

drivEkustik

Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen

Mag. Monika Pilgerstorfer - Kuratorium für Verkehrssicherheit Dr. Mag. Kerstin Runda, - Kuratorium für Verkehrssicherheit Dott. Ing. Marco Conter - Austrian Institute of Technology Dr. Michael Gatscha - Test & Training International DI Andrea Pumberger - Kuratorium für Verkehrssicherheit Anna Meta Müller - Kuratorium für Verkehrssicherheit Jasmin Daum, BSc - Kuratorium für Verkehrssicherheit Dorothea Koniszewski - Kuratorium für Verkehrssicherheit
österreichischer Verkehrssicherheitsfonds
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Wien, Juli 2013



drivEkustik - Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen Fördergeber: österreichischer Verkehrssicherheitsfonds



drivEkustik Endbericht

Juli 2013

Projektkoordination:
KFV - Kuratorium für Verkehrssicherheit

Projektpartner:

AIT - Austrian Institute of Technology GmbH bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung (Schweiz) BSVÖ - Blinden- und Sehbehindertenverband Österreich TTI - Test & Training International Planning and Service GmbH

Endbericht	У1П*» метяц***BS i/ö TOMORROW TODAY →« Ö bfu	
Version: FINAL	Endbericht	Seite 1/50

drivEkustik - Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen Fördergeber: Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds



GZ.BMVIT-199.736/0002-IV/ST2/2011

Projekttitel:

drivEkustik

Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen

Fördergeber: Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds

Endbericht

Projektstart: 01.08.2011

Projektende: 31.07.2013

AutorInnen:

Mag. Monika Pilgerstorfer, KfV (Kuratorium für Verkehrssicherheit) Dr. Mag. Kerstin Runda, KfV (Kuratorium für Verkehrssicherheit) Dott. Ing. Marco Conter, AIT (Austrian Institute of Technology)

Dr. Michael Gatscha, TTI (Test & Training International)

DI Andrea Pumberger, KfV (Kuratorium für Verkehrssicherheit) Anna Meta Müller, KfV (Kuratorium für Verkehrssicherheit)

Jasmin Daum, BSc, KfV (Kuratorium für Verkehrssicherheit) Dorothea Koniszewski, KfV (Kuratorium für Verkehrssicherheit)

Endbericht		
Version: FINAL	Endbericht	Seite 2/50

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	4
Abstract.....	6
Zusammenfassung	8
Executive Summary	13
1 Einleitung.....	17
2 Untersuchung der akustischen Wahrnehmbarkeit von E-Fahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren auf unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen.....	19
3 Untersuchung des Fahrverhaltens im E-Kfz.....	24
4 Vergleich der gewonnenen E-Mobilitätsdaten mit den bestehenden Daten zu Verbrennungsmotoren	27
5 Akustikmessung im Fahrzeuginnenraum (E-Fahrzeuge, Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren)	31
6 Beobachtung der Interaktion zwischen E-Kfz und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen.....	36
7 Befragungen von VerkehrsteilnehmerInnen.....	39
8 Empfehlungen und Themenfelder der Zukunft.....	41

8.1	Möglichkeiten zur Verbesserung der akustischen Wahrnehmbarkeit von E-Kfz im Straßenverkehr .	42
8.2	Bewusstseinsbildung von LenkerInnen von E-Kfz	43
8.3	Bewusstseinsbildung von anderen VerkehrsteilnehmerInnen	44
8.4	Erhebung des Unfallgeschehens von E-Kfz	45
8.5	Weiterführende Fahrverhaltensbeobachtungen.....	45
	Literaturverzeichnis	47
	Abbildungsverzeichnis	48
	Tabellenverzeichnis	49

Kurzzusammenfassung

Das Projekt drivEkustik untersuchte das Fahrverhalten in und die akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen (E-Kfz). Die Auswirkungen der geringen Lärmemissionen von E-Kfz auf die Verkehrssicherheit wurden systematisch von mehreren Seiten beleuchtet. Im Zentrum standen Akustikmessungen in und außerhalb von E-Kfz, die in unterschiedlichen Straßenraumsituationen (z.B. innerstädtisch, Durchzugsstraße) durchgeführt wurden. Durch einen Hörtest mit 105 ProbandInnen wurde die Hörbarkeit von E-Kfz für ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen erhoben. Ein weiterer Schwerpunkt war die Erfassung des Fahrverhaltens von LenkerInnen von E-Kfz (40 Personen) und deren Vergleich mit bereits bestehenden Daten von LenkerInnen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (V-Kfz). Zusätzlich wurden Beobachtungen von Interaktionen zwischen ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen und E-Kfz bzw. V-Kfz durchgeführt. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Erfahrungen von Menschen mit Sehbehinderungen bzw. blinden Menschen gelegt. Begleitend wurden durch diverse Befragungen die subjektiven Einschätzungen der ProbandInnen erfasst.

Grundsätzlich konnte festgestellt werden, dass E-Kfz geringere Geräuschemissionen aufweisen und dies bei niedrigen Geschwindigkeiten besonders deutlich wurde. Im Hörtest wurde veranschaulicht, dass E-Kfz von den TeilnehmerInnen grundsätzlich später gehört wurden als V-Kfz, bei 10 km/h betrug der Unterschied sogar 9 Sekunden. Besonderen Einfluss haben die Umgebungsgeräusche, waren diese lauter (z.B. innerstädtisch) wurde das E-Kfz von den ProbandInnen später akustisch wahrgenommen.

Auch beim Fahrverhalten konnten Unterschiede zwischen E-Kfz und V-Kfz festgestellt werden. Die Fahrten mit den E-Kfz wiesen eine geringere Fahrzeit und Weglänge auf, als jene mit V-Kfz. Im niedrigen Geschwindigkeitsbereich (30 bzw. 50 km/h höchst zulässige Geschwindigkeit) konnte bei E-Kfz ein geringfügig höheres Geschwindigkeitsniveau festgestellt werden als bei V-Kfz. Im Freiland und auf Autobahnen sind bei V-Kfz höhere Geschwindigkeiten feststellbar als bei E-Kfz.

Weiters bestehen Unterschiede in der Innenraumakustik von E-Kfz und V-Kfz, diese sind jedoch auch durch die unterschiedliche Bauweise der untersuchten Modelle erklärbar. Dies konnte sowohl messtechnisch als auch im subjektiven Feedback der ProbandInnen festgestellt werden. Ein Zusammenhang zwischen

veränderter Innenraumakustik und Fahrverhalten konnte aus messtechnischer Sicht nicht nachgewiesen werden. Allgemein gültige Aussagen können diesbezüglich daher nicht getroffen werden.

In Bezug auf Interaktionen mit ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen konnten keine gravierenden Unterschiede zwischen E-Kfz und V-Kfz beobachtet werden. Die Befragungen zeigen jedoch, dass vor allem aus Sicht von Personen mit Sehbehinderungen E-Kfz aufgrund der schlechten akustischen Wahrnehmbarkeit eine größere Gefahrenquelle darstellen.

Im Projekt drivEkustik wurden aufbauend auf den umfassenden Erhebungen und Analysen folgende Empfehlungen erarbeitet.

- a) Die Einführung eines künstlichen Motorgeräuschs für E-Kfz wird bei niedrigen Geschwindigkeiten mit Nachdruck empfohlen.
- b) Die genaue Ausführung, das Geräuschdesign sowie der gezielte Einsatz des Geräuschs sind zukünftig auf Basis weiterer Recherche und gegebenenfalls Untersuchungen noch zu definieren.
- c) Es werden bewusstseinsbildende Maßnahmen empfohlen, die einerseits ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen (FußgängerInnen, RadfahrerInnen, jedoch keine Personen mit Sehbehinderung) auf die geringen Lärmemissionen von E-Kfz aufmerksam machen, andererseits sollen auch die LenkerInnen von E-Kfz selbst angesprochen werden, um auf die Risiken von E-Kfz bei niedrigen Geschwindigkeiten aufmerksam zu machen.
- d) Die Kennzeichnung von Verkehrsunfällen von E-Kfz in der Unfallstatistik ist die Basis für die Beurteilung von Verkehrssicherheitsmaßnahmen in diesem Bereich sowie die gezielte Identifikation von Problembereichen.
- e) Aufbauend auf den Erkenntnissen der Fahrverhaltensbeobachtung sowie der Beobachtungen im Straßenraum werden weiterführende Untersuchungen mit langfristigen naturalistischen Fahrverhaltensbeobachtungen empfohlen.

Abstract

The drivEkustik project analysed driving behaviour in electric vehicles (EVs) and the acoustic perception of these vehicles by other road users. The impacts of lower noise emissions by EVs were systematically investigated from various perspectives. On the one hand, acoustic measurements inside and outside of an electric vehicle in different roadside environments (e.g. urban back-roads, urban through-roads) were performed. By an audiometric experiment involving 105 subjects, the audibility of electric vehicles by VRUs (vulnerable road users) was investigated. On the other hand, there was a focus on collecting data of driving behaviour of drivers with an electric vehicle and comparing it to already existing data from drivers with a vehicle with an internal combustion engine (ICE). Additionally, interactions between electric vehicles and VRUs were observed by a real-life experiment. Special attention was given to the assessment by people with visual impairment. Impressions and experiences of the subjects within all the experiments were collected by means of interviews and questionnaires.

First of all, the study scientifically verified the assumption that EVs create less noise than ICEs. The audiometric experiment clearly demonstrated that it takes considerably longer to take notice of an EV rather than an ICE. E.g., at the speed of 10 km/h ICEs were detected 9 seconds earlier. If there is a higher level of

background noise, (e.g. intra urban environment) the electric vehicle was noticed even later.

Mobility and driving behaviour of EV-users and ICE-users was compared by means of a naturalistic experiment. Four EVs were equipped with "pdrive lite", a suitable data logger. These vehicles were used for promotion purposes and given to interested citizens for a maximum of one week. The data was compared to data from earlier naturalistic experiments. On an average, trips with EV were shorter both in time and mileage. At lower speeds (speed limit of 30 km/h or 50 km/h), the EV featured a higher speed level than the ICEs. In rural areas and on highways ICEs feature a higher speed than EVs.

Furthermore there are differences in interior acoustics among EVs and ICEs. The main reason for that though, was the different construction of the car models used. Hence, generally applicable conclusions cannot be drawn concerning this point. Nevertheless, the acoustic difference at low speed is higher than at high speed due to aerodynamic noise.

Concerning interactions with VRUs, serious differences between EVs and ICEs could not be observed.

However, the interviews showed that visually impaired people consider EVs as an additional risk to themselves.

The results of the various experiments were used to develop common recommendations:

- a) Artificial engine noise should be applied at low speeds.
- b) Acoustic design, required volume and dedicated application of such artificial noise should be subject to further research.
- c) Campaigns should be run to make both VRUs and EV users aware of the particular risks of interaction in road traffic.
- d) Injury accidents involving EV should be categorised in the accident statistic in Austria.
- e) Further investigations of the natural driving behaviour of drivers of EV should be performed to observe the driving behaviour in the long term.

