

Lästigkeit der Geräusche von E-Pkw und Pkw mit Verbrennungsmotor und mögliche Konsequenzen für die städtische Lebensqualität

Felix Laib^{1,2}, J. Alexander Schmidt^{1,3}

¹ Universität Duisburg-Essen, Institut für Mobilitäts- und Stadtplanung (imobis), 45117 Essen,
E-Mail: felix.laib@stud.uni-due.de

² Ingenieurbüro Dr. Dröscher, 72074 Tübingen

³ DeTao Master Academy Shanghai, Urban Systems Design Studio, Songjiang, Shanghai

Einleitung

Laut einer aktuellen Umfrage des Umweltbundesamtes fühlen sich etwa 75 % der Deutschen von Straßenverkehrslärm gestört oder belästigt [1]. Da Fahrzeuge mit Elektromotor bei geringen Geschwindigkeiten grundsätzlich deutlich leiser sind als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor [2] besteht insbesondere bei geringen Fahrgeschwindigkeiten, wie beispielsweise im Stadtverkehr, ein relevantes Lärminderungspotential. Allerdings müssen neue Typen von hybridelektrischen- und rein elektrischen Pkw seit 2019 mit einem akustischen Warnsystem (AVAS) ausgestattet sein, insbesondere um Fußgänger zu warnen [3]. In der Praxis gibt es viele E-Pkw, die bereits mit einem AVAS ausgestattet sind. Das AVAS ruft zusätzliche Schallemissionen hervor, die unter bestimmten Bedingungen die akustische Umgebung verändern können. Hier besteht ein Spannungsfeld zwischen der Wahrnehmbarkeit der Warnsignale und einer potentiellen Belästigung durch künstlich erzeugte Geräusche, da besonders gut wahrnehmbare Warnsignale auch besonders lästig wahrgenommen werden können [4]. In einer Untersuchung von Steinbach und Altinsoy [5] wurden die Vorbeifahrgeräusche von E-Pkw mit AVAS (sowohl bei Einzelvorbeifahrten als auch bei der Vorbeifahrt mehrerer Pkw) lästiger wahrgenommen als die Vorbeifahrgeräusche eines Pkw mit Verbrennungsmotor. Dies könne darauf zurückzuführen sein, dass den Personen die Geräusche von Pkw mit Verbrennungsmotor im Gegensatz zu den Warnsignalen von E-Pkw vertraut sind und ein Gewöhnungseffekt eingetreten ist.

Um weitere Erkenntnisse zur Wahrnehmung und Lästigkeit der Schallimmissionen durch E-Pkw zu gewinnen, wurden Hörversuche mit Vorbeifahrgeräuschen von E-Pkw und Pkw mit Verbrennungsmotor (ICE-Pkw) durchgeführt. Auf Grundlage bestehender Untersuchungen werden folgende Annahmen getroffen:

1. Die Geräusche von E-Pkw (ohne AVAS) werden bei geringen Fahrgeschwindigkeiten weniger lästig wahrgenommen als die Geräusche von ICE-Pkw
2. Wenn E-Pkw künstliche Geräusche erzeugen, wird dieser Vorteil egalisiert
3. Durch die Überlagerung künstlicher Geräusche von E-Pkw werden die Vorbeifahrgeräusche eines Kollektivs an E-Pkw mit AVAS lästiger wahrgenommen als die Geräusche eines Kollektivs an ICE-Pkw

Vor diesem Hintergrund wird angenommen, dass lästige Geräusche die Aufenthalts- und Lebensqualität mindern oder gar negative Auswirkungen auf die Gesundheit hervorrufen können. Hinsichtlich eines steigenden Anteils von Elektrofahrzeugen werden mögliche Effekte auf die städtische Lebensqualität diskutiert.

