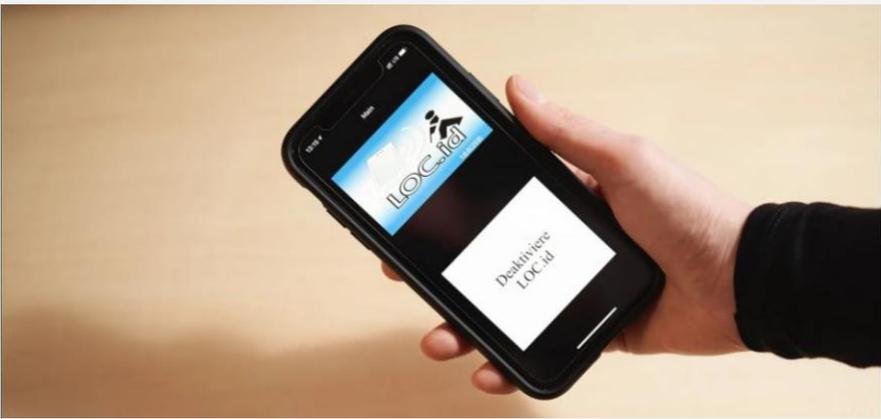
Zusatzgerät am Griff des Langstocks	
Maßnahmennummer	N8
Maßnahmentyp	nutzerbasiert
Beispielanwendung	Laser-Langstock®
Zweck der Maßnahme	Hinderniserkennung
Art der Warnung	taktile Warnung durch Laser-Warngerät
Kommunikationsprinzip	einseitig
Systemanwendende	sehgeschädigte Menschen (LangstocknutzerIn)
Beispielbild	 <p>Quelle: Vistac GmbH (Regina Geisler)</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	<p>Mit dieser Lasermesseinrichtung wird der Raumbereich in Kopf- und Brusthöhe überwacht und ein Hindernis durch eine Vibration angezeigt. Die Reichweite des Strahles beträgt ca. 145 cm.</p> <p>Weitere Infos: https://vistac.de/lala.shtml</p>
Wirksamkeit Lärmschutz	😊 keine Schallemissionen
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<ul style="list-style-type: none"> 😊 für AnwenderInnen zusätzliche Sicherheit 😞 stark beschränkter Kreis der AnwenderInnen 😞 unilaterale Warnung (keine Redundanz) 😞 nur im Nahbereich als Hinderniserkennung wirksam 😞 praktisch nur statische Objekterkennung 😞 Abtastbereich stark richtungsbezogen (zweidimensional)
Akzeptanz ungeschützte Verkehrsteilnehmende	schätzungsweise eher gering, da zusätzliches Gerät notwendig
Marktreife	verfügbar
Kosten	ca. 1.800,- Euro (zzgl. eines Mobilitätstrainings); Kostenübernahme kann durch Krankenkasse erfolgen (anerkanntes Hilfsmittel)

Handgerät bzw. Umhänger	
Maßnahmennummer	N9
Maßnahmentyp	nutzerbasiert
Beispielanwendung	Ultra-Body-Guard®, Independent®, Ray®
Zweck der Maßnahme	Hinderniserkennung
Art der Warnung	taktile Warnung durch Ultraschall-Gerät
Kommunikationsprinzip	einseitig
Systemanwendende	FußgängerInnen (sehgeschädigte Menschen)
Beispielbild	ohne Abbildung
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Geräte können um den Hals gehängt, in der Hand gehalten oder am Langstock befestigt werden. Im Nahbereich (bis ca. 3 Meter) wird per Ultraschall nach vorne die Umgebung auf Hindernisse abgetastet. Wird vom System ein Hindernis in Abtastrichtung erkannt, erhält dieser eine taktile Rückmeldung (Vibration) als Warnung.
Wirksamkeit Lärmschutz	😊 keine Schallemissionen
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	😊 für AnwenderInnen zusätzliche Sicherheit 😞 beschränkter Kreis der AnwenderInnen 😞 unilaterale Warnung 😞 nur im Nahbereich als Hinderniserkennung wirksam und praktisch nur statische Objekterkennung 😞 Abtastbereich richtungsbezogen (zweidimensional)
Akzeptanz ungeschützte Verkehrsteilnehmende	geringe Marktdurchdringung, da zusätzliches Gerät notwendig
Marktreife	verfügbar, für AVAS-Ersatz Anpassungen erforderlich
Kosten	ca. 1.200,- Euro (zzgl. eines Mobilitätstrainings); Kostenübernahme kann durch Krankenkasse erfolgen (anerkanntes Hilfsmittel)

Taktiler Armband	
Maßnahmennummer	N10
Maßnahmentyp	nutzerbasiert
Beispielanwendung	Sunu Band®
Zweck der Maßnahme	Hinderniserkennung
Art der Warnung	taktile Hinweise über Armband (vgl. Maßnahme N4)
Kommunikationsprinzip	einseitig
Systemanwendende	sehgeschädigte Menschen
Beispielbild	ohne Abbildung
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Armband mit Vibrationselementen. Hinderniserkennung (bis 5,5 Meter) über Ultraschall. Kombination mit Smartphone-App, z. B. für taktile Navigationshinweise. Sprachbasierte Hinweise in Kombination mit App möglich. Weitere Infos: https://www.sunu.com/de/index.html https://www.youtube.com/watch?v=DTJSxel1eGI&feature=youtu.be
Wirksamkeit Lärmschutz	😊 keine Schallemissionen
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	😊 für AnwenderInnen zusätzliche Sicherheit 😐 unilaterale Warnung (keine Redundanz) 😞 relativ geringe Reichweite und statische Objekterkennung
Akzeptanz ungeschützte Verkehrsteilnehmende	schätzungsweise gering (zusätzliches Gerät für spezifische Nutzergruppe)
Marktreife	verfügbar
Kosten	ca. 300,- US-Dollar