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht zeigt die Ergebnisse des Projekts drivEkustik im Überblick. Das Projekt untersuchte das Fahrverhalten in und die akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen (E-Kfz). Ziel war es, mögliche Verkehrssicherheitsrisiken einer steigenden Verbreitung von E-Kfz im Straßenverkehr zu bestimmen.

Hintergrund der Untersuchung sind die geringeren Lärmemissionen von E-Kfz im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (V-Kfz). Daraus ergibt sich die Annahme, dass E-Kfz für andere - vor allem nicht motorisierte - VerkehrsteilnehmerInnen nicht oder schlechter hörbar sind. Vor allem

VerkehrsteilnehmerInnen mit Sehbehinderungen könnten durch E-Kfz besonders gefährdet sein. Die Beeinträchtigungen der Verkehrssicherheit wurden im Projekt drivEkustik von unterschiedlichen Seiten beleuchtet.

Methoden

Das Projekt untersuchte die akustische Wahrnehmbarkeit von E-Kfz durch VerkehrsteilnehmerInnen, das

Fahrverhalten von LenkerInnen von E-Kfz im Vergleich zu V-Kfz sowie das Verhalten ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen bei Interaktionen mit E-Kfz bzw. V-Kfz. Je nach Arbeitspaket (AP) wurden im Projekt drivEkustik unterschiedliche Methoden eingesetzt.

- Untersuchung der akustischen Wahrnehmbarkeit (AP1, AP4): messtechnische Analyse von zwei verschiedenen V-Kfz und zwei verschiedenen E-Kfz in unterschiedlichen Verkehrssituationen, Außen- und Innenraummessung, getrennte Aufnahme von Fahrzeug- und Hintergrundgeräuschen, Durchführung eines Hörversuchs, Datenanalyse und Interpretation der Ergebnisse
- Untersuchung des Fahrverhaltens von E-Kfz und Vergleich mit dem Fahrverhalten von V-Kfz (AP2, AP3): natürliche Fahrverhaltensbeobachtung (Naturalistic Observation), Erhebung des Fahrverhaltens mit Hilfe der Messtechnologie pdrive lite ® System, Auswertung von GPS Signal, Quer- und Längsbeschleunigung
- Untersuchung der Interaktionen zwischen E-Kfz und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen (AP5): ortsfeste und mobile Beobachtung, persönliche Beobachtung, Videobeobachtung
- Befragung von VerkehrsteilnehmerInnen (AP6): Fragebogenerhebung beim Hörversuch (AP1), persönliches Interview mit einer blinden Person und telefonische Interviews mit TestfahrerInnen aus AP2

Ergebnisse

Die Ergebnisse der **Akustikmessungen** zeigen, dass E-Kfz geringere Geräuschemission als V-Kfz aufweisen. Der Geräuschunterschied nimmt allerdings mit steigender Geschwindigkeit ab, da das Rollgeräusch (verursacht durch den Reifen-Fahrbahn Kontakt) immer dominanter wird. Diese Tendenzen konnten auch in den Ergebnissen des Hörversuches beobachtet werden. Das untersuchte E-Kfz (Mitsubishi iMiEV) wurde generell später gehört als das V-Kfz (BMW X3): die mittlere Zeitdifferenz beträgt bei 10 km/h rd. 9 Sekunden, bei 20 km/h rund 3 Sekunden, bei 40-50 km/h 1,3 Sekunden.

Im Hörversuch konnte der Einfluss der Umgebungsgeräusche verdeutlicht werden. Bei einem lauten Umgebungsgeräusch (z.B. innerstädtische Seitenstraße) und niedrigen Geschwindigkeiten wurde das E-Kfz von einem Drittel der ProbandInnen gar nicht gehört. Ein weiteres Drittel erkannte das Fahrzeug erst, nachdem es schon vorbei gefahren war. Bei den Ausparksituationen konnten die TeilnehmerInnen das E-Kfz zwar fast immer erkennen, das Geräusch wurde aber nicht immer einem Fahrzeug zugeordnet. Es konnten im Hörversuch keine Unterschiede in der Wahrnehmung zwischen TeilnehmerInnen mit und ohne Sehbehinderungen festgestellt werden.

Es wurden Daten zum **Fahrverhalten** von LenkerInnen von E-Kfz im Projekt drivEkustik erhoben. Dafür wurden über mehrere Monate vier E-Kfz in Kärnten mit der Messtechnologie ausgestattet. Mehr als die Hälfte der aufgezeichneten Fahrten mit einem E-Kfz dauerten maximal 10 Minuten. Die zurückgelegte Distanz betrug meist weniger als 5 km. Weiters wurden die meisten Wege mit einem E-Kfz zwischen 15 und 18 Uhr zurückgelegt.

Die im Projekt drivEkustik erhobenen Daten von E-Kfz wurden mit bereits bestehenden Daten (gleiche Erhebungsmethodik) von V-Kfz verglichen. Hier wurden vor allem das Geschwindigkeitsverhalten, die Bremsmanöver und Gewöhnungseffekte untersucht. Bei einer höchst zulässigen Geschwindigkeit von 30 bzw. 50 km/h im Ortsgebiet kann bei den E-Kfz eine minimal höhere v_{85} ¹ festgestellt werden, als bei den V-Kfz. Bei einem Tempolimit von 50 km/h war die v_{85} bei E-Kfz 65 km/h, bei V-Kfz in Kärnten 62 km/h und in Gesamtösterreich rd. 59 km/h. Bei höchst zulässigen Geschwindigkeiten von 70, 100 und 130 km/h sind bei V-Kfz höhere Geschwindigkeiten feststellbar, als bei E-Kfz.

Weiters zeigte sich bei E-Kfz eine höhere Frequenz von starken Bremsmanövern als bei V-Kfz. Die Unterschiede sind jedoch zu gering, um dazu eine klare Aussage zu treffen. Die Analyse von möglichen Gewöhnungseffekten und Anpassungen des Fahrverhaltens an die Fahrdynamik von E-Kfz konnten ebenfalls nicht bestätigt werden. Das VSF-Projekt E-FFEKT beschäftigte sich jedoch mit dieser Thematik.²

¹ Jene Geschwindigkeit, die von 85% der Fahrzeuge nicht überschritten wird.

² Aleksa M., et al, (2013)

Neben der Erhebung der akustischen Wahrnehmung von E-Kfz durch andere VerkehrsteilnehmerInnen wurde im Projekt auch die **Akustik im Fahrzeuginnenraum** erfasst. Dies erfolgte in Kooperation mit dem VSF-Projekt E-FFEKT. Bei Testfahrten in diesem Projekt wurden zusätzlich Innenraummessungen durchgeführt. Es konnten dabei klare Unterschiede in der Innenraumakustik von E-Kfz und V-Kfz nachgewiesen werden. Allerdings zeigt sich ein deutlicher Einfluss durch die Bauweise der Fahrzeuge, das heißt E-Kfz können nicht undifferenziert als „leiser“ im Innenraum betrachtet werden.

Bei niedrigen Geschwindigkeiten ist das Geräuschniveau bei E-Kfz jedoch deutlich niedriger als bei V-Kfz. Bei höheren Geschwindigkeiten kam es aufgrund des Fahrtwindes bedingt durch die Bauweise des Fahrzeugs zu zusätzlichen Geräuschkomponenten durch Strömungen um das Fahrzeug. Auch subjektive Einschätzungen der ProbandInnen konnten gewonnen werden: für einige Versuchspersonen führte das fehlende akustische Feedback des Motors zu Schwierigkeiten bei der Einhaltung der vorgeschriebenen Geschwindigkeitsbegrenzung.

In Bezug auf Interaktionen mit ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen konnten keine gravierenden Unterschiede zwischen E-Kfz und V-Kfz festgestellt werden. Jedoch sind ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen, die durch Nebentätigkeiten im Straßenverkehr abgelenkt sind, besonders durch E-Kfz erschrocken. Obwohl ein E-Kfz für mehrere Stunden und Tage im Untersuchungsgebiet laufend gefahren ist, konnte nur eine geringe Anzahl an Interaktionen zwischen E-Kfz und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen beobachtet werden. Aufgrund der geringen Anzahl sind weiterführende Untersuchungen erforderlich, um generelle Aussagen zu ermöglichen.

Die Ergebnisse der Befragungen zeigten, dass E-Kfz für Personen mit Sehbehinderungen eine erhöhte Gefahrenquelle im Straßenverkehr darstellen, da diese im Straßenverkehr je nach Ausmaß der Sehbehinderung fast bis ganz ausschließlich auf die akustische Wahrnehmung angewiesen sind. Besonders kritisch sind Situationen, in denen das E-Kfz zwischen oder unmittelbar vor einem V-Kfz fährt, da hier sogenannte „Geräuschlöcher“ entstehen und für Personen mit starken Sehbehinderungen der Anschein erweckt wird, die Fahrbahn sei frei.

Empfehlungen

Das Projekt drivEkustik kommt zusammenfassend zu folgenden Empfehlungen:

Möglichkeiten zur Verbesserung der akustischer Wahrnehmbarkeit von E-Kfz im Straßenverkehr

Entwicklung eines akustischen Signalisierungssystems zur Erhöhung der Verkehrssicherheit

1. Sensorsystem zur Situationsbeurteilung und Auslösung des Signals
2. Signalgenerator zur Abstrahlung eines geeigneten Warnsignals
3. Berücksichtigung von Fahrgeschwindigkeit und Umgebungsgeräuschen beim Hinzufügen eines künstlichen Motorengeräuschs für E-Kfz

Bewusstseinsbildung von Lenkerinnen von E-Kfz hinsichtlich Gefahren von E-Kfz und erforderliche Rücksichtnahme auf andere Verkehrsteilnehmerinnen

■ Sensibilisierung in Bezug auf mangelnde akustische Wahrnehmung des E-Kfz durch Lenkerinnen selbst und andere Verkehrsteilnehmerinnen

■ **S** Bewusstseinsbildung hinsichtlich der Geschwindigkeitswahl und daraus resultierendem Sicherheitsrisiko in Verbindung mit schlechter Wahrnehmbarkeit von E-Kfz

Bewusstseinsbildung anderer Verkehrsteilnehmerinnen für E-Kfz

drivEkustik - Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen

'S Bewusstseinsbildende Maßnahmen hinsichtlich Geräuschkulisse eines E-Kfz

'S Fokus auf die unterschiedliche Geräuschkulisse eines E-Kfz in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Erhebung des Unfallgeschehens von E-Kfz

'S Erhebung von E-Kfz in der Unfallstatistik ■S Unfalltiefenanalyse von Unfällen mit E-Kfz

Weiterführende Fahrverhaltensbeobachtungen

Langfristige naturalistische Fahrverhaltensbeobachtung von Lenkerinnen von E-Kfz

✓ Detaillierte Analyse von Brems- und Beschleunigungsverhalten unter Einbeziehung von Videodaten

■/ Detaillierte Analyse von Gewöhnungseffekten auf das Fahrverhalten durch die langfristige Beobachtung von Alltagsfahrten mit E-Kfz

Executive Summary

This volume gives an overview of the results of the drivEkustik project. The aim of this study was to identify possible road safety risks caused by the increasing numbers of electric vehicles (EVs) on the roads by investigating driving behaviour with EVs and acoustic perception of these.