Erstellung von Hörbeispielen aus Vorbeifahrermessungen an Pkw

Zur Durchführung von Hörversuchen wurden Audiodateien (Hörbeispiele) mit den Vorbeifahrgeräuschen von E-Pkw und ICE-Pkw erstellt, die bei Schallmessungen an den Pkw in 7,5 m Entfernung zur Mitte der Fahrzeuge erfasst wurden. Zur Wiedergabe einer möglichst realitätsnahen akustischen Umgebung wurden alle Hörbeispiele mit demselben Hintergrundpegel versetzt. Der Hintergrundpegel basiert auf Aufnahmen während der Schallmessungen und stellt ein „fernes“ Verkehrsrauschen dar. Es wurden insgesamt 6 Hörbeispiele erstellt, die in der folgenden Tabelle 1 aufgeführt und beschrieben sind.

Tabelle 1: Hörbeispiele zur Bewertung der Lästigkeit der Vorbeifahrgeräusche von Pkw mit unterschiedlichem Antriebskonzept

Hörbeispiel	Fahrzeug Vorbeifahrpegel
1. Benzin-Pkw Konstant mit 20 km/h	VW Golf Sportsvan $L_{AFmax,7,5 m} = 58 \text{ dB(A)}$
2. Diesel-Pkw Konstant mit 20 km/h	VW Polo $L_{AFmax,7,5 m} = 59 \text{ dB(A)}$
3. E-Pkw ohne AVAS Konstant mit 20 km/h	Renault Zoe $L_{AFmax,7,5 m} = 53 \text{ dB(A)}$
4. E-Pkw mit AVAS Konstant mit 20 km/h	Renault Zoe $L_{AFmax,7,5 m} = 56 \text{ dB(A)}$
5. Benzin- und Diesel-Pkw Überlagerte Vorbeifahrten konstant mit 10 km/h bis 30 km/h sowie Beschleunigung aus dem Stand	VW Golf Sportsvan VW Polo $L_{AFmax,7,5 m} =$ 52 dB(A) bis 65 dB(A)
6. E-Pkw mit AVAS Überlagerte Vorbeifahrten konstant mit 10 km/h bis 30 km/h sowie Beschleunigung aus dem Stand	Tesla Model S Renault Zoe Hyundai Ioniq Opel Ampera-e Smart Forfour ed $L_{AFmax,7,5 m} =$ 48 dB(A) bis 62 dB(A)

Bei den Hörbeispielen Nr. 1 bis 4 handelt es sich um die Vorbeifahrgeräusche eines einzelnen Pkw mit unterschiedlichem Antriebskonzept (Benzin-Pkw, Diesel-Pkw und

E-Pkw) bei Vorbeifahrt mit konstanter Geschwindigkeit von 20 km/h. In den Hörbeispielen Nr. 5 und 6 sind dagegen die Geräusche von jeweils 8 Pkw mit geringen Vorbeifahrtsgeschwindigkeiten zwischen 10 km/h bis 30 km/h und Beschleunigungsvorgängen aus dem Stand enthalten. In Hörbeispiel Nr. 5 handelt es sich um Vorbeifahrten von ICE-Pkw (Benzin- und Diesel-Pkw), während in Hörbeispiel Nr. 6 die Geräusche von E-Pkw mit AVAS enthalten sind, sofern das AVAS bei dieser Geschwindigkeit betrieben wird.