Spezielle Warn-App	
Maßnahmennummer	N11
Maßnahmentyp	nutzerbasiert und fahrzeugbasiert (im Navigationsgerät)
Beispielanwendung	navTrain
Zweck der Maßnahme	Warnung vor herannahenden Fahrzeugen
Art der Warnung	visuelle und akustische Rückmeldung auf dem Navi bzw. Smartphone
Kommunikationsprinzip	bilateral (Sender und Empfänger), ortsbasiert (GPS)
Systemanwendende	FahrerInnen von E-Pkw und ungeschützte Verkehrsteilnehmende
Beispielbild	<p>Quelle: Eigene Darstellung (Foto/Bilder: www.pixabay.com, www.dvr.de)</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	<p>Im System wird die Position des Fahrzeugs (näher sich einem Bahnübergang) sowie die Lage des Bahnübergangs mit den aktuellen Zugbewegungen abgeglichen. Meldet der Bahnübergang „geschlossen“, erhält der Fahrer bzw. die Fahrerin eine visuelle und akustische Gefahrenwarnung. Maßnahme wurde als Zusatzfunktion gesehen, nicht als Sicherungersatz.</p> <p>Weitere Infos: https://futurezone.at/digital-life/smartphone-app-fuer-sicherere-bahnuebergaenge/24.581.338</p>
Wirksamkeit Lärmschutz	😊 keine Schallemissionen im Außenbereich (nur akustische Warnung im Fahrzeug)
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<p>😊 Aufmerksamkeit des Fahrers bzw. der Fahrerin hat sich erhöht</p> <p>😞 flächendeckende Ausstattung schwierig</p>
Akzeptanz ungeschützte Verkehrsteilnehmende	evtl. Bedenken wegen Datenschutz (Ortungsfunktion)
Marktreife	Prototyp, Entwicklung eingestellt
Kosten	nicht verfügbar

Smartphone-Applikation bzw. Handsender – Beispiel Loc-ID

Maßnahmennummer	N12
Maßnahmentyp	nutzerbasiert
Beispielanwendung	Loc.ID®
Zweck der Maßnahme	Orientierung und Information an Lichtsignalanlagen und im ÖPNV
Art der Warnung	taktile Hinweise über App oder alternativ eigenständigen Handsender
Kommunikationsprinzip	bilateral (Bluetooth): Sender-Empfänger-Prinzip
Systemanwendende	sehgeschädigte Menschen
Beispielbild	 <p>Quelle: RTB GmbH & Co. KG</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	<p>Als Sender fungiert ein Smartphone über die Smartphone-App, oder (alternativ) der Handsender (Reichweite bis ca. 100 Meter). Nähert sich ein Nutzer einer mit einem Empfänger ausgestatteten Anlage, wird er erkannt und es erfolgt eine entsprechende Signalausgabe (z. B. Anhebung des Pegels des Orientierungssignals an einer LSA, akustische Information an einem ÖPNV-Verkehrsmittel). Die Schnittstelle ist für weitere Anwendungsfälle offengelegt.</p> <p>Weitere Infos: https://www.rtb-bl.de/produkte/ampel/loc-id/</p>
Wirksamkeit Lärmschutz	<p>😊 keine Schallemissionen (Gerät)</p> <p>😊 verringert Schallemissionen von Anlagen in der Umwelt</p>
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<p>😊 für AnwenderInnen zusätzliche Sicherheit durch Orientierungshilfen</p> <p>😊/😬 situative Warnung</p>
Akzeptanz ungeschützte Verkehrsteilnehmende	als Smartphone-App höher, da kein zusätzliches Gerät für die Nutzung angeschafft werden muss, v. a. mit Funktionserweiterung (zurzeit Erweiterung auf Ansagen von öffentlichen Verkehrsmitteln als Pilot)
Marktreife	verfügbar
Kosten	kostenlos (Applikation), Empfänger ca. 200,- Euro

Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit an Hauptverkehrsstraßen	
Maßnahmennummer	B1
Maßnahmentyp	administrativ, begleitend
Beispielanwendung	T 30-Zonen
Zweck der Maßnahme	Verringerung der Unfallhäufigkeit und Unfallschwere im Stadtverkehr
Art der Warnung	keine (begleitende Maßnahme)
Kommunikationsprinzip	nicht zuordenbar
Systemanwendende	FahrerInnen
Beispielbild	 <p>Quelle: DVR</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Die Höchstgeschwindigkeit innerhalb geschlossener Ortschaften beträgt nach § 3 StVO 50 km/h. Ausnahmen davon an Hauptverkehrsstraßen sind im Einzelfall zu begründen. Weitere Infos: StVO, Heinrichs et al. 2016
Wirksamkeit Lärmschutz	<ul style="list-style-type: none"> ☺ Verringerung des Mittelungspegels um bis ca. 4 dB(A) ggü. 50 km/h (Heinrichs et al. 2016, S. 13) ☺ deutlich geringere Maximalpegel und Pegelschwankungen
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	<ul style="list-style-type: none"> ☺ Anhalteweg der Fahrzeuge halbiert ☺ Unfallhäufigkeit und Unfallfolgen verringert (vgl. Kreisverkehr vs. Kreuzung) ☺ verbesserte Kommunikation zwischen VerkehrsteilnehmerInnen möglich ☺ bessere/frühere Reaktion der VerkehrsteilnehmerInnen auf Ereignisse
Akzeptanz schwächere Verkehrsteilnehmende	hohe Akzeptanz wegen höherer Verkehrssicherheit und Aufenthaltsqualität zu erwarten
Akzeptanz Fahrzeugführende	Widerstände gegen (weitgehend) flächendeckende Einführung von 30 km/h zu erwarten
Marktreife	nicht bekannt
Kosten	gering

Kampagnen zur Verkehrsaufklärung	
Maßnahmennummer	B2
Maßnahmentyp	Aufklärungskampagne
Beispielanwendung	Kampagne „Stell dir vor, das Licht geht aus“ des bmvit (Österreich)
Zweck der Maßnahme	Sensibilisierung der VerkehrsteilnehmerInnen zur höheren Achtsamkeit im Zusammenhang mit dem Betrieb von E-Pkw
Art der Warnung	keine (begleitende Maßnahme)
Kommunikationsprinzip	nicht zuordenbar
Systemanwendende	alle VerkehrsteilnehmerInnen
Beispielbild	 <p>Quelle: BMVIT</p>
Kurzbeschreibung der derzeitigen Funktionsweise	Anlässlich des Internationalen Tag des Sehens im Jahr 2015 hat das österreichische Verkehrsministerium in Kooperation mit Sehbehindertenverbänden und Automobilindustrie eine Verkehrsaufklärungskampagne zur Sensibilisierung der FahrerInnen von E-Pkw umgesetzt. Mit der Kampagne sollte auf die Bedürfnisse sehgeschädigter Menschen bei der Verkehrsteilnahme aufmerksam gemacht werden.
Wirksamkeit Lärmschutz	😊 keine Schallemissionen
Wirksamkeit Verkehrssicherheit	😊 Steigerung des Verantwortungsbewusstseins 😊 Steigerung der Aufmerksamkeit im Zusammenhang mit E-Pkw 😞 keine unmittelbaren Hinweise der VerkehrsteilnehmerInnen bei kritischen Verkehrssituationen 😞 Beschränkung auf spez. Nutzergruppe (sehende VerkehrsteilnehmerInnen)
Akzeptanz ungeschützte Verkehrsteilnehmende	keine negativen Auswirkungen
Akzeptanz Fahrzeugführende	keine negativen Auswirkungen
Marktreife	verfügbar
Kosten	nicht verfügbar

Anhang B: Fragebogen

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



Stand: 2019-06-14

„Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System“

Befragung von Experten

Sehr geehrte Dame, sehr geehrter Herr,

vielen Dank, dass Sie uns bei der Arbeit zum Forschungsprojekt „Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)“ (FKZ 3718 54 100 0) unterstützen.