The background to this study is the low noise emission by EVs compared to the noise emission caused by vehicles with internal combustion engines (ICEs). Due to this, it may be assumed that aura perception of EVs is difficult for other road users, in particular by vulnerable road users (VRUs). Most of all, visually handicapped people might be affected. DrivEkustik tried to shed light on adverse road safety problems that might be caused by the increasing popularity of EVs.

Methodology

Therefore, four different methods were applied:

- Investigation of the acoustic perception of EVs by other road users (WP1, WP4): Acoustic measurements in- and outside the vehicle, a separate recording of vehicle- and background noise, audiometric experiment
- Analysis of driving behaviour of electric vehicle drivers compared to ICE drivers (WP2, WP3): Naturalistic Observation, i.e. analysing data on driving behaviour collected by a particular data acquisition system (DAS) in the car, analysis of GPS signals, longitudinal and lateral acceleration
- Interactions among VRUs and EVs (WP5): stationary and mobile observations, personal life-observation as well as video observation with ex-post analysis
- Interviews and questionnaires (WP6): questionnaire survey while conducting the audiometric experiment (WP1), personal interviews with visually impaired people, telephone-interviews with WP2 subjects

Results

First of all, introductory acoustic measurements delivered the expected result: It could be verified that the typical noise emission of EVs is lower than ICEs. But the difference decreases and vanishes at higher speed because tire noise increases with speed. This was confirmed during the audiometric experiment. EVs were generally noticed later than ICEs: On average, ICEs were perceived 9 seconds earlier at 10 km/h, 3 seconds earlier at 20 km/h and 1.3 seconds earlier at 40 to 50 km/h.

Within the same audiometric experiment, the influence of surrounding noises was illustrated. Sounds of EVs and ICEs as well as various background sounds from urban environments were recorded. A set of experimental sound impressions was artificially composed and presented to 105 subjects, who were placed in a laboratory with earphones on and having their eyes closed. About one third of the subjects could not hear the electric vehicle at all while it was driving at low speed and at high level of surrounding noises. EVs were mostly recognized by the participants when leaving the parking spot, but they couldn't identify the source of the noise. During this experiment, no differences between visually impaired people and subjects with "normal" eyesight could be identified.

Data on driving behaviour was collected within the drivEkustik study: Four EVs in Carinthia were equipped with a DAS over a period of several months. More than half of all undertaken drives recorded did not last longer than 10 minutes. The distance covered was mostly shorter than 5 km. Furthermore, most drives were recorded between 3 and 6 pm. This data was compared to existing data of ICEs, which was collected in an earlier study. Thereby, particularly speed choice, breaking manoeuvres and behavioural adaptation to EV driving could be analysed. The v_{85} ³ of EV drivers was found slightly higher (65 km/h) compared to ICE drivers in Carinthia (62 km/h) and the Austrian average speed for ICEs (59 km/h). At higher speeds, ICE drivers on an average drove slightly faster than EV drivers.

For EVs, a higher number of strong braking manoeuvres was found. However, the difference to ICEs was too small to set up hypotheses about the reasons for this difference.

It was not possible to identify any effect of behavioural adaptation to the use of EVs.

In cooperation with the E-FFEKT project, the interior vehicle acoustics of EVs and ICEs were analysed. I.e., during E-FFEKT test drives, the interior acoustics of both vehicle categories were measured. In contradiction to the hypothesis, EVs cannot generally be considered less noisy than ICEs. That was only true at low speeds, but - possibly due to different construction in terms of aerodynamic noise- not at higher speeds.

Some of the subjects found speed choice difficult due to missing engine noise.

Concerning the interactions with VRUs, no major differences could be observed between EVs and ICEs. It was observed that some VRUs, which were distracted by secondary tasks, got scared by the unexpected appearance of an EV. Although the EV was operated for several days on an experimental route in real traffic, the total number of interactions was very small. Hence, further investigations have to be conducted in order to achieve significant results.

Visually impaired people are especially dependent on their sense of hearing whilst interacting in road traffic.

Interviews among this group clearly showed that they consider EVs a severe danger to themselves; particularly in situations, in which an electric vehicle drives right before or behind an ICE.

³ the speed which is not exceeded by 85% of the drivers

The effect which occurs in such a scenario is called an “acoustic gap” and makes it impossible to perceive the EV.

Recommendations

Considering the results of the various experiments carried out within the course of drivEkustik, the following recommendation can be made:

Possibilities to improve the acoustic perception of electric vehicles

Development of an acoustic signalisation system to improve road safety

1. Sensor system for Situation assessment and initiation of an artificial engine signal
2. Signal generator to emit an artificial engine noise for electric vehicles
3. Consideration of driving speed and ambient noise to add an artificial engine noise for electric vehicles

Awareness raising for drivers of electric vehicles with regard to risks of electric vehicles and required consideration for other road users

- Awareness raising among drivers of EVs concerning the lack of acoustic perception of their vehicles
- Awareness raising concerning speed choice and the respective road safety risks due to the perception of electric vehicles

Awareness raising for other road users with regard to risks of electric vehicles

- Awareness raising concerning the typical sound of electric vehicles
- Focusing on the sound of EV at different speed levels

Accident statistics of electric vehicles

- Categorisation and collection of accident statistics of electric vehicles
- In-depth analysis of accidents involving electric vehicles

Further observations of driving behaviour of electric vehicles

- Long-term naturalistic driving observation of electric vehicles
- Detailed analysis of braking and acceleration performance including video data
- Detailed analysis of habituation effects of driving electric vehicles

1 Einleitung

Das Projekt drivEkustik verfolgte das Ziel, die Auswirkungen der beinahe lautlosen Bewegung von Elektrofahrzeugen (E-Kfz) auf die Verkehrssicherheit systematisch von allen Seiten zu beleuchten.

Dies erfolgte durch:

- Erhebung des Fahrverhaltens von LenkerInnen von E-Kfz
- Vergleich des Fahrverhaltens bei der Nutzung von E-Kfz gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (V-Kfz)
- Erhebung von Unterschieden im Verhalten von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen bei Begegnungen mit E-Kfz im Vergleich zu Begegnungen mit V-Kfz
- Untersuchung der Hörbarkeit von E-Kfz

Folgende Arbeitspakete wurden in drivEkustik durchgeführt:

- AP0 - Projektmanagement
- AP1 - Untersuchung der akustischen Wahrnehmbarkeit von E-Kfz und V-Kfz auf unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen
- AP2 - Untersuchung des Fahrverhaltens im E-Kfz
- AP3 - Vergleich der gewonnenen E-Kfz- Mobilitätsdaten mit den bestehenden Daten zu Verbrennungsmotoren (V-Kfz)

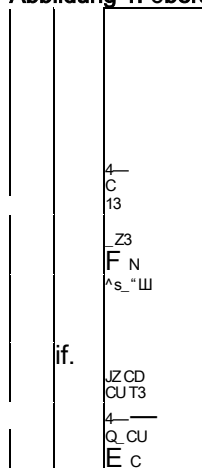
- AP4 - Akustikmessung im Fahrzeuginnenraum (E-Kfz, V-Kfz)
- AP5 - Beobachtung der Interaktion zwischen E-Kfz und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen
- AP6 - Befragungen von VerkehrsteilnehmerInnen, Zusammenhänge mit technischen Messungen, Entwicklung von Empfehlungen und Themenfelder der Zukunft

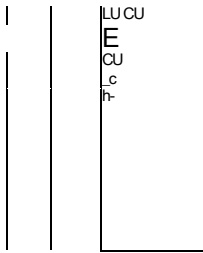
Die folgende Grafik (siehe Abbildung 1) zeigt eine Übersicht über den Inhalt der Arbeitspakete. Farblich gekennzeichnet sind jene AP, die inhaltlich stark miteinander verknüpft sind bzw. deren Ergebnisse aufeinander aufbauen. Für die thematisch verknüpften AP wurde jeweils ein gemeinsamer Ergebnisbericht erstellt, der die Vorgehensweise und die Erkenntnisse im Detail darstellt (siehe Anhang A Ergebnisbericht AP 1+4, Anhang B Ergebnisbericht AP 2+3 und Anhang C Ergebnisbericht AP 5+6).

Alle AP führen zu gemeinsamen Empfehlungen und dem Aufzeigen von zukünftigen Themenfelder für weiterführende Forschung.

AP	INHALT
1	Akustische Wahrnehmbarkeit von E-Kfz und V-Kfz in unterschiedlichen Verkehrssituationen
4	Akustikmessung im Fahrzeuginnenen
2	Erfassung des Fahrverhaltens von E-Kfz
3	Vergleich des Fahrverhaltens von E-Kfz und V-Kfz
5	Beobachtung der Interaktion von E-Kfz und ungeschützten Verkehrsteilnehmerinnen
6	Befragung von Verkehrsteilnehmerinnen

Abbildung 1: Übersichtsgrafik Projekt drivEkustik





Der vorliegende Endbericht stellt die wichtigsten Erkenntnisse im Überblick dar und enthält die vom Projektteam erarbeiteten Empfehlungen. Jedes Arbeitspaket wird in einem eigenen Kapitel beschrieben, welches in gleicher Weise aufgebaut ist, um die Lesbarkeit zu erleichtern. Es werden dabei jeweils das Untersuchungsdesign, die Erhebungsinstrumente, die Stichprobe sowie die wichtigsten Ergebnisse dargestellt.

2 Untersuchung der akustischen Wahrnehmbarkeit von E-Fahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren auf unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen

Untersuchungsdesign

Ziel dieses Arbeitspaketes ist es, die akustische Wahrnehmbarkeit von Elektrofahrzeugen (E-Kfz) zu untersuchen und mit jener von Verbrennungskraftfahrzeugen (V-Kfz) zu vergleichen. Dabei wurden die Unterschiede aufgezeigt, um aus akustischer Sicht potentielle Risiken für den Straßenverkehr frühzeitig erkennen zu können. Gerade unter 50 km/h war bei E-Kfz durch das wegfallende Motorgeräusch eine Veränderung der typischen Lärmemission zu erwarten. Im Rahmen des Arbeitspaketes wurde folgende Forschungsfrage behandelt: Gibt es Unterschiede in der akustischen Wahrnehmbarkeit von E-Kfz und V-Kfz durch ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen? Wenn ja, welche sind diese Unterschiede?

Zur Beantwortung dieser Frage wurden kontrollierte Vorbeifahrten und Ausparkmanöver auf geeigneten Teststrecken akustisch aufgezeichnet und messtechnisch analysiert. Der eigentliche Schwerpunkt der Untersuchung lag dabei in der Ermittlung der akustischen Wahrnehmbarkeitsschwelle durch einen Hörversuch. Dafür wurden Hintergrundgeräusche an verschiedenen Orten aufgenommen, die die akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen beeinträchtigen können. Aus diesem generierten Aufnahmeportfolio wurden im Labor reproduzierbare Verkehrssituationen akustisch nachgestellt und Versuchspersonen vorgespielt. Für eine möglichst realitätsnahe Aufnahme und Wiedergabe kam ein binaurales Messsystem⁴ zum Einsatz.