Planung und Durchführung von Hörversuchen

Die Hörversuche wurden mit willkürlich ausgewählten Teilnehmern in den Fußgängerzonen von Tübingen und Reutlingen durchgeführt. Die Aufgabenstellung wurde den Teilnehmern gemäß den Empfehlungen von Hellbrück et al. [6] schriftlich vorgelegt. Die Vorabinformation für die Personen war dabei bewusst knapp gehalten, um keine Tendenzen nahezulegen. Den Teilnehmern wurde vorab lediglich mitgeteilt, dass im Rahmen von Hörversuchen Geräusche hinsichtlich der Lästigkeit bewertet werden sollen. Die Reihenfolge der Hörbeispiele wurde randomisiert. Jedoch wurden den Teilnehmern zunächst die einzelnen Pkw-Vorbeifahrten (siehe Tabelle 1) und anschließend die überlagerten Geräusche aus der Vorbeifahrt mehrerer Pkw vorgespielt. Die Teilnehmer bewerteten die Geräusche unmittelbar nach dem Hören der Beispiele hinsichtlich der Lästigkeit in einen Fragebogen. Die Skala zur Bewertung der Lästigkeit der Geräusche (siehe Abbildung 1) ist eine Kombination aus einer numerischen und verbalen Skala und wurde in Anlehnung an die Empfehlungen aus ISO/TS 15666 [7] sowie Menold und Bogner [8] zur Gestaltung von Rating-Skalen erstellt.

Name Hörbeispiel: _____										
überhaupt nicht lästig		etwas		mittelmäßig			stark		äußerst lästig	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 1: Skala zur Bewertung der Lästigkeit der Hörbeispiele

Zur besseren Einordnung der Ergebnisse wurden am Ende des Fragebogens Alter und Hörvermögen der Teilnehmer abgefragt. Die Versuche erfolgten mit insgesamt 60 Personen, davon 33 männlich, an insgesamt 4 Tagen im Juli / August 2019. Um den Einfluss von Umgebungsgläuschen aus dem Umfeld der Fußgängerzone zu minimieren, wurden die Hörversuche mit einem Noise-Cancelling-Kopfhörer durchgeführt.

Ergebnisse

In der Auswertung der Hörversuche werden die Daten aller 60 Teilnehmer dargestellt und verwendet. Der Großteil (ca. 92%) der Teilnehmer verfügte nach eigener Angabe über ein „normales Hörvermögen“, 5 Teilnehmer berichteten „leichte Schwerhörigkeit“. Auch leicht schwerhörige Teilnehmer wurden jedoch in der Auswertung nicht ausgeschlossen, da die Personen die Geräusche auf Nachfrage gut wahrnehmen konnten. Die in den Hörversuchen erhobene Lästigkeitsbewertung bei der Vorbeifahrt einzelner

Pkw mit 20 km/h ist in der folgenden Abbildung 2 in einem Boxplot-Diagramm zusammengefasst. Das Boxplot-Diagramm zeigt den Median der Lästigkeitsbewertung aller 60 Teilnehmer der Hörversuche. Um den Median (schwarze horizontale Linie) ist das obere und das untere Quartil grün gekennzeichnet. Der Abstand zwischen dem oberen und unteren Whisker (schwarze vertikale Linie) stellt die Spannweite der Extremwerte in der Lästigkeitsbewertung dar.

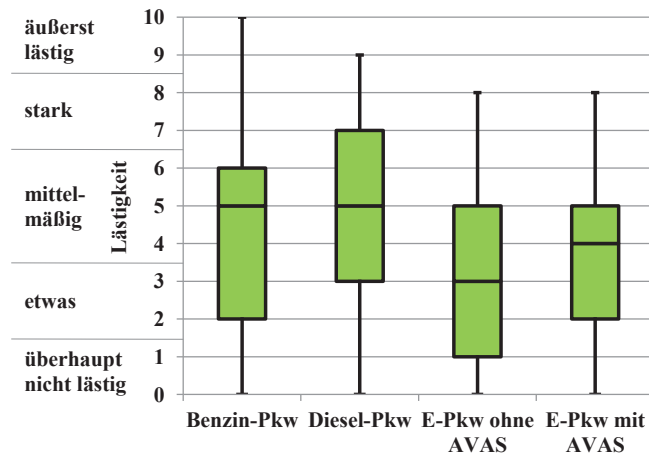


Abbildung 2: Lästigkeitsbewertung der Vorbeifahrtgeräusche von Pkw mit konstanter Geschwindigkeit von 20 km/h