Beim AVAS handelt es sich um einen vom Gesetzgeber geforderten Geräuschgenerator für elektrisch fahrende Automobile (rein elektrisch oder Hybrid-Fahrzeuge), der in einem Geschwindigkeitsbereich bis 20 km/h die akustische Wahrnehmbarkeit des Fahrzeuges verbessern soll, um damit einen Beitrag zur Verkehrssicherheit zu leisten. Hintergrund dieser Maßnahme ist, dass bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen kein Motorengeräusch vorhanden ist. Bei höheren Geschwindigkeiten dominiert das Rollgeräusch der Fahrzeuge, unabhängig von der Antriebsart. Auf der anderen Seite besteht der Wunsch, insbesondere den innerstädtischen Verkehr leiser zu gestalten, um damit einen Beitrag zum Immissionsschutz zu leisten. Hieraus könnte sich mit dem AVAS ein Zielkonflikt ergeben.

Bei diesem Zielkonflikt setzt das Forschungsvorhaben an. Es soll untersucht werden, wie die Ziele einer Beibehaltung bzw. Erhöhung der Verkehrssicherheit erreicht werden und zugleich das Lärminderungspotenzial elektrisch angetriebener Kraftfahrzeuge bei niedrigen Geschwindigkeiten im urbanen Raum ausgeschöpft werden können. Dafür soll zum einen die Notwendigkeit und Wirksamkeit des AVAS analysiert und bewertet werden. Zum anderen sind alternative Möglichkeiten zu einem AVAS-System zu identifizieren, zu bewerten und mit den unterschiedlichen Interessengruppen zu diskutieren.

Ziel der Befragung ist es dabei, mit Blick auf die Projektziele Erfahrungen und Hinweise der Experten aus unterschiedlichen Interessengruppen zu erfassen und in die Analyse einfließen zu lassen. Die Ergebnisse des Gesamtprojektes sollen in einem Dialog-Workshop unter Beteiligung der Interessengruppen vorgestellt und abschließend diskutiert werden.

Der Auftraggeber dieses Projektes ist das Umweltbundesamt (UBA). Die Untersuchung wird von der STUVA e. V., in Zusammenarbeit mit dem Institut für Fahrzeugtechnik (IFK) an der TH Köln (Prof. Dr.-Ing. Rainer Haas) sowie Herrn Dipl.-Ing. Bernd Lehming, ehemaliger Leiter des Referats Immissionsschutz (Lärm, Luftreinhaltung, Industrieanlagen) bei der Senatsverwaltung für Umwelt in Berlin, durchgeführt.

Ihre Daten werden selbstverständlich vertraulich behandelt und die gesetzlichen Anforderungen des Bundesdatenschutzgesetzes (BDSG) berücksichtigt.

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



Für Ihre Unterstützung möchten wir uns im Namen des Projektteams bereits jetzt schon herzlich bedanken.

Bei Rückfragen wenden Sie sich bitte an:

Dr.-Ing. Dirk Boenke

Tel. 0221/59795-19

d.boenke@stuva.de

STUVA e. V.

Mathias-Brüggen-Straße 41

50827 Köln

Mit freundlichen Grüßen
STUVA e. V.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'D. Boenke'.

Dr.-Ing. Dirk Boenke
Bereichsleiter Verkehr & Umwelt

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



Fragebogen

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)

Wichtiger Hinweis:

Bitte geben Sie den Fragebogen auch an uns zurück, wenn Sie nur einen Teil der Fragen beantwortet haben.

A) Persönliche Informationen

A1) Kontaktinformationen

Ihre persönlichen Daten werden vertraulich behandelt und lediglich intern verarbeitet. Sie dienen vor allem dazu, ggf. Rückfragen zu ermöglichen. Die Auswertung der Fragebögen erfolgt im Übrigen anonymisiert nach strengen Datenschutzregeln.

Name, Vorname

E-Mail

Telefon

Institution

Funktion

A2) Welche fachlichen Kompetenzen haben Sie?

(Mehrfachnennungen sind möglich.)

- Kenntnisse auf dem Gebiet der Verkehrssicherheit
- Kenntnisse in der Akustik
- Kenntnisse im Lärmschutz
- Kenntnisse im Umgang mit Menschen mit Behinderung

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



A3) War Ihnen AVAS vor dieser Befragung ein Begriff?

- AVAS war mir vor dieser Befragung bzw. vor Kontaktaufnahme im Rahmen dieses Projektes kein Begriff
- Ich hatte bereits vor der Befragung von AVAS gehört, kannte aber Details bezüglich der Umsetzung nicht
- Ich kannte Funktion und Zweck des AVAS bereits vor dieser Befragung

A4) Welche Erfahrungen mit AVAS haben Sie?

(Mehrfachnennungen sind möglich.)

- Erfahrungen mit AVAS im Straßenverkehr als Selbstfahrer eines elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugs
- Erfahrungen mit AVAS im Straßenverkehr: Geräusch schon einmal selbst gehört
- Erfahrungen mit AVAS aus dem beruflichen Umfeld

Bitte näher erläutern:

- keine praktischen Erfahrungen mit AVAS

B) Persönliche Erfahrung

Hinweis:

Bei den folgenden Fragen geht es um Ihre **persönlichen Erfahrungen!**

B1) Haben Sie selbst schon einmal eine kritische Verkehrssituation mit einem leisen Kraftfahrzeug (Pkw, Lieferwagen) erlebt?

- Nein *(Weiter mit Frage B6)*
- Ja

B2) Handelte es sich dabei um ein Elektro- oder Hybridfahrzeug (Pkw, Lieferwagen, Lkw)?

- Nein
- Ja
- weiß nicht

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



B3) Wie waren Sie zu dem Zeitpunkt unterwegs?