Erhebungsinstrumente

Im Rahmen der Untersuchung wurden von zwei verschiedenen V-Kfz und zwei verschiedenen E-Kfz Aufnahmen in ausgewählten Verkehrssituationen mit erhöhtem Unfallpotential angefertigt. Neben einer messtechnischen Analyse fungierten die Aufzeichnungen als Basis für einen Hörversuch zur Feststellung

⁴ Messsystem aus 2 Mikrofonen, das zudem den akustischen Einfluss von Schulter, Kopf, Ohrmuschel und Gehörgang des Menschen berücksichtigt.

der akustischen Wahrnehmbarkeitsschwelle der unterschiedlichen Fahrzeuge. Die Fahrzeuge wurden so gewählt, dass damit eine Bandbreite von E-Kfz und V-Kfz repräsentiert wird. Mit der Beschränkung auf Personenkraftwagen wurden für den Versuch folgende Fahrzeuge ausgewählt:

- Toyota Verso - altes V-Kfz
- BMW X3 - neues V-Kfz
- Renault Fluence - E-Kfz
- Mitsubishi i-MiEV - E-Kfz

Die akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen hängt neben der eigentlichen Fahrzeugemission maßgeblich vom Hintergrundgeräusch ab. Umliegender Verkehrslärm, Baulärm oder vorbeigehende PassantInnen können das Fahrzeuggeräusch teilweise oder fast vollständig maskieren. Aus diesem Grund wurden die ausgewählten Verkehrssituationen mit verschiedenen Hintergrundgeräuschkulissen überlagert. Die folgenden Örtlichkeiten wurden ausgewählt:

- Seitenstraße in einer ländliche Gegend bzw. am Stadtrand mit wenig Verkehrsaufkommen
- Seitenstraße im städtischen Gebiet mit regelmäßigem Verkehrsaufkommen
- Seitenstraße im innerstädtischen Gebiet mit regelmäßigem Verkehrsaufkommen
- Durchzugsstraße im städtischen Gebiet mit durchgehendem Verkehrsaufkommen

Um die Versuchsdauer in einem kompakten Rahmen zu halten, wurden Aufnahmen von ausschließlich zwei Fahrzeugen (BMW X3 und Mitsubishi i-MiEV) ausgewählt. Bei einem Großteil der derzeit erhältlichen Autos mit reinem Elektroantrieb handelt es sich um Kleinstwagen, deshalb wurde das kleinere E-Kfz (Mitsubishi i-MiEV) ausgewählt. Im Rahmen der ersten Untersuchungen stellte sich heraus, dass der Toyota Verso durch sein hohes Alter ein unverhältnismäßig lautes Motorgeräusch besitzt, daher wurde das neuere V-Kfz (BMW X3) ausgewählt.

Die Aufnahmen wurden anschließend mit den vorher erwähnten Hintergrundgeräuschen kombiniert. Insgesamt wurden aus den 112 aufgenommenen Aufnahmen schließlich 36 unterschiedliche Stimuli ausgewählt. Eine tabellarische Auflistung aller Aufnahmen liegt in Anhang A des AP1-AP4 Berichtes vor. Die aufgezeichneten Verkehrssituationen können insgesamt in drei verschiedene Gruppen eingeteilt werden.⁵

1. konstante Vorbeifahrt: das Fahrzeug fährt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 10, 20, 30, 40 oder 50 km/h von links oder rechts kommend an einem Referenzpunkt vorbei.
2. beschleunigte Vorbeifahrt: gleiche Bedingungen wie bei der ersten Situation, die Vorbeifahrt findet jedoch beschleunigt statt. Dies soll einen typischen Ampelstart aus 100 m Entfernung simulieren.
3. Ausparkmanöver: zur Nachstellung einer Parkplatzsituation bewegt sich das Fahrzeug rückwärts aus einer Parklücke hinaus. Die gefahrene Geschwindigkeit liegt zwischen 0-5 km/h.

Beschreibung der Stichprobe

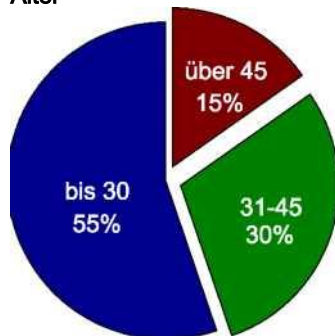
Um ein statistisch aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen, wurden insgesamt 105 Versuchspersonen rekrutiert. Die Organisation der ProbandInnen erfolgte mit Unterstützung des KfV und des BSVÖ. Letzterer Projektpartner organisierte insgesamt 14 Personen mit sehr schwacher oder keiner visuellen

Die zugrundeliegende Auswahl für die Situationen ist in Anhang A des AP1-AP4 Berichtes zu finden

Wahrnehmungsfähigkeit, wodurch eine gesonderte Untersuchung dieser Risikogruppe ermöglicht wurde.

Abbildung 2 zeigt den Anteil der ProbandInnen mit Sehbeeinträchtigungen und die Altersverteilung der ProbandInnen. Mehr Informationen dazu sind im Endbericht AP1 und AP4 zu finden.

Alter



starke Beeinträchtigung der Sehkraft

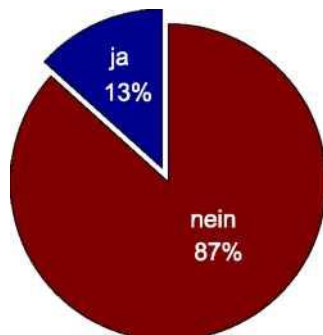


Abbildung 2: Anteil von Personen mit starken Sehbeeinträchtigungen (links) und Altersverteilung aller Versuchspersonen (rechts)
Ergebnisse

Die Ergebnisse der messtechnischen Analyse der Aufnahmen können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Ganz allgemein kann angemerkt werden, dass der Unterschied der Vorbeifahrtspegel (der maximale Schalldruckpegel der Vorbeifahrten: $L_{Af,max}$) zwischen E-Kfz und V-Kfz mit steigender Geschwindigkeit abnimmt, da das Rollgeräusch (verursacht durch den Reifen-Fahrbahn Kontakt) immer dominanter wird. Nur die Ergebnisse des Mitsubishi i-MiEV liegen auch bei höheren Geschwindigkeiten (40 km/h u. 50 km/h) unter jenen der drei anderen Fahrzeuge. Dies ist auf die Baugröße bzw. Bereifung des E-Kfz zurückzuführen.
2. Von den untersuchten Fahrzeugen liegen die maximalen Vorbeifahrtspegel der E-Kfz (Mitsubishi i-MiEV u. Renault Fluence) generell unter jenen der V-Kfz (BMW X3 u. Toyota Verso), mit Ausnahme der Ergebnisse aus 7,5 m für 40 km/h und 50 km/h. Durch die höhere Entfernung entsteht ein flacherer Messwinkel (als bei der Messposition aus 1,8 m), der im Messergebnis den Einfluss des Reifen-Fahrbahngeräusches erhöht.
3. Beim Mitsubishi i-MiEV konnten zwei sehr starke Geräuschkomponenten (6-7 kHz und 14-15 kHz) festgestellt werden, verursacht durch den Elektroantrieb. Beim Renault Fluence konnten diese Komponenten nicht festgestellt werden.

Die Ergebnisse des Hörversuches können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Von den untersuchten Fahrzeugen wird das E-Kfz (Mitsubishi i-MiEV) generell später gehört als das V-Kfz (BMW X3):
 - a. Die mittlere Zeitdifferenz (Zeit, um die das E-Kfz später wahrgenommen wurde) beträgt

für 10 km/h 9,0 Sekunden, bei 20 km/h 3,1 Sekunden sowie 2,7 Sekunden für 30 km/h. Dies entspricht einer Wegdifferenz von 25 m, 17,3 m und 22,4 m.

- b. Der große Unterschied bei 10 km/h ist auf das gut wahrnehmbare Motorgeräusch des V-Kfz zurückzuführen.
- c. Im Bereich von 40 - 50 km/h wird das E-Kfz im Mittel um 1,3 Sekunden später wahrgenommen, d.h. es gleichen sich die beiden Fahrzeugtypen in der akustischen Wahrnehmung an.
2. Ganz allgemein kann angemerkt werden, dass die Entfernung, in der das Fahrzeug wahrgenommen wird umso höher ist, je höher die gefahrene Geschwindigkeit ist.
3. Bei lautem Umgebungsgeräusch in einer innerstädtischen Seitenstraße und 10 km/h Geschwindigkeit konnten 31% der VersuchsteilnehmerInnen das E-Kfz gar nicht erkennen (das entspricht dem schwierigsten im Hörversuch untersuchten Szenario - siehe Abbildung 3).
 - a. Von den restlichen 69% erkannte etwa die Hälfte das E-Kfz erst nachdem das Auto die Person schon erreicht hatte.
 - b. Auch bei 20 km/h konnten 2% der ProbandInnen den Mitsubishi i-MiEV überhaupt nicht wahrnehmen. Der Median der Wahrnehmungsentfernung liegt in diesem Fall für das E-Kfz bei 6,9 m - beim BMW X3 beträgt die Wahrnehmungsentfernung 26,9 m. Dies entspricht bei 20 km/h einem Zeitunterschied von 3,6 Sekunden. D.h. das V-Kfz wurde bei einer Fahrgeschwindigkeit von 20 km/h 3,6 Sekunden früher akustisch wahrgenommen als ein E-Kfz mit gleicher Geschwindigkeit.
4. Bei den betrachteten Ausparksituationen wird das E-Kfz im Mittel später erkannt, wobei viele ProbandInnen das Geräusch zwar gehört haben, es aber nicht gleich als Fahrzeug identifizieren konnten.
5. Die Ergebnisse des Hörversuches zeigen grundsätzlich keinen wesentlichen Unterschied zwischen TeilnehmerInnen mit und ohne Sehbehinderungen, wobei die Stichprobe unterschiedlich war (105 Probanden insgesamt, davon 14 Personen mit Sehbehinderungen). Bei den geringfügig festgestellten Unterschieden handelt es sich um statistische Schwankungen (siehe beispielsweise Abbildung 4).
6. Die zweite untersuchte Risikogruppe umfasst ältere VerkehrsteilnehmerInnen, da die Hörfähigkeit mit dem Alter generell abnimmt. Für die Analyse wurden die Versuchspersonen in drei Altersgruppen eingeteilt. Auch wenn die Stichprobe der ältesten Gruppe verhältnismäßig klein ist, zeigen die Ergebnisse, dass ein höheres Alter nicht zwangsläufig zu einer schlechteren akustischen Wahrnehmung führen muss.

Es kann festgehalten werden, dass die Ursache des subjektiv wahrgenommenen Erkennungszeitpunktes in den vorgestellten Beispielen messtechnisch gut nachgewiesen werden konnte. Es zeigte sich jedoch auch, dass dieser Nachweis nicht immer möglich ist, insbesondere wenn lautere Hintergrundgeräuschkulissen vorhanden sind.