In Abbildung 2 wird deutlich, dass die Vorbeifahrt der E-Pkw (mit und ohne AVAS) in Summe deutlich weniger lästig bewertet wurde, als die Vorbeifahrt des Pkw mit Benzin- oder Dieselmotor. Generell kann festgestellt werden, dass sich die Lästigkeitsbewertung beim E-Pkw durch das AVAS erhöht. Überlagerte Vorbeifahrten mehrerer Pkw werden erheblich lästiger bewertet, als Vorbeifahrten einzelner Kfz. Dies geht aus Abbildung 3 hervor, wobei das Kollektiv von ICE-Pkw lästiger bewertet wurde, als das Kollektiv von E-Pkw mit AVAS.

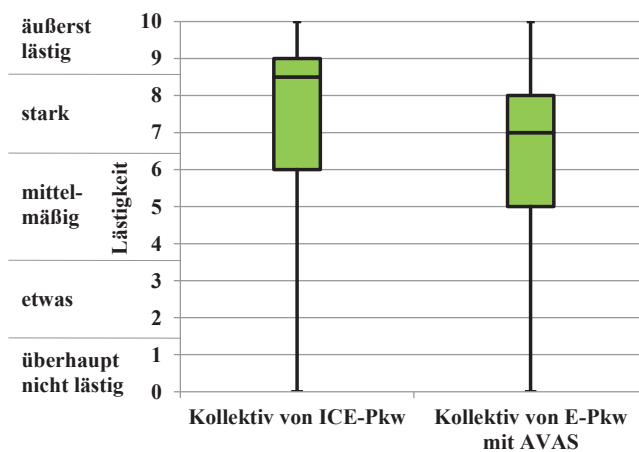


Abbildung 3: Lästigkeitsbewertung der (überlagerten) Vorbeifahrtgeräusche eines Kollektivs von Pkw (konstante Vorbeifahrten mit 10 km/h bis 30 km/h sowie Beschleunigung aus dem Stand)

Die Spannweite in der Lästigkeitsbewertung ist in allen Hörbeispielen sehr groß. So reicht beispielsweise die Lästigkeitsbewertung der Geräusche bei der Vorbeifahrt des

Benzin Pkw von 0=überhaupt nicht lästig bis 10=äußerst lästig. Dies zeigt, dass das individuelle Empfinden je Teilnehmer sehr unterschiedlich ausfällt. Beim Vergleich der Lästigkeitsbewertung ist es deshalb nur bedingt sinnvoll, bspw. die Bewertung des Benzin-Pkw durch die Teilnehmer insgesamt mit der Bewertung des E-Pkw insgesamt (zwischen den Teilnehmern) zu vergleichen. Sinnvoller erscheint dagegen, die Differenz in der Bewertung zwischen Benzin-Pkw und E-Pkw je Teilnehmer (intrasubjektiv) auszuwerten. Damit soll das individuelle Hörempfinden der Teilnehmer ausgeblendet werden. In Ergänzung wurde deshalb mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test untersucht, ob signifikante Unterschiede in der Lästigkeitsbewertung bestehen. Es wurde eine paarweise Gegenüberstellung der Lästigkeitsbewertungen (je Teilnehmer) vorgenommen und ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ festgelegt. In der folgenden Tabelle 2 sind die Hypothesen und die Teststatistik zur Fragestellung aufgeführt.

Tabelle 2: Prüfung von Hypothesen mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Hypothese (zur Lästigkeitsbewertung der Vorbeifahrgeräusche aus den Hörbeispielen)	Signifikanz ($\alpha = 0,05$) Teststatistik
E-Pkw (ohne AVAS) <u>weniger lästig</u> als Pkw mit Benzinmotor	Statistische Signifikanz V = 287,5 p-Wert = 0,0001135
E-Pkw (ohne AVAS) <u>weniger lästig</u> als Pkw mit Dieselmotor	Statistische Signifikanz V = 115 p-Wert = 1,166e ⁻⁰⁷
E-Pkw mit AVAS <u>genauso lästig</u> wie Pkw mit Benzinmotor	Unterschied statistisch signifikant V = 847 p-Wert = 0,006564
E-Pkw mit AVAS <u>genauso lästig</u> wie Pkw mit Dieselmotor	Unterschied statistisch signifikant V = 1146,5 p-Wert = 2,56e ⁻⁰⁵
Kollektiv von E-Pkw mit AVAS <u>lästiger</u> als Kollektiv von ICE-Pkw	Keine statistische Signifikanz V = 103 p-Wert = 1