- Zu Fuß
- Mit dem Rad
- Fahrer/Beifahrer eines Elektro- bzw. Hybridfahrzeugs
- Ich war lediglich Beobachter der Situation.

B4) In welcher Verkehrssituation kam es zu der kritischen Situation?

- Überqueren einer Fahrbahn (Strecke)
- Überqueren einer Fahrbahn (Kreuzung)
- Fußgänger/Pkw auf größeren Parkplätzen
- Kraftfahrzeuge, die Radfahrer überholen (Fahrbahn)
- Weiteres:

- keine Angabe

B5) Was war die Ursache für die kritische Situation?

- Fahrzeug nicht gehört (fahrzeugseitig zu leise)
- Fahrzeug nicht wahrgenommen (aufgrund lauter Umgebungsgeräusche)
- Ablenkende Tätigkeit während der Verkehrsteilnahme (eigenes Verschulden)
- Fehlinterpretation der Fahrzeuggeräusche
- Missverständnis mit Fahrer
- Weiteres:

- kann ich nicht beurteilen
- keine Angabe

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



B6) In welchem Maße fühlen Sie sich durch folgende Verkehrsgeräusche gestört?

	gar nicht	wenig	stark
allgemeiner Straßenverkehrslärm/ Hintergrundrauschen/Rollgeräusche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anfahren/Beschleunigen/Bremsen/ Motorengeräusche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hupen/Martinshorn/Klingeln	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B7) Wie schätzen Sie die Lärmbelastigung durch verschiedene Verkehrsteilnehmende in Wohngebieten ein?

	keine Lärmbelästi- gung	geringe Lärmbelästi- gung	hohe Lärmbelästi- gung
PKW-Verkehr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parksuchverkehr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektrofahrzeuge mit AVAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Elektrofahrzeuge ohne AVAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LKW-Verkehr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
gewerblicher Anlieferverkehr	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Motorräder	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



C Einschätzung der Wirkung des AVAS

Wichtiger Hinweis:

In den nun folgenden Frageblöcken geht es die **Einschätzung aus Sicht Ihrer Interessengemeinschaft bzw. Gruppe, die Sie vertreten!** Es geht nicht um Ihre persönliche Meinung!

C1) Wie wird sich ein zunehmender Anteil von elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen (rein elektrisch, Hybride) auf die Verkehrssicherheit auswirken?

Die Verkehrssicherheit

- nimmt ab bleibt gleich nimmt zu
 keine Angabe

Bitte begründen Sie Ihre Auswahl kurz:

C2) Kann ein akustisches Warnsystem (AVAS) in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen einen Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten?

- Nein
 Ja
 keine Angabe

Bitte begründen Sie Ihre Einschätzung kurz:

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



C3) Ergibt sich für bestimmte Personengruppen ein Schutzbedarf infolge eines zunehmenden Anteils elektrisch angetriebener Kraftfahrzeuge?

(Mehrfachnennungen sind möglich)

- für keinen Verkehrsteilnehmenden
- für alle nicht motorisierten Verkehrsteilnehmenden
- für Rad fahrende im Allgemeinen
- für zu Fuß gehende im Allgemeinen
- für blinde und sehbehinderte Personen
- für gehörlose und schwerhörige Personen
- für Menschen mit kognitiven Einschränkungen
- für Kinder
- für ältere Menschen
- andere Gruppen, nämlich:

- keine Angabe

C4) Bei welchen der folgenden Fahrzustände wäre AVAS sinnvoll?

(Mehrfachnennungen sind möglich)

	nicht sinnvoll	wenig sinnvoll	sinnvoll
Fahren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bremsen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beschleunigen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



C5) Bei welchem der folgenden Fahrmanöver wäre AVAS sinnvoll?
(Mehrfachnennungen sind möglich)

	nicht sinnvoll	wenig sinnvoll	sinnvoll
Startbereites Fahrzeug im Stillstand (z. B. an einer Ampel)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahren bis 10 km/h	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahren bis 20 km/h	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahren bis 30 km/h	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fahren (unabhängig von der Geschwindigkeit)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rückwärtsfahren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weiteres:			
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

keine Angabe

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



D) Umsetzung AVAS und Alternativen

D1) Wie sind die gesetzlichen Vorgaben des AVAS im Hinblick auf folgende Aspekte zu beurteilen:

	nicht ausrei- chend	ausrei- chend	überre- guliert	nicht bekannt	keine An- gabe
Wirksamkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wahrnehmbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lärmschutz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lästigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weiteres:					
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D2) Die gesetzlichen Vorgaben lassen auch eine markenspezifische Gestaltung (Branding) des Warngeräusches zu. Bevorzugen Sie mit Blick auf die Verkehrssicherheit ein

- markenspezifisches Geräusch markenunabhängiges Geräusch

Bitte begründen Sie Ihre Antwort kurz:

- keine Angabe

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



D3) Haben Sie Vorschläge, das derzeit existierende System zu modifizieren, z. B. hinsichtlich *(Mehrfachnennungen sind möglich)*

- der Kopplung an eine Anwesenheit von Fußgängern oder Radfahrern im relevanten Umfeld des Kraftfahrzeugs
- der Lautsprecherausrichtung auf Fußgänger und Radfahrer
- der Frequenz des Warnsignals (z. B. hochfrequent wie bei einem Moped oder tieffrequent wie bei einem LKW),
- der Einheitlichkeit des Signals, z. B. als fest definierter Ton für alle AVAS-Geräte
- Weiteres:

Bitte erläutern Sie Ihre Angaben:

- keine Angabe

D4) Besteht eine Notwendigkeit bestimmter Formen von Warnsignalen im Zusammenhang mit dem Betrieb von Kraftfahrzeugen mit elektrischem Antriebsstrang im Straßenverkehr? *(Mehrfachnennungen sind möglich)*

	nicht erforderlich	optional möglich	zwingend erforderlich
akustisch (Töne)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
haptisch (z. B. Vibration)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
visuell (z. B. Licht)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
keine Warnung erforderlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- keine Angabe

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



D5) Folgende Maßnahmen könnten effektiv zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen: (Mehrfachnennungen sind möglich)

	nicht effektiv	wenig effektiv	effektiv	keine Angabe
Fahrzeugtechnik (z. B. Fahrerassistenzsysteme, Sensoren)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verwendung eines persönlichen, technischen Gerätes (z. B. persönliches Warngerät) unabhängig von Kraftfahrzeugen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kommunikation zwischen Fahrzeug und Verkehrsteilnehmenden (Car2X)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
verkehrsregelnde Maßnahmen (z. B. allgemeine Geschwindigkeitsbeschränkung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
verhaltensbezogene Maßnahmen (z. B. Kampagnen, Training etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weitere Maßnahmen:				
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