Vorbeifahrt Seitenstraße Innenstadt - verbleibender Abstand zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtspunkt

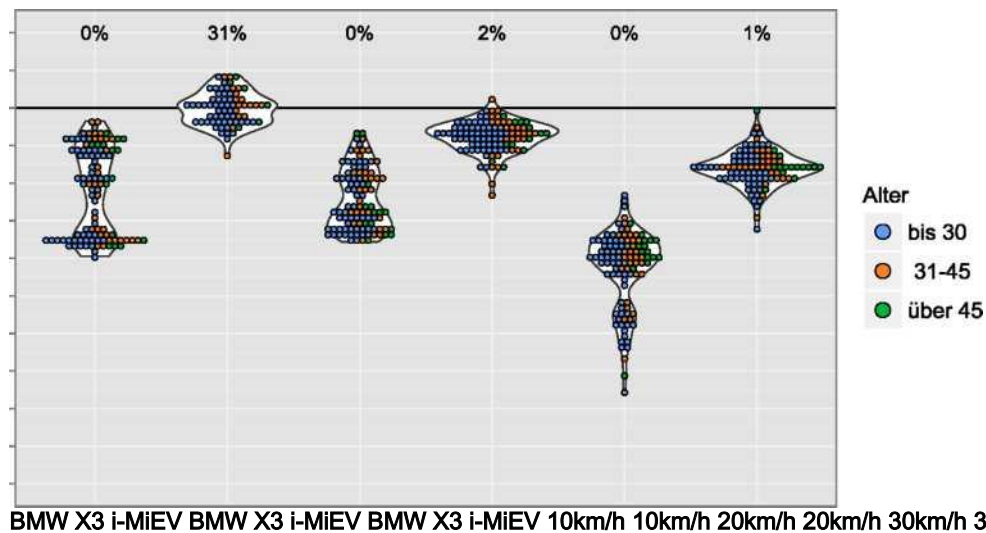


Abbildung 3: Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte - Vergleich zwischen verschiedenen Altersgruppen

(schwierigste Situation)

nicht wahrgen.

-10

VP

10

I 50

∞

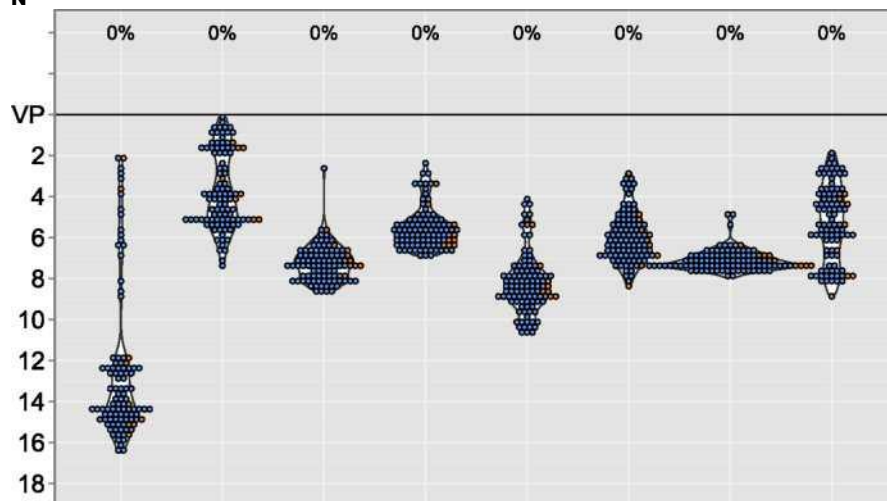
b 60 70 80 90 100

φ 20

nicht vorhanden

nicht
wahrgen.
-2

CD
CO
<D
N



u Beeinträchtigung sehr schwach /

O

BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV
10km/h 10km/h 20km/h 20km/h 30km/h 30km/h beschl. beschl.

Abbildung 4: Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte - Vergleich zwischen Personen mit und ohne Sehbehinderungen (einfachste Situation)

Vorbeifahrt Seitenstraße ländliche Gegend
Wahrnehmungszeitpunkte bez. auf Vorbeifahrtspunkt

3 Untersuchung des Fahrverhaltens im E-Kfz

Untersuchungsdesign

Das Fahrverhalten von LenkerInnen von E-Kfz wurde mit Hilfe der Forschungsmethode Naturalistic Observation erfasst. Diese Methode zielt auf eine Beobachtung in einem möglichst natürlichen Umfeld, ohne dass sich die ProbandInnen in einem Laborumfeld befinden. Es wird ein echtes, alltägliches Verhalten dokumentiert. Natürlich wurden die TeilnehmerInnen über die eingebaute Messtechnologie informiert, allerdings war diese für die Testpersonen optisch nicht erkennbar und sollte daher das natürliche Fahrverhalten nicht beeinflussen.

Bei der Naturalistic Observation wird grundsätzlich zwischen ortsfester Beobachtung und fahrzeuggestützter Beobachtung unterschieden. Die ortsfeste Beobachtung wurde vor allem zur Konfliktbeobachtung an Konfliktpunkten eingesetzt (siehe AP5). Eine fahrzeuggestützte Beobachtung entspricht „Naturalistic Driving“, das heißt die Beobachtung findet direkt im Fahrzeug statt. Erhebungsinstrumente

Die eingesetzte Messtechnologie war das pdrive lite ® System, dessen Hauptsystem aus einer kleinen Box besteht, in der sich diverse Sensoren und Speichermedien befinden. Das pdrive lite ® System zeichnet das GPS Signal, die Quer- und Längsbeschleunigung, die vertikale Beschleunigung, Stereo- und Audiosignal, Geschwindigkeit (mittels GPS) sowie Datum und Uhrzeit (mittels GPS) auf.



Abbildung 5: Herzstück des pdrive lite ® Systems

Das pdrive lite ® System wurde in den E-Kfz unter dem BeifahrerInnensitz installiert und war so platziert, dass es für die LenkerInnen weder sicht- noch hörbar war. Der Beginn und das Ende der Aufzeichnung erfolgten automatisiert durch die Aktivierung bzw. Deaktivierung der Zündung des E-Kfz, der/die FahrerIn wird daher nicht an das Gerät erinnert.

Durch die erfassten Daten sind Aussagen über die Beschleunigung und Bremsungen eines Fahrzeugs, aufgetretene Kräfte bei Kurvenfahrten sowie die Geschwindigkeit der E-Kfz möglich.

Beschreibung der Stichprobe

Aufgrund des geringen Fahrzeugbestands an E-Kfz war die Rekrutierung der ProbandInnen eine große Herausforderung. Das pdrive lite ® System wurde für den Zeitraum Februar bis August 2012 in vier E-Kfz eingebaut, die vom Land Kärnten für die Promotion von E-Kfz für die Dauer von maximal einer Woche unterschiedlichen LenkerInnen gratis zur Verfügung gestellt wurden (auch über dieses Projekt hinaus).

Es konnten insgesamt 40 unterschiedliche Versuchspersonen beobachtet werden, deren Fahrverhaltensdaten aufgezeichnet wurden. Von den TeilnehmerInnen waren lediglich fünf Personen weiblich. Nähere Informationen zu Demografie und Fahrverhalten bzw. -praxis sind von den TeilnehmerInnen nicht vorhanden.

Die Testpersonen waren mit den E-Kfz Innerorts, Außerorts und auf hochrangigen Straßen in Kärnten unterwegs. Pro Fahrt konnten Daten zu Gemeinde, Uhrzeit, Dauer der Fahrt, Straßenkategorie sowie Tempolimit gesammelt werden.

Ergebnisse

Die erhobenen Daten wurden mittels der originären Auswerte-Software analysiert, diese erlaubt eine genaue Verortung der Fahrstrecke mittels einer graphischen Darstellung. Gleichzeitig lassen sich die erhobenen Parameter wie Geschwindigkeit und Beschleunigungswerte zu jedem Zeitpunkt der Fahrt genau bestimmen.

Insgesamt wurden 2.313 Fahrten mit E-Kfz aufgezeichnet und analysiert. Mehr als die Hälfte aller aufgezeichneten Fahrten dauerten maximal 10 Minuten, nur rd. 20% der Fahrten dauerten länger als 15 Minuten. Die zurückgelegte Fahrdistanz betrug meist weniger als 5 km (rd. 1.400 Fahrten). Die E-Kfz wurden verstärkt zu Wochenbeginn genutzt. An Montagen und Diensten konnten auch längere Strecken erhoben werden. Am Wochenende fanden im Vergleich zu Werktagen weniger Fahrten mit dem E-Kfz statt, der Anteil der kürzeren Strecken war am Wochenende auch höher als an Werktagen. Betrachtet man die Wege nach Uhrzeit, wird deutlich, dass zwischen 15 und 18 Uhr die meisten Wege zurückgelegt wurden.

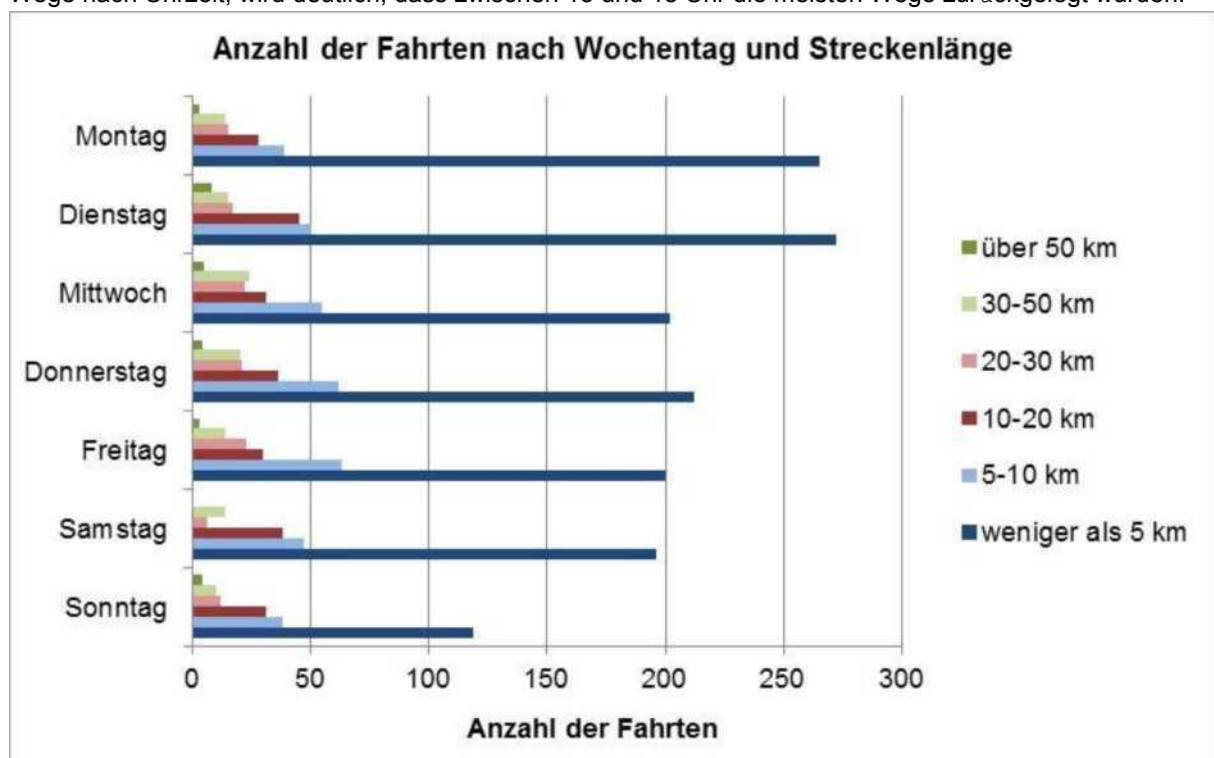


Abbildung 6: Anzahl der Fahrten nach Wochentag und Streckenlänge (N= 2.313)