In Tabelle 2 wird deutlich, dass die Vorbeifahrgeräusche des E-Pkw ohne AVAS statistisch signifikant weniger lästig bewertet wurden, als die Vorbeifahrgeräusche des Benzin- oder Diesel-Pkw. Die Ergebnisse aus der Fallstudie bestätigen damit die Annahme, dass die Vorbeifahrgeräusche von E-Pkw bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten weniger lästig wahrgenommen werden, als die Vorbeifahrgeräusche von ICE-Pkw. Durch den Einsatz von E-Pkw im Vergleich zu ICE-Pkw besteht damit in bestimmten Situationen das Potential, die Lästigkeit der Geräusche zu mindern. Die Hypothese, dass die Vorbeifahrgeräusche des E-Pkw mit AVAS genauso lästig bewertet werden, wie die Vorbeifahrgeräusche des Benzin- oder Diesel-Pkw kann nicht angenommen werden, da hier ein statistisch signifikanter Unterschied in der Bewertung besteht. Jedoch wird der „Vorteil“ der E-Pkw gegenüber den ICE-Pkw durch das AVAS beschränkt und das Warnsignal kann lästig wirken.

Die Lästigkeit könnte insbesondere durch die Überlagerung mehrerer Warnsignale erhöht werden. Dies ist von besonderer Relevanz, da die Vorbeifahrgeräusche mehrerer Pkw sehr lästig wahrgenommen wurden und eine Steigerung der Lästigkeit hier besonders „schmerzhaft“, wenn auch die Vorbeifahrgeräusche des Kollektivs von E-Pkw mit AVAS abweichend von der eingehenden Annahme in der Fallstudie nicht lästiger bewertet wurden als die Vorbeifahrgeräusche des Kollektivs von ICE-Pkw.

Diskussion der Ergebnisse sowie möglicher Konsequenzen für die städtische Lebensqualität

Insbesondere da die Anzahl der Teilnehmer ($n=60$) der Hörversuche gering ist und bei der Befragung in der Fußgängerzone keine rein zufällige Auswahl sichergestellt werden kann, können aus der Fallstudie keine allgemeinen Schlussfolgerungen abgeleitet werden. Für eine Verallgemeinerung der Ergebnisse aus der Fallstudie ergeben sich weitere Grenzen, da in den Hörspeispielen lediglich Vorbeifahrgeräusche spezifischer Pkw präsentiert werden konnten und die Geräusche tatsächlich in Anhängigkeit des Fahrzeugmodells variieren können. Letztendlich sind die Vorbeifahrgeräusche in den Hörbeispielen von weiteren Parametern, wie beispielsweise der Bereifung der Fahrzeuge abhängig, die bei den Versuchen nicht vollständig kontrolliert werden konnten. Nichtsdestotrotz können aus der Fallstudie relevante Tendenzen zur Lästigkeit der Vorbeifahrgeräusche von Pkw bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten gewonnen werden. So wird auf Grundlage der Ergebnisse der vorliegenden Fallstudie angenommen, dass durch den Einsatz von E-Kfz im Vergleich zu ICE-Kfz ein relevantes Potential besteht, die Lästigkeit der Geräusche des Straßenverkehrs zu mindern. Es wird angenommen, dass lästige Geräusche die (durch die akustische Umgebung vermittelte) Aufenthalts- und Lebensqualität sowie (möglicherweise insbesondere bei langfristiger Exposition) Gesundheit der Betroffenen beeinträchtigen.