D6) Welche der folgenden Maßnahmen wäre geeignet, ein AVAS zu ersetzen?
(Mehrfachnennungen sind möglich)

	nicht geeignet	weniger geeignet	geeignet	keine Angabe
Fahrzeugtechnik (z. B. Fahrerassistenzsysteme, Sensoren)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verwendung eines persönlichen, technischen Gerätes (z. B. persönliches Warngerät) unabhängig von Kraftfahrzeugen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kommunikation zwischen Fahrzeug und Verkehrsteilnehmenden (Car2X)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
verkehrsregelnde Maßnahmen (z. B. allgemeine Geschwindigkeitsbeschränkung)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
verhaltensbezogene Maßnahmen (z. B. Kampagnen, Training etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weitere Maßnahmen:				
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D7) Wäre es vorstellbar, dass zu Fuß gehende oder Rad fahrende zukünftig eine Sende- oder Empfangseinheit mit sich führen, wenn es der Erhöhung der Verkehrssicherheit dient?

- Nein (Weiter mit Frage D9)
- Ja
- keine Angabe

Lärmtechnische Bewertung des Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS)
(FKZ 3718 54 100 0)



D8) Sie haben angegeben, dass es vorstellbar wäre, das zu Fuß gehende oder Rad fahrende zukünftig eine Sende-/Empfangseinheit mitzuführen. Sollte dies an bestimmte Voraussetzungen geknüpft sein?

- generell denkbar, ohne weitere Einschränkungen
- nur für eine Übergangsphase (z. B. solange es noch Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren im Verkehr gibt)
- integriert in ein Smartphone
- integriert in ein persönliches (eigenständiges) Gerät (personal device)
- Weiteres

Bitte begründen Sie Ihre Antwort:

D9) Welche Anforderungen sollten im Allgemeinen an ein Warnsystem gestellt werden?

D10) Welche Aspekte könnten die Akzeptanz eines Warnsystems steigern?

D11) Was sollte im Hinblick auf ein Warnsystem vermieden werden?

E) Weitere Anregungen

Wenn Sie weitere Anregungen und Bemerkungen zu der o. g. Thematik haben, können Sie uns diese gerne hier mitteilen.

Anhang C: Leitfaden Telefoninterview

Allgemeine Hinweise für die Telefoninterviews:

- Fragebögen vor den Telefoninterviews auf Plausibilität prüfen (z. B. Gibt es widersprüchliche Angaben?)
- Frage für Frage durchgehen und nachhaken, wie Person zu ihrer Einschätzung gekommen ist (Bei einigen Fragen keine Nachfrage notwendig (z. B. B3))

Frage	Antwort	Hinweise für Telefoninterview
A3	„AVAS war mir vor dieser Befragung bzw. vor Kontaktaufnahme im Rahmen dieses Projektes kein Begriff“	<ul style="list-style-type: none"> • Haben Sie durch uns das erste Mal von AVAS gehört? → Lesefehler ausschließen
A 4	„Erfahrungen mit AVAS im Straßenverkehr: Geräusch schon einmal selbst gehört“	<ul style="list-style-type: none"> • Woher wissen Sie, dass es sich dabei um ein AVAS gehandelt hat? → Verwechslungsgefahr ausschließen
B1	„ <u>Ja</u> , ich habe selbst schon einmal eine kritische Verkehrssituation mit einem leisen Kraftfahrzeug erlebt“	<ul style="list-style-type: none"> → Erläutern, was wir unter einer kritischen Verkehrssituation verstehen (Es muss kein Unfall/Beinahe-Unfall sein, Person kann sich auch erschreckt haben. Uns interessiert <u>jede</u> Interaktion mit einem E-Pkw.) • Können Sie die erlebte Situation kurz schildern?
B2	„ <u>Nein</u> , ich habe selbst keine kritische Verkehrssituation mit einem leisen Kraftfahrzeug erlebt“	<ul style="list-style-type: none"> → Auch bei Personen nachfragen, die „NEIN“ angekreuzt haben, um auszuschließen, dass sie unter „kritische Verkehrssituation“ eine reine Unfallsituation verstanden haben: • Können Sie sich ggf. doch an eine kritische Situation erinnern?
B2	„Es handelte sich um ein Elektro- bzw. Hybridfahrzeug“	<ul style="list-style-type: none"> • Woher wissen Sie, dass es sich um ein Elektro- bzw. Hybridfahrzeug handelte? • Handelte es sich um ein Pkw, Lkw, Lieferfahrzeug usw.?
B5	„Fahrzeug nicht wahrgenommen (aufgrund lauter Umgebungsgeräusche)“	<ul style="list-style-type: none"> • Wo genau kam es zu der Situation? (Hauptverkehrsstraße; Baustelle in der Nähe, so dass das Fahrzeug überhört wurde? etc.)
B5	wichtige Zusatzfrage	<ul style="list-style-type: none"> • Hätte das AVAS die kritische Situation verhindern können?
B6	„Durch Hupen/Martinshorn/ Klingeln gar nicht bzw. wenig gestört.“	<ul style="list-style-type: none"> • Bitte begründen Sie Ihre Einschätzung. → diese Verkehrsgeräusche werden i. d. R. als erforderlich/nützlich und daher nicht als Lärm angesehen.
B7	(unabhängig von Antwort)	<ul style="list-style-type: none"> • Bitte begründen Sie Ihre Einschätzung. → max. 50 dB (A) in Wohngebieten
C	(Einstieg)	<ul style="list-style-type: none"> • Haben Sie aus Ihrer persönlichen Sicht oder der Sicht Ihrer Interessengemeinschaft/ Lobby geantwortet?
C1	„Verkehrssicherheit nimmt ab, u. a. aufgrund der Start-Stopp-Automatik“	<ul style="list-style-type: none"> • Stellen Fahrzeuge ihrer Meinung nach im Stand eine Gefahr dar?
C5	„Fahren bis 30 km/h sinnvoll“	<ul style="list-style-type: none"> • Bitte begründen Sie Ihre Einschätzung. → Gesetzliche Vorgabe: bis 20 km/h.
C5	„Fahren unabhängig von der Geschwindigkeit sinnvoll“	<ul style="list-style-type: none"> • Halten Sie ein dauerhaftes Geräusch für sinnvoll, z. B. auch im Stau auf Autobahnen? → These erläutern, dass ab ca. 30 km/h Rollgeräusche dominieren.