4 Vergleich der gewonnenen E-Mobilitätsdaten mit den bestehenden Daten zu Verbrennungsmotoren

Untersuchungsdesign

Aufbauend auf der Datenerfassung in AP2 (siehe Kapitel 3) wurden in AP3 die gewonnenen E-Mobilitätsdaten mit Daten von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (V-Kfz) verglichen. Ziel war der Vergleich des Fahrverhaltens von LenkerInnen von E-Kfz und V-Kfz. Dafür wurden Fahrverhaltensdaten von beiden Fahrzeugarten mit der gleichen Methodik (Naturalistic Driving) erfasst. Die E-Mobilitätsdaten wurden direkt im Projekt drivEkustik erhoben, die Daten von V-Kfz wurden in anderen Projekten⁶ bereits erhoben (siehe unten: Beschreibung der Stichprobe) und standen für das Projekt drivEkustik zur Verfügung. Es konnten hier somit Synergien genutzt werden, um den Erhebungsaufwand im Projekt zu reduzieren und trotzdem eine ausreichende Datengrundlage zur Verfügung zu haben.

Erhebungsinstrumente

Die Vergleichsdaten von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren wurden auf die gleiche Art und Weise erhoben wie die in AP2 gewonnenen E-Mobilitätsdaten. Diese identische Erhebung ist Basis für einen zulässigen, aussagekräftigen Vergleich.

Wiederum wurde das pdrive lite ® System als Messtechnologie eingesetzt (siehe Beschreibung oben). Allerdings wurden die V-Kfz zusätzlich noch mit Videokameras ausgestattet: eine Kamera war dabei auf den/die FahrerIn gerichtet, eine zweite Kamera auf das Straßenumfeld. Aufgrund von datenschutzrechtlichen Bestimmungen war der Einbau von Kameras in die E-Kfz nicht möglich, da die erforderliche datenschutzrechtliche Genehmigung zum Zeitpunkt der Erhebung nicht vorlag. Die Videokameras würden zusätzliche Analysen ermöglichen, beispielsweise ist der/die FahrerIn eindeutig identifizierbar und es können offensichtliche Ablenkungen (z.B. Telefonieren, Essen) während dem Fahren erfasst werden. Gleichzeitig könnten Fahrdynamik-Daten noch besser interpretiert werden, da der Straßenraum in gewissen Situationen eindeutige Hinweise gibt (z.B. Warum wurde stark gebremst?). Für die Erfassung eines möglichen Unterschieds im Fahrverhalten von E-Kfz und V-Kfz sind allerdings jene Informationen ausreichend, die das pdrive lite ® System erfasste.

Beschreibung der Stichprobe

Als Vergleichswerte von V-Kfz wurden Daten aus der 100Car Study⁷ des KfV verwendet. Die 100Car Study ist ein eigenfinanziertes KfV-Forschungsprojekt bei dem 100 Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ein Jahr lang mit einem pdrive lite ® System ausgestattet sind. Im Zeitraum von einem Jahr wird das natürliche Fahrverhalten der LenkerInnen erfasst. Es bestehen nähere Informationen zu Demografie und Fahrleistung der LenkerInnen.

Für die Analyse wurden sowohl die Daten aus ganz Österreich als auch speziell jene Fahrten, die in Kärnten stattgefunden haben, verwendet.

Ergebnisse

Bereits bei der Nutzung der E-Kfz und V-Kfz zeigten sich deutliche Unterschiede: die E-Kfz werden in stärkerem Ausmaß für kurze Wege genutzt, das heißt der entsprechende Anteil an Fahrten, die kürzer als 15 Minuten dauern und eine Wegelänge von 10 km nicht übersteigen ist bei E-Kfz im Vergleich zu V-Kfz

⁶ u.a. Gatscha et al. 2010; KfV, 2013
vgl. KfV (2013)

höher. Die Verteilung der Kfz-Nutzung nach Wochentagen ist bei E-Kfz und V-Kfz von Montag bis Donnerstag ähnlich. Große Unterschiede zeigen sich hier jedoch am Freitag, V-Kfz-LenkerInnen benutzten ihr Fahrzeug am Freitag stärker als die E-Kfz-LenkerInnen. Bei der Verteilung nach Uhrzeit wird deutlich, dass die V-Kfz-Nutzung gleichmäßiger über den Tag verteilt ist, als die E-Kfz-Nutzung.

E-Kfz wurden von den ProbandInnen im Projekt drivEkustik vor allem auf Gemeindestraßen genutzt. Autobahnen und Schnellstraßen sind im Vergleich zu V-Kfz unterrepräsentiert. Grundsätzlich wurden 70% der Wege mit V-Kfz auf hochrangigen Straßen zurückgelegt. Im Vergleich dazu wurden nur knapp 55% der erfassten Wege mit E-Kfz auf hochrangigen Straßen zurückgelegt. Hier spielen aber vor allem Freilandstraßen eine Rolle.

Besonders interessant ist die Analyse des Geschwindigkeitsverhaltens von E-Kfz- und V-Kfz- LenkerInnen. Die Geschwindigkeiten konnten mit Hilfe der vom pdrive lite ® System abgespeicherten GPS-Koordinaten ermittelt werden und mit der höchst zulässigen Geschwindigkeit in diesem Streckenabschnitt verglichen werden. Die Auswertungen der Geschwindigkeit erfolgte nicht pro Fahrt, sondern nach jeweils 10 Sekunden-Episoden, die so zusammengefasst wurden, dass innerhalb von diesen 10 Sekunden keine wesentliche Beschleunigung oder Bremsung erfolgt ist - also eine annähernd konstante Geschwindigkeit vorlag.

Besonders aussagekräftig ist für das Geschwindigkeitsverhalten die v_{85} , d.h. jene Geschwindigkeit, die von 85% der E-Kfz nicht überschritten wird. Im Ortsgebiet bei einer höchstzulässigen Geschwindigkeit von 30 bzw. 50 km/h kann bei den E-Kfz eine minimal höhere v_{85} festgestellt werden als bei den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Wobei die Unterschiede bei 50 km/h etwas deutlicher sind: die E-Kfz weisen bei dieser höchstzulässigen Geschwindigkeit eine v_{85} von 65 km/h, hingegen die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor in Kärnten rd. 62 km/h und in Gesamtösterreich rd. 59 km/h.

Bei höchstzulässigen Geschwindigkeiten von 70, 100 und 130 km/h sind bei den Fahrzeugen mit einem Verbrennungsmotor höhere Geschwindigkeiten feststellbar.

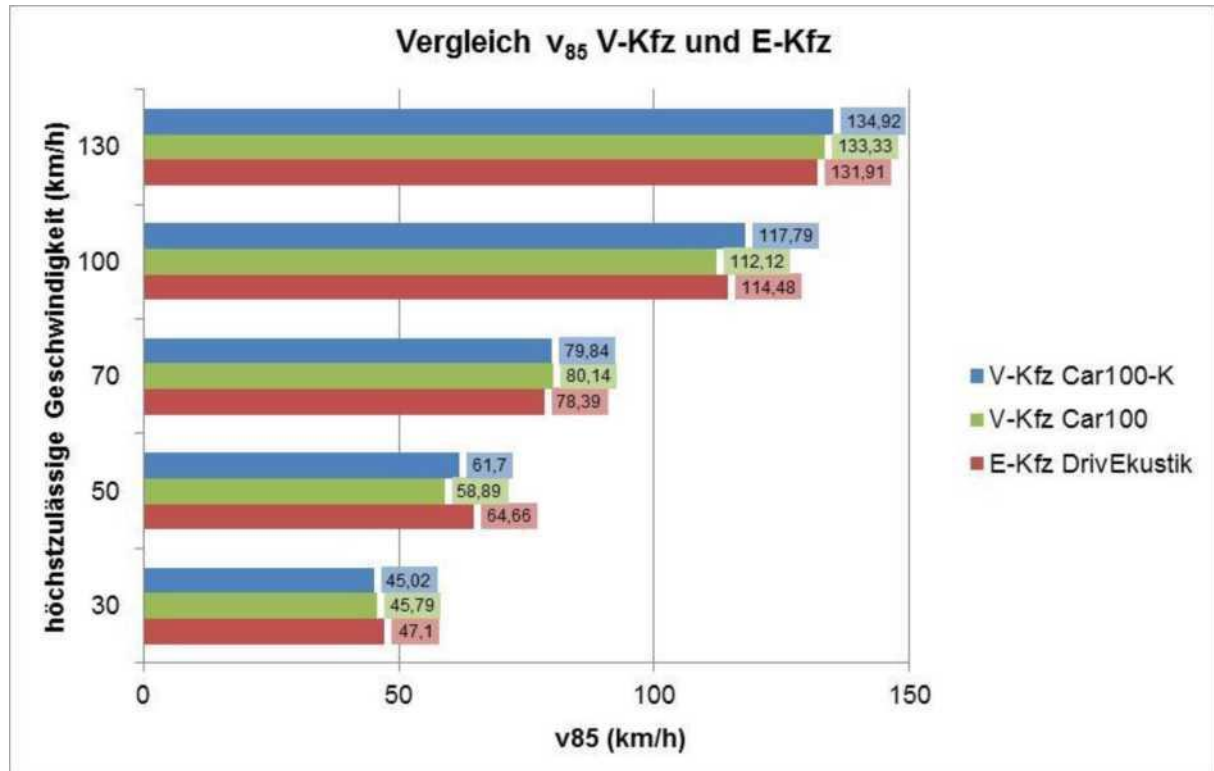


Abbildung 7: Vergleich v_{85} E-Kfz und V-Kfz in Gesamtösterreich und Kärnten nach höchst zulässiger Geschwindigkeit (km/h) (N= 2.253.964 Episoden)

Neben der durchschnittlichen mittleren Geschwindigkeit wurde auch der Anteil der Überschreiter der höchst zulässigen Geschwindigkeit analysiert. Wiederum zeigen sich in Kärnten höhere Geschwindigkeiten als im restlichen Österreich. In Bereichen mit einer höchst zulässigen Geschwindigkeit von 30 km/h überschritten rd. 75% der LenkerInnen diese, dabei gab es kaum Unterschiede zwischen E-Kfz und V-Kfz. Ein anderes Bild zeigt die Geschwindigkeitsklasse 50 km/h: die österreichweiten Daten der 100Car Study weisen 48% Überschreiter bei dieser Geschwindigkeit auf, in Kärnten ist dieser Anteil noch etwas höher, bei den E-Kfz sogar 56%.