Der Zusammenhang zwischen Straßenverkehrslärmexposition selbstberichteter Lebensqualität oder Gesundheit wurde in einem systematischen Review von Clark und Paunovic [9] zusammengefasst und bewertet. Demnach besteht eine sehr geringe Evidenz, dass Straßenverkehrslärm keinen relevanten Effekt auf die selbstberichtete Beschränkung der Lebensqualität oder Gesundheit hat. Der Mangel an Evidenz bedeute jedoch nicht notwendigerweise, dass es keine Auswirkungen gibt, sondern dass die komplexen Zusammenhänge bisher noch nicht belastbar untersucht worden sind. In der Regel sind die Effekte von Straßenverkehrslärm auf die Gesundheit der Betroffenen schwer zu beziffern, da viele (individuelle) Faktoren eine Rolle spielen. Nichtsdestotrotz ist beispielsweise auf Grundlage der systematischen Evidenz-Reviews zur Entwicklung der WHO-noise-Guidelines [10] anzunehmen, dass durch die Lärmexposition negative Effekte auf die Gesundheit (bspw. Erhöhung des Stresslevels und der Belästigung, Schlafstörungen oder ein Anstieg ischämischer Herzkrankheiten) zu befürchten sind.

In Bezug auf den Einsatz von E-Kfz ist festzuhalten, dass potentielle Auswirkungen auf die Lebensqualität und Gesundheit in der Regel auf Situationen beschränkt sind, in

welchen relevante Unterschiede zu den Geräuschen durch ICE-Kfz bestehen. So ist das Potential zur Minderung der Schallimmissionen durch den Einsatz von E-Kfz (ohne AVAS) im Vergleich zu ICE-Kfz grundsätzlich umso größer, je geringer die Fahrgeschwindigkeit ist [2]. Im Kontext bestimmter Verkehrssituationen ist das Potential zur Minderung der Lästigkeit damit beispielsweise im stop-and-go-Verkehr, in Wohngebieten oder auf Nebenstraßen mit geringen Fahrgeschwindigkeiten am größten. Beim Einsatz von E-Pkw gegenüber ICE-Pkw sollte berücksichtigt werden, dass bspw. kurzzeitige Geräuschspitzen, die bei der Bewertung von Straßenverkehrslärm in der Regel unberücksichtigt bleiben, besonders lästig wirken können [11]. Es wird angenommen, dass diese Spitzenpegel, die bei ICE-Pkw bspw. bei starken Beschleunigungsvorgängen hervorgerufen werden, durch den Einsatz von E-Pkw gemindert werden können.

Die Lästigkeit der Geräusche wird zudem von subjektiven Faktoren (wie bspw. der persönlichen Einstellung der Betroffenen zur Schallquelle) beeinflusst. Es kann angenommen werden, dass eine allgemein positive Einstellung der Betroffenen gegenüber E-Mobilität die Bewertung der Schallimmissionen beeinflusst. Zudem kann es sein, dass Lärmbelästigungs- und Störungsurteile durch andere mit dem Straßenverkehr in Beziehung stehende Faktoren, wie z.B. verkehrsbedingte Luftschadstoffe gesteuert werden [12]. Letztendlich ist die Bewertung der Geräusche von vielen weiteren individuellen Faktoren, wie beispielsweise der Vorgeschichte psychischer oder körperlicher Erkrankungen oder der Lärmbewältigungsmöglichkeiten der Betroffenen abhängig [9]. Wenn die Aufenthalts- und Lebensqualität sowie Gesundheit der Betroffenen durch den Einsatz von E-Kfz verbessert werden soll, sind in der Planung folglich eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen. Ein Ausschluss von ICE-Kfz in einem Stadtquartier oder die Neuplanung eines Stadtviertels, in welchem ausschließlich E-Kfz zufahrtberechtigt sind, könnte eine gezielte Gestaltung einer akustischen Umgebung darstellen. Die Information sowie Beteiligung der Nutzer und Betroffenen kann für die Akzeptanz sowie die Effizienz von Maßnahmen dabei eine zentrale Rolle spielen [13].