Frage	Antwort	Hinweise für Telefoninterview
D2	„Marken(un)abhängiges Geräusch“	<ul style="list-style-type: none"> • Wo sehen Sie die Vor- bzw. Nachteile des marken(un)abhängigen Geräusches?
D3	Weiteres: „Fußgängerhupe“	<ul style="list-style-type: none"> • Können Sie Ihren Vorschlag etwas näher erläutern (Funktionsweise, Lautstärke, Klang usw.)?
D4	(unabhängig von Antwort)	<ul style="list-style-type: none"> • Haben sie konkrete Ideen/Vorschläge für die Umsetzung?
D5	(unabhängig von Antwort)	<ul style="list-style-type: none"> • Haben sie konkrete Ideen/Vorschläge für die Umsetzung? • Kennen Sie gute Beispiele aus der Praxis? • Wie ist die Wirksamkeit der Maßnahmen einzuschätzen?
D6	„Fahrzeugtechnik“	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Art von Assistenzsystemen können Sie sich hier vorstellen (Funktion)?
D6	„Verwendung eines persönlichen, technischen Gerätes“	<ul style="list-style-type: none"> • Welches Warngerät können Sie sich vorstellen? <p>→ <u>Achtung</u>: ggf. Widerspruch mit Frage D7?</p>
D6	„Kommunikation zwischen Fahrzeug und Verkehrsteilnehmenden (Car2X)“	<ul style="list-style-type: none"> • Was können Sie sich hierunter vorstellen?
D6	„Verhaltensbezogene Maßnahmen“	<ul style="list-style-type: none"> • Beruht Ihre Einschätzung auf Erfahrungen?
D6	alle Antworten mit „nicht geeignet“ angekreuzt	<ul style="list-style-type: none"> • Sind Sie der Meinung, dass AVAS durch keine der Maßnahmen AVAS ersetzt werden kann? • Bitte begründen Sie Ihre Einschätzung.
D7	„Nein, Sende- oder Empfangseinheit für Fußgänger nicht vorstellbar.“	<ul style="list-style-type: none"> • Bitte begründen Sie Ihre Einschätzung.

Am Ende des Telefoninterviews:

- Haben Sie von dem Unfall in Lohmar gehört⁵⁷ (Zusammenstoß eines sehbehinderten Fußgängers mit einem rückwärtsfahrenden E-Pkw)?
- Hat dieser Unfall Ihre Antworten während der Befragung beeinflusst?
- To Do: Überprüfen, ob Fragebogen vor oder nach dem Unfall (30.07.2019) einging.

⁵⁷ Quelle: <http://www.general-anzeiger-bonn.de/region/sieg-und-rhein/mehr-sieg-und-rhein/Sehbehinderter-Mann-von-Elektroauto-erfasst-article4155998.html>

Anhang D: Dokumentation der Workshop-Ergebnisse

Ergebnisse Diskussionsrunde 1 Diskussionsrunde 1 - Gruppe 1

Leitfragen der Diskussion

In welchen Situationen ist AVAS erforderlich?
In welchen Situationen kann auf AVAS verzichtet werden?
Wo bestehen die größten Reibungspunkte (Lärmschutz vs. Verkehrssicherheit)?
Wo liegen die größten Potenziale (was müsste sich ändern)?
Wo sind die Unterschiede zum leisen Verbrenner?
Kann AVAS zur Reduzierung von Verkehrsunfällen beitragen?
Wie ist die Geschwindigkeitsgrenze des AVAS von $v = 20$ km/h zu bewerten?
Stellen auch andere leise Fahrzeuge (z. B. moderne Verbrenner, Elektrokleinstfahrzeuge) eine Gefährdung dar?
Sind diese ebenfalls mit einem AVAS auszustatten?

Zusammenfassung der Ergebnisse

- In welchen Punkten waren sich die Stakeholder einig?
- Wo gab es konträre Ansichten?
- Welche Aspekte wurden am stärksten/emotionalsten diskutiert?

**Ergebnisse Diskussionsrunde 1
"Perspektive der Anderen"**

PRO AVAS

- potenzieller Beitrag zur Verkehrssicherheit
- Orientierungsquelle für blinde Menschen (Verkehrsglocke); Wahrnehmbarkeit beim Wärmegeräusch
- gut, dass es etwas gibt
- Verantwortung nicht beim schwächeren Verkehrsteilnehmer*in
- Fahrer*in muss nicht aktiv eingreifen (das erledigt die Technik)
- AVAS und Klingel sind unterschiedlich: Wahrnehmung und Warnung
- Beispiel Situation Parken: schwierig einzugrenzen, welche Situation weniger gefährlich ist
- E-Fahrzeuge haben eine stärkere Beschleunigung

CONTRA AVAS

- wie bekommen wir die notwendigen Informationen da hin, wo sie benötigt werden
- Zuordnung zum Fahrzeugtyp fehlt
- unterschiedliche Geräuschausprägung der Fahrzeuge (Kakophonie), ggf. "Blending"
- einheitliche Geräusche würden aus Sicht der Verkehrssicherheit gut sein und wären aus Sicht des Lärmschützes zu begrüßen (aber der "Lärm" bleibt)
- kein Standgeräusch (z. B. Bushaltestelle)
- kein Standgeräusch (Fahrzeug z. B. für blinde Menschen nicht zu hören)
- situatives AVAS bei Radverkehr mit Klingel, Fahrer*in muss aktiv eingreifen (Verantwortung)
- wenn der Verkehr insgesamt leiser wäre, könnte auch AVAS leiser sein
- wenn der Verkehr insgesamt leiser wäre, könnte auch AVAS leiser sein
- warum Unterschiede zwischen EU (20 km/h) und USA (30 km/h)?

Diskussionsrunde 1 - Gruppe 2

Leitfragen der Diskussion

In welchen Situationen ist AVAS erforderlich?
In welchen Situationen kann auf AVAS verzichtet werden?
Wo bestehen die größten Reibungspunkte (Lärmschutz vs. Verkehrssicherheit)?
Wo liegen die größten Potenziale (was müsste sich ändern)?
Wo sind die Unterschiede zum leisen Verbrenner?
Kann AVAS zur Reduzierung von Verkehrsunfällen beitragen?
Wie ist die Geschwindigkeitsgrenze des AVAS von $v = 20$ km/h zu bewerten?
Stellen auch andere leise Fahrzeuge (z. B. moderne Verbrenner, Elektrokleinstfahrzeuge) eine Gefährdung dar?
Sind diese ebenfalls mit einem AVAS auszustatten?

Zusammenfassung der Ergebnisse

- In welchen Punkten waren sich die Stakeholder einig?
- Wo gab es konträre Ansichten?
- Welche Aspekte wurden am stärksten/emotionalsten diskutiert?

**Ergebnisse Diskussionsrunde 1
"Perspektive der Anderen"**

PRO AVAS

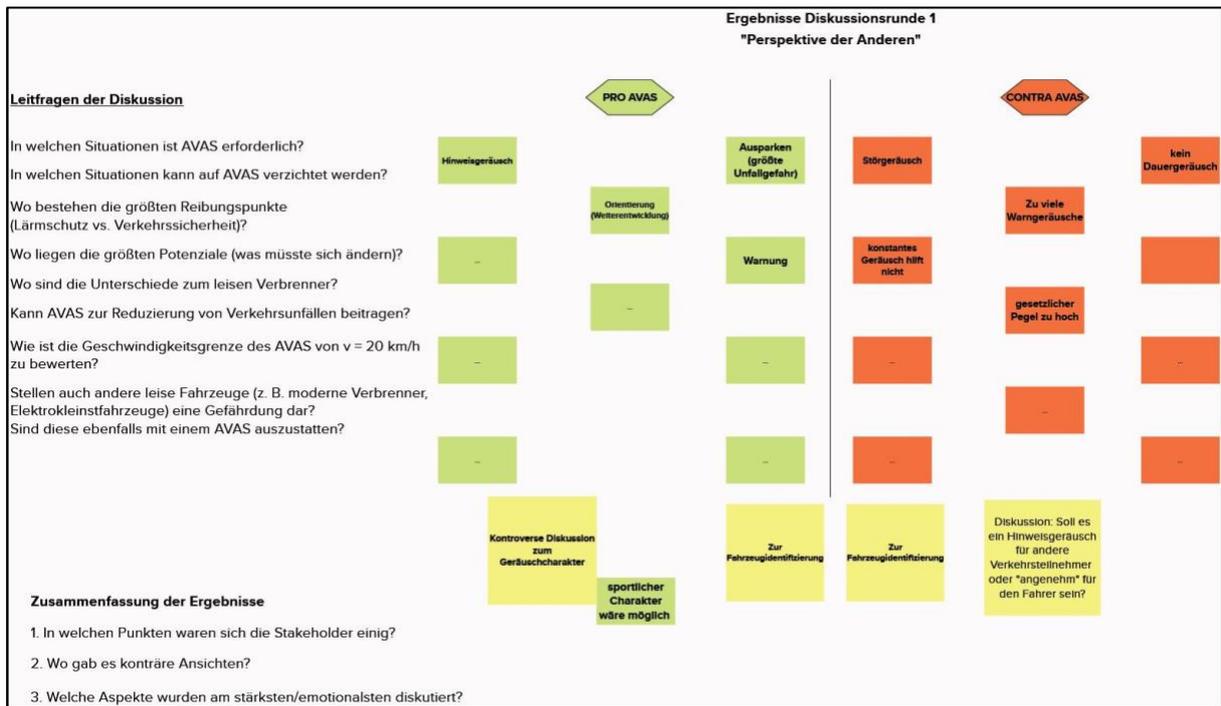
- Wahrnehmbarkeit v.a. für sensordefiziente Personen wichtig
- Anzeige visuelle Hinweise für Wahrnehmbarkeit (Licht vs. Hinweis)
- AVAS liefert vom Verkehrsteilnehmer nicht nur eine Bestätigung
- zu ALLE Verkehrsteilnehmer mit AVAS (Licht, Klingel, Hinweis)
- Bestandortorientierte Warnung sehr von Vorteil
- Stellenweise Lärm aktiv gestalten, Geräusch reduzieren, Spielraum vorhanden
- sehr kritische Situation mit E-KVC (erhöht geschlossener)
- Menschen sind sensibler, aber sind sich in leiser Geräusch großartig
- Es gibt schon immer leise Fahrzeuge, an die man sich gewöhnt hat.
- Kompromiss Verkehrssicherheit vs. Lärmschutz
- Zielkonzept eindeutig vs. wahrnehmbar
- AVAS anpassen an Gefährdung, Hinweis
- emotionaler Konflikt
- bestimmte Lautstärke erforderlich
- klare Darlegung, ihrer Studien
- Verbrenner haben schon Warnung

CONTRA AVAS

- AVAS produziert zusätzlichen Lärm
- Typische Fahrzeuggeräusche wären konstanter
- AVAS ist kein Bonus / Wahrnehmbar für alle, aus Sicht der Blinden
- AVAS wird v.a. in innerstädtischen Raum verengern (z.B. MMR)
- keine klaren Ziele, sondern nur Vermeidung von Verkehrsunfällen
- AVAS wird v.a. in innerstädtischen Raum verengern (z.B. MMR)
- zu viel Soundbeleg (Balkenposten)
- Maßnahmen des geringsten AVAS vorzuziehen (z.B. Studien)
- es gibt bereits angenehme als auch unangenehme AVAS-Geräusche
- Gestaltungsspektrum ist offen
- geringer Spielraum (Kosten)

218

Diskussionsrunde 1 - Gruppe 3



Ergebnisse Diskussionsrunde 2

Diskussionsrunde 2 - Gruppe 1

Leitfragen der Diskussion	Ergebnisse Diskussionsrunde 2 "Alternative Maßnahmen zu AVAS"					
	Pro und Contra Kommunikation (Sender-Empfänger-Modell)		Pro und Contra Situatives AVAS		Pro und Contra "Fußgängerwarnton"	
	PRO	CONTRA	PRO	CONTRA	PRO	CONTRA
Verantwortung?	Potenzial für Verringerung von Geräuschemissionen (aktiv / Pegelanhebung)	Abhängigkeit von einem Gerät für dessen Funktionsfähigkeit (zB Strom)	grundsätzliches Potenzial für Lärmreduzierung wenn AVAS situativ genutzt würde	An- und Abschalten könnte störender sein, als ein Dauerton		
Akzeptanz der Nutzenden?			Praxistauglichkeit des Systems ist fraglich			
Wirkung Verkehrssicherheit?	evtl. Alternative für die Nachrüstung von Fahrzeugen vor 2019 (ohne AVAS)	Wirkungsgrad ist stark von der Vorbereitung abhängig	auch für Berufskraftfahrer*innen Entlastung, wenn kein Dauerton (zB Bus)	Verkehrsgeschäft als Orientierungsgeschäft nicht für lärm-Verkehrsbesitzer*innen		
Wirkung Lärmschutz?			Lärmschutzpotenzial nachts evtl. höher (auch gebietsabhängig)			
Zeitliche Realisierbarkeit?	Gewaltiger Schutz von besonders gefährdeten Verkehrsteilnehmer*innen	Verantwortung bei den schwächeren Verkehrsteilnehmer*innen (Biker etc.)				
Hemmnisse bei der Umsetzung?	weitergehende Geräusche alle Fahrzeuge in eine Warnung einbeziehen (zB auch Einradfahrzeuge, aber einen großen Schritt für den Lärmschutz darstellen)	App usw. vor allem bei Sicherheitsfragen keine Alternative (Verantwortung)				
Entwicklungsmöglichkeiten?						

Diskussionsrunde 2 - Gruppe 2

Leitfragen der Diskussion	Ergebnisse Diskussionsrunde 2 "Alternative Maßnahmen zu AVAS"					
	Pro und Contra "Fußgängerwarnton"		Pro und Contra Kommunikation (Sender-Empfänger-Modell)		Pro und Contra Situatives AVAS	
	PRO	CONTRA	PRO	CONTRA	PRO	CONTRA
Verantwortung?	Alternativ: freundliche Warnung, z.B. Klingel	Hupe erfüllt selben Zweck	Digitalisierung unterstützt Blinde & Sehbehinderte	ausgereift, zuverlässig, verfügbar, leichte Bedienung erforderlich	kein dauerhaftes Geräusch, Warnung vor kritischer Situation	kein kontinuierliches Geräusch, Warnung vor kritischer Situation
Akzeptanz der Nutzenden?						
Wirkung Verkehrssicherheit?	leiser als Hupe, kein Erschrecken der Verkehrsteilnehmer	dieses Geräusch ist keine Warnung	als Unterstützung / Zusatz zum AVAS denkbar	nicht jeder besitzt derzeit ein Smartphone (u.a. Ältere nicht)	positive Wirkung auf Lärmschutz und Verkehrssicherheit	hoher Entwicklungsaufwand (Definition kritischer Situationen)
Wirkung Lärmschutz?						
Zeitliche Realisierbarkeit?	sicherheitsfördernd & gefahrenentschärfend	aufwendige Nachrüstung möglich		Mobilität wird von techn. Device abhängig gemacht	System schafft zusätzl. Sicherheit	
Hemmnisse bei der Umsetzung?	bereits auf dem Markt verfügbar	keine geschwindigkeitsabhängigen Infos		freiwillige Umsetzung	Notbremssysteme an elus. Warnsignal koppeln	
Entwicklungsmöglichkeiten?	positive Wirkung auf Lärmschutz, da Einsatz nur bei Bedarf	impulsartige Geräusche sind lästig		Gerät muss mitgeführt werden, Akku laden usw.	Realisierbarkeit (Zeitschiene)	
					Kosten spielen keine ausschlaggebende Rolle	
						Verantwortung wird bei Fahrer und schwach Verkehrsteilnehmer liegen, nicht Technik
	Weniger Geräusch vs. Hinweisgeräusch	Fokus liegt auf Wahrnehmung, nicht Warnung	"Stand alone" Lösung denkbar (vgl. Langstock)	Wer trägt die Kosten für das Device?	Kombination aus Maßnahme 2 & 3	Situatives AVAS auch für leise Verbrenner

Diskussionsrunde 2 - Gruppe 3

Leitfragen der Diskussion	Ergebnisse Diskussionsrunde 2 "Alternative Maßnahmen zu AVAS"									
	Pro und Contra "Fußgängerwarnton"			Pro und Contra Situatives AVAS				Pro und Contra Kommunikation (Sender-Empfänger-Modell)		
	PRO	CONTRA		PRO	CONTRA		PRO	CONTRA		
Verantwortung?	Sinnvolle Ergänzung (zurückhaltender Ton)	Selbstbediente und blinde Menschen sollten sich selbst orientieren können		Selbstständige Steuerung je nach Umgebung (mehrschweelig)	Untypischer Ton für ein Fahrzeug	Trimmigeffekt: Eingung auf ein Klangbild, damit man sich daran gewöhnen kann	Kostengünstig realisierbar	Abhängigkeit von einer technischen Lösung	Hinweis auch auf das Hörgeschicht	
Akzeptanz der Nutzenden?		Warnton, der nicht als Notungssignal benutzt wird	Autonomie genommen	Warnung / Hinweis (bevor es zur Gefahrensituation kommt)	Ablenkung des Fahrers in Gefahrensituation durch die Betätigung des Warntons	Spricht gegen das Branding	Beide Seiten können sich gegenseitig erkennen	Datenschutz	Ermeng "Reinigungschen", andere Fähigkeiten werden eingeschränkt	
Wirkung Verkehrssicherheit?		mehrere Fahrzeuge gleichzeitig = problematisch	Klingeln bzw. Warnton könnte erschrecken	Auch neben dem Hüpen von anderen Fahrzeugen hörbar	Definition der Warnsituation ist komplex	Unterscheidbarkeit bei mehreren Fahrzeugen (PKW oder PKW vorweg oder nicht?)	keine unangenehmen Geräusche, Lärmenschutz	Schwerig als Ersatz, wenn dann als Ergänzung	Autofahrer sollten Rücksicht nehmen!	
Zeitliche Realisierbarkeit?		Warnton, wäre kein Ersatz für AVAS, sondern Ergänzung	dauerhaft = Störung			Psychoakustik sollte auch bedacht werden	Als Ergänzung sehr positiv	zu starke Ablenkung		
Hemmnisse bei der Umsetzung?		Interferenz Konzentration durch die Betätigung des Warntons	Relativ einfache Lösung für den Twzy			Abhängigkeit von Distanz und Lautstärke einschätzen				
Entwicklungsmöglichkeiten?	Ältere Menschen und Schwerhörige Menschen wissen teilweise nicht, wofür das Geräusch kommt	Wenn nur Warnton = problematisch, wenn der Fahrer vergisst diesen zu betätigen	Aufmerksamkeitsverlust bei Ausperken	Zurückhaltender Ton	Diskussion zusätzlicher Warnton = mehr Aufmerksamkeit (Gefahrenzustand) AVAS als ständiger Ton Weiterer Vorschlag: nur AVAS mit unterschiedlicher Lautstärke	Frequenzstiftung auch verwechselbar, Klangbild				