Anhand der GPS Daten konnten auch Bremsmanöver analysiert werden. Die Analyse konzentrierte sich dabei auf überdurchschnittlich starke Bremsmanöver. Es zeigte sich, dass bei E-Kfz eine höhere Frequenz von starken Bremsmanövern auftrat als bei V-Kfz. Vor allem bei einer höchst zulässigen Geschwindigkeit bis zu 50 km/h ist der Unterschied erkennbar. Die Unterschiede sind jedoch zu gering, um eine klare Aussage dazu treffen zu können.

Abschließend wurden die Gewöhnungseffekte anhand der Fahrverhaltensdaten untersucht.

Ausgangssituation war die Hypothese, dass die unterschiedliche Fahrdynamik von E-Kfz und V-Kfz bei längerer Benützung durch ein adaptiertes Fahrverhalten kompensiert werden würde. Alle ProbandInnen, die das E-Kfz nutzten, hatten die Möglichkeit das Fahrzeug eine Woche lang zu testen. Die Analyse der Daten zeigte jedoch, dass dies nicht auf alle zutrifft und manche LenkerInnen erst am Dienstag erstmals das E-Kfz nutzten. Es ist aber aus den Daten nicht ersichtlich, ob dann trotzdem sieben Tage das Fahrzeug genutzt wurde. Eine Aussage zu Gewöhnungseffekten war aufgrund dieser mangelnden Zusatzinformation

nicht möglich.

5 Akustikmessung im Fahrzeuginnenraum (E-Fahrzeuge, Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren)

Untersuchungsdesign

In AP4 wurde untersucht, ob es Unterschiede in der Innenraumakustik zwischen E-Kfz und V-Kfz gibt und welche Auswirkungen diese allenfalls auf das Fahrverhalten haben. Es wurden daher die akustischen Verhältnisse im Fahrzeuginnenraum bei verschiedenen Fahrparametern für E-Kfz und V-Kfz gemessen. Auf dieser Basis konnten Rückschlüsse von der Fahrzeuginnenakustik auf das Fahrverhalten untersucht werden. Nachdem Messungen der Innenraumakustik aus datenschutzrechtlichen Gründen problematisch sind, wurde entschieden, dass die akustischen Innenraummessungen während Testfahrten von ProjektmitarbeiterInnen durchgeführt werden. In diesem Arbeitspaket konnten Synergien mit dem VSF-Projekt E-FFEKT genutzt werden, da in diesem Projekt die Durchführung von Testfahrten mit E-Kfz geplant war. In diesem Rahmen konnten zusätzliche Fahrten für die drivEkustik-Messungen mit geringem organisatorischem Zusatzaufwand durchgeführt werden.

Die Innenraumakustik wird im Allgemeinen durch die folgenden Faktoren beeinflusst:

- Eigengeräusch des Fahrzeuges selbst (verursacht durch Antrieb, Wind und Reifen-Fahrbahn-Kontakt)
- Strömungsgeräusche durch die Lüftungs-/Klimaanlage
- Geräusche durch FahrerInnen/Passagiere selbst
- durch die Umgebung je nach Bauart des Kfz stärker oder schwächer gedämpfte externe Geräusche (z.B. andere Kfz, Baustellen, ...)

Im Rahmen der Untersuchung wurde darauf Wert gelegt, dass die durch den/die FahrerIn verursachten Geräusche minimal gehalten wurden. Es wurde z.B. die Lüftung bzw. Klimaanlage nur auf geringer Stufe eingestellt. Die Beurteilung der Innenraumakustik wurde daher durch folgende Indikatoren bewertet:

- Erfassung des durchschnittlichen Innenraumgeräusches in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit
- Analyse des akustischen Feedbacks während der Beschleunigung
- Erfassung des Innenraumgeräusches in Abhängigkeit von der Beschleunigung

Dadurch sollten Unterschiede zwischen den verschiedenen Kfz erarbeitet werden, die vor allem in Hinblick auf das akustische Feedback das Fahrverhalten beeinflussen könnten.

Erhebungsinstrumente

Um Synergien mit dem VSF-Projekt E-FFEKT nutzen zu können, wurde für die Innenraummessungen dieselbe Teststrecke benutzt. Diese wurde unter Berücksichtigung folgender Aspekte ausgewählt:

- a. Ausgangspunkt jeder Testfahrt war der Standort des AIT (Techbase, Giefinggasse 2, 1210 Wien), da an diesem Standort die Fahrzeuge zur Verfügung standen und die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge vorhanden war.
- b. Die Teststrecke deckte folgende Szenarien ab:
 - Anfahrverhalten bei einer Kreuzung (geregelt/ungeregelt)
 - Linksabbiegen bei Gegenverkehr
 - Bremsverhalten bei einer Kreuzung (geregelt/ungeregelt)

- Verhalten im Kreisverkehr
- Verhalten bei Schutzwegen
- Verhalten bei Kurvenfahrten

Die Strecke durfte aufgrund der begrenzten Reichweite der E-Kfz nicht allzu lange sein, um mehrere Testfahrten pro Tag durchführen zu können. Zusätzlich musste eine längere Ladezeit des E-Kfz berücksichtigt und in die Anzahl der Testfahrten pro Tag mit einberechnet werden. Geplant war mindestens drei Fahrten pro Tag durchzuführen. Jede Runde durfte daher nicht länger als die knappe Hälfte der Reichweite (90-120 km) sein. Für die dritte Fahrt musste man untertags für drei Stunden den Akku wieder aufladen.

Es wurde darauf Wert gelegt, dass die Teststrecke sowohl Stadt- als auch Überlandfahrten beinhaltet, um den Geschwindigkeitsbereich bis 100 km/h abzudecken und so auch die Innenraumakustik bei hohen Geschwindigkeiten untersuchen zu können.

Ganz allgemein setzt sich das damit erfasste Innenraumgeräusch unter diesen Bedingungen aus folgenden Komponenten zusammen:

- durch das Fahrzeug selbst verursachte Geräusche: darunter fallen das Antriebsgeräusch, das Rollgeräusch durch Reifen-Fahrbahn-Kontakt sowie Windgeräusche
- externe Geräusche: jede/r andere Verkehrsteilnehmern stellt selbst eine Schallquelle dar, welche je nach Schalldämmung der Karosserie auch im Fahrzeuginnenraum hörbar und messbar ist
- durch FahrerInnen verursachte Geräusche: beinhaltet alle vom Fahrer/von der Fahrerin verursachten Geräusche, auch Schaltvorgänge fallen in diese Kategorie

Nach der Fahrt haben die Versuchspersonen ihr Feedback schriftlich festgehalten. Dieses ist tabellarisch in Anhang H des AP1-AP4 Ergebnisberichtes zu finden.

Die Datenerfassung teilt sich auf akustische sowie die Fahrdynamik beschreibende Parameter auf.

Die akustischen Parameter wurden hier sowohl auf der FahrerInnen- wie auch auf der

BeifahrerInnenposition aufgezeichnet. Dazu kam für die FahrerInnen ein binaurales Headset zum Einsatz, das es ermöglicht, die akustischen Gegebenheiten direkt abzubilden. Ebenfalls wurde am Beifahrersitz ein Kunstkopf positioniert, um weitere Daten in hoher Qualität aufzuzeichnen.

Die Fahrdynamikparameter wurden mittels pdrive lite ® System des Projektpartners TTI aufgezeichnet.

Damit konnten sowohl Beschleunigungs- wie auch GPS-Daten während der Messfahrt erhoben werden.

Ebenfalls ermöglichte ein Kamerasystem, sowohl den Straßenraum als auch den Lenker/die Lenkerin während der Testfahrt zu beobachten.

Beschreibung der Stichprobe

Die Fahrzeuge wurden so gewählt, dass damit eine Bandbreite von E-Kfz, Hybrid-Kfz und V-Kfz repräsentiert wird. Mit der Beschränkung auf Personenkraftwagen wurden für die Messung folgende Fahrzeuge ausgewählt: Mitsubishi i-MiEV (E-Kfz), Renault Fluence (E-Kfz), Toyota Prius (neues Hybrid-Kfz), Toyota Verso (altes V-Kfz). Bei einem Großteil der derzeit erhältlichen Autos mit reinem Elektroantrieb handelt es sich um Kleinstwagen - deshalb wurde neben dem Renault Fluence bewusst auch noch ein kleineres E-Kfz ausgewählt.

Ergebnisse

In AP4 wurde untersucht, ob es Unterschiede in der Innenraumakustik zwischen E-Kfz und V-Kfz gibt und welche Auswirkungen diese allenfalls auf das Fahrverhalten haben. Die Ergebnisse der messtechnischen Analyse können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Es konnten klare Unterschiede in der Innenraumakustik von E-Kfz und V-Kfz nachgewiesen werden. Allerdings zeigt sich ebenfalls ein deutlicher Einfluss der Bauweise des betrachteten Fahrzeuges auf die akustische Innenraumgestaltung. Eine generelle Beurteilung von E-Kfz als im Innenraum leise Fahrzeuge kann daher nicht abgegeben werden.
2. Betrachtet man die im Mittel auftretenden Schalldruckpegel im Fahrzeug, so erkennt man bei den E-Kfz sowie beim Hybrid-Kfz deutlich niedrigere Pegel bei niedrigen Geschwindigkeiten (siehe Abbildung 8). Dieses Verhalten wird jedoch nicht bis zu hohen Geschwindigkeiten beibehalten, bei höheren Geschwindigkeiten (im Bereich um 100 km/h) kommt es durch den Fahrtwind bauweisebedingt zu zusätzlichen Geräuschkomponenten durch Strömungen um das Fahrzeug.
3. Bei der Untersuchung spezieller Beschleunigungsvorgänge konnte das klare Auftreten von akustischem Feedback der Motordrehzahl des V-Kfz beobachtet werden. Dieses tritt bei den untersuchten E-Kfz bedingt durch den Elektromotor lediglich in wesentlich geringerem Ausmaß auf, ist aber dennoch beobachtbar.
4. Die Analyse des Zusammenhanges der Longitudinalbeschleunigung mit dem auftretenden Innenraumgeräuschpegel zeigt ebenfalls sichtbare Unterschiede zwischen den betrachteten Fahrzeugklassen. Das Abbremsen mittels Rekuperation ist deutlich sichtbar, hat aber auf den Gesamtschalldruckpegel keinen merklichen Einfluss.
5. Beim besser gedämmten E-Kfz - wie auch beim Hybridfahrzeug - sieht man das Fehlen des Motorengeräusches bei niedrigen Geschwindigkeiten des Fahrzeuges deutlich. Auch offensichtlich ist der sofortige Anstieg des Innenraumgeräuschpegels durch die auftretende Motorenbelastung bei dem untersuchten V-Kfz.

Zusätzlich wurden die ProbandInnen nach den Testfahrten nach ihren Eindrücken befragt. Aus deren subjektiven Rückmeldungen konnte folgendes festgehalten werden:

1. Einige Versuchspersonen erwähnten, dass das Fehlen des akustischen Feedbacks des Motors es schwieriger machte, die vorgeschriebenen Geschwindigkeitsbegrenzungen einzuhalten.
2. Gerade das klare akustische Feedback während Beschleunigungsvorgängen bei V-Kfz hat potentiell einen Einfluss auf das Fahrverhalten der LenkerInnen. Diese Charakteristik wird noch durch das Fehlen von merklichen Schaltzeitpunkten bei den E-Kfz verstärkt.
3. Es wurde durchgehend angemerkt, dass ein wesentlicher Unterschied in der Innenraumakustik zwischen den beiden E-Kfz besteht, verursacht durch die unterschiedliche Bauweise bzw. Schalldämmung der Karosserie.

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass sich die Innenraumakustik der untersuchten E-Kfz deutlich von jener der V-Kfz unterscheidet. Dies konnte sowohl messtechnisch als auch im subjektiven Feedback der ProbandInnen festgestellt werden.

Ein Zusammenhang zwischen veränderter Innenraumakustik und Fahrverhalten konnte aus messtechnischer Sicht nicht nachgewiesen werden. Die subjektiven Rückmeldungen der ProbandInnen zeigen zwar Tendenzen, dass sich die Einschätzung der gefahrenen Geschwindigkeit bei E-Kfz schwieriger gestaltet - inwieweit dies eine Umgewöhnung auf das Fahren mit E-Kfz nach sich zieht, kann zu diesem Zeitpunkt aufgrund des Fehlens von Langzeitdaten und der geringen Anzahl der ProbandInnen nicht beantwortet werden.

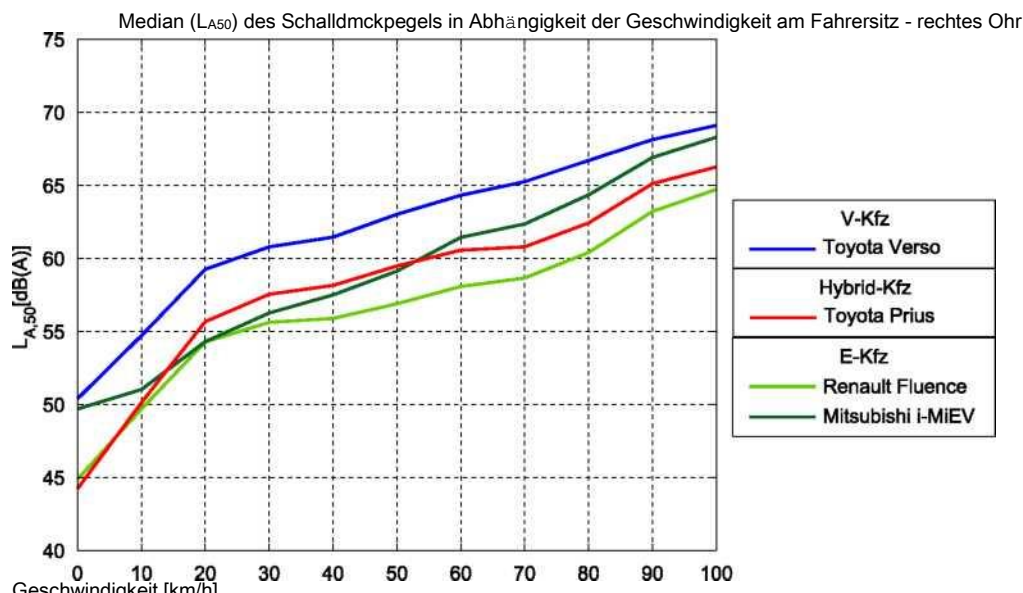


Abbildung 8: Median des Schalldruckpegels in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

6 Beobachtung der Interaktion zwischen E-Kfz und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen

Untersuchungsdesign

Um zu erheben, ob es Unterschiede im Verhalten von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen gegenüber E-Kfz bzw. V-Kfz gibt, wurden Feldbeobachtungen durchgeführt. Diese Methode birgt den Vorteil einer höheren ökologischen Validität, da Verhalten direkt im natürlichen Umfeld untersucht wird.

Das Vorgehen ist als explorativ zu verstehen und dient dazu, Trends im Verhalten von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen gegenüber E-Kfz bzw. V-Kfz zu identifizieren.

Um sowohl die BeobachterInnen- als auch die LenkerInnen-Perspektive zu berücksichtigen, wurden verschiedene Untersuchungselemente kombiniert.

Der Aufbau der Untersuchung gliederte sich somit in vier Teile, welche in der nachfolgenden Tabelle dargestellt sind. Unter dem Punkt „Erhebungsinstrumente“ sind diese Elemente näher dargestellt.

Tabelle 1: Untersuchungselemente von Arbeitspaket 5

	Ortsfeste Beobachtung	Ortsunabhängige Beobachtung
Persönliche Beobachtung	Persönliche Beobachtung mithilfe von Beobachtungsbögen	Vergleichsfahrten E-Kfz, V-Kfz
Videobeobachtung	Videobeobachtung aus dem stehenden VW Caddy Maxi	Videofahrt E-Kfz

Erhebungsinstrumente

In einem ersten Schritt wurde mittels persönlicher Beobachtung festgehalten, wie sich FußgängerInnen bei

der Straßenquerung verhalten, abhängig davon, ob ein E-Kfz oder ein V-Kfz heran nahte. Hierfür notierten Mitarbeiterinnen des KfV ausgewählte Beobachtungsstellen im ersten und siebten Wiener Gemeindebezirk. Eigens entwickelte Protokollbögen („Checklisten“) wurden angewandt (siehe Abbildung 9). Hier wurden wichtige Details der jeweils beobachteten Querung, wie z.B. Entfernung des sich nähernden Fahrzeuges und Eigenschaften sowie Verhalten der querenden Person, erhoben.

o Vormittag ☐ Nachmittag
KIRCHENGASSE
Beobachtungsbogen DrivEkustik

Nr. 1 A. Beobachtete Person:

A.1. Geschlecht
a männlich ☐ weiblich

A. 2. geschätztes Alter
☐ Kind (bis 14) o 15 -29
☐ 30-59
☐ 60+

A. 3. Sonstige Auffälligkeiten
☐ Behinderung (Gehstock, Rollator) n telefoniert, schreibt SMS
☐ schleibt Kinderwagen / Fahrrad
n Kopfhörer _____

A. 4. Gruppe
☐ Elternteil mit Kindern, Anzahl: o Pärchen
☐ sonstige Folgende, Anzahl: _____

B. Beobachtung:
B.1. Person quert
Mariahilfer Str.

B.2. Person schaut vorher
☐ ja
☐ nein

B.3. Person
G3
⌈

☐ wartet c geht
☐ läuft (noch schnell)

B.4. Während des Quere ns
☐ behält den Verkehr im Blick
☐ achtet nicht (mehr) auf den V.

B.3.a Person wartet – Position des ersten Fahrzeuges:
Mariahilfer Str.
Quervungstran

Art des Fahr/t*ugs
V: v-PKW E: e-PKW
M Motorrad/Roller oM: e-Roller F: Fahrrad

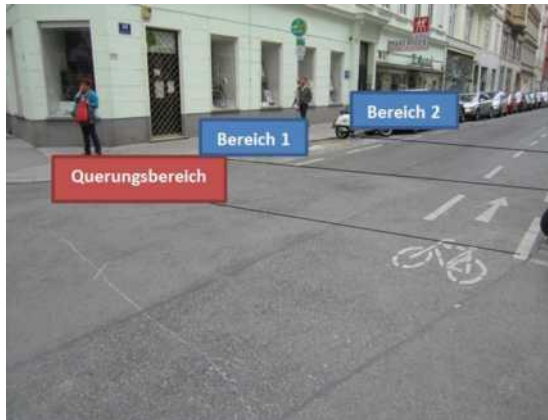
Sonstiges ausschreiben
B. 5. Wo befinden sich die nächsten Fahrzeuge zum Zeitpunkt des Bet retensder Fahrbahn?

Querunrfizon	11	SD	äff
	o-*	(SD	i
	1*	s'l	1
Gergrölli	Beginn T	-st* Ros*- b	

fcnd- U*nn-r (Tn)

B. 6. Sonstige Beobachtungen:

Abbildung 9: Exemplarische Checkliste für den Beobachtungsstandort „Kirchengasse“



Die ortsfeste Videobeobachtung wurde an zwei Nachmittagen an einer ausgewählten Beobachtungsstelle im siebten Wiener Gemeindebezirk durchgeführt. Hierfür wurde eine Videokamera an einem Hydraulikmast an einem parkenden VW Caddy Maxi befestigt, mit Hilfe dessen eine site-based observation⁸ aus der Vogelperspektive durchgeführt wurde. In der anschließenden Videoanalyse wurde der Straßenbereich in Beobachtungszonen unterteilt, anhand derer der Abstand des nächsten sich nähernden Fahrzeuges bei FußgängerInnenquerungen festgehalten wurde (siehe Abbildung 10).

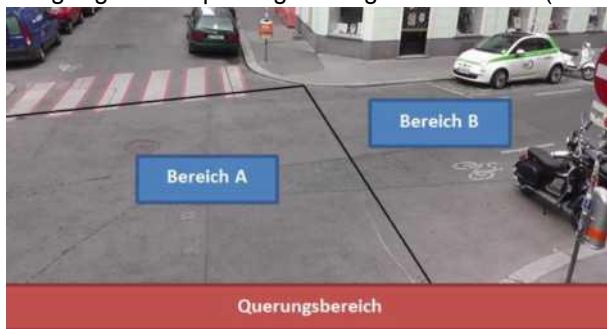


Abbildung 10: Bereichsdefinitionen bei der ortsfesten Videobeobachtung

Die Vergleichsfahrten mit E-Kfz und V-Kfz aus LenkerInnenperspektive erfolgten durch zwei Mitarbeiterinnen des KfV. Nach den Fahrten wurden die Eindrücke schriftlich festgehalten und zusammengefasst.

Die Videobeobachtung aus LenkerInnenperspektive erfolgte mittels Videoaufnahme aus einem fahrenden E-Kfz heraus, das von einer Mitarbeiterin des KfV gefahren wurde. Drei Mitarbeiterinnen werteten das Video anschließend mittels Analyse von Konfliktsituationen aus.

Ergebnisse

Es konnten generell keine gravierenden Unterschiede im Verhalten von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen gegenüber E-Kfz bzw. V-Kfz gefunden werden. Die Analyse von Konfliktsituationen bei der ortsunabhängigen Videobeobachtung sowie auftretende Konfliktsituationen während der anderen drei Beobachtungselemente legen jedoch nahe, dass besonders solche ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen, die durch Nebenaufgaben wie z.B. Telefonieren, abgelenkt sind, besonders erschrocken auf das herannahende E-Kfz reagieren