Fazit

Auf Grundlage der Ergebnisse der Fallstudie wird angenommen, dass durch den Einsatz von E-Kfz im Vergleich zu ICE-Kfz in bestimmten Verkehrssituationen ein relevantes Potential besteht, die Lästigkeit der Geräusche zu mindern. Wenn E-Pkw mit einem AVAS ausgestattet sind, wird dieses Minderungspotential beschränkt, ist jedoch nach wie vor vorhanden. Im Grunde sind genau die Verkehrssituationen, in denen E-Kfz im Vergleich zu ICE-Kfz das größte Lärminderungspotential eröffnen, von einer potentiellen Geräuschbelästigung durch das AVAS betroffen. Insbesondere in urbanen Zonen mit geringen Fahrgeschwindigkeiten wäre es im Hinblick auf die Erhaltung und Schaffung von Wohn- und Lebensqualität jedoch unabdingbar notwendig, das AVAS differenzierter einzusetzen. Im Rahmen des gegenwärtigen Wandels der Mobilitätsangebote und -systeme sollte die Chance genutzt werden, akustische Umgebungen so zu gestalten, dass die Aufent-

halts- und Lebensqualität sowie die Gesundheit der Betroffenen verbessert werden.

Literatur

- [1] Rubik, F.: Gesundheitliche Belastungen durch Umweltverschmutzung und Lärm. Ergebnisse der Umweltbewusstseinsstudien, 2020, UBA, Dessau-Roßlau.
- [2] Marbjerg, G.: Noise from electric vehicles - a literature survey Nr. 537 – Work Package WP3 within the compet project, 2013.
- [3] Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union: Verordnung (EU) Nr. 540/2014, Amtsblatt der Europäischen Union, 2014.
- [4] Parizet, E.; Robart, R.; Ellermeier, W. et al.: Warning sounds for electric vehicles. Fisita World Automotive Congress, Maastricht, (2014), 1-7.
- [5] Steinbach, L.; Altinsoy, E.: Lästigkeitsbewertung von Verkehrssituationen im Hinblick auf unterschiedliche Antriebskonzepte. DAGA 2016 - Aachen, Fortschritte der Akustik (2016), 907-910.
- [6] Hellbrück, J.; Ellermeier, W.; Kohlrausch, A. et al.: Kompendium zur Durchführung von Hörversuchen in Wissenschaft und industrieller Praxis (Entwurf), Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V, Berlin, 2008.
- [7] ISO/TS 15666: Acoustics — Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys, 2003.
- [8] Menold, N.; Bogner, K.: Gestaltung von Ratingskalen in Fragebögen, Mannheim, 2015.
- [9] Clark, C.; Paunovic, K.: WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region – A Systematic Review on Environmental Noise and Quality of Life, Wellbeing and Mental Health. International journal of environmental research and public health 15 (2018), 1-27.
- [10] World Health Organization (WHO). Environmental noise guidelines for the European Region. Copenhagen, 2018.
- [11] Sato, T.; Yano, T.; Björkman, M. et al.: Road Traffic Noise Annoyance in Relation to Average Noise Level, Number of Events and Maximum Noise Level. Journal of Sound and Vibration 223 (1999), 775-784.
- [12] Guski, R.; Schreckenberg, D.: NORAH Noise-related annoyance, cognition, and health. Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Band 7, Gemeinnützige Umwelthaus GmbH, Kelsterbach, 2015.
- [13] Becker, S.; Renn, O.: Akzeptanzbedingungen politischer Maßnahmen für die Verkehrswende. Das Fallbeispiel Berliner Mobilitätsgesetz. In: Arbeitsberichte der ARL 18. Verl. d. ARL, Hannover, (2016) 109-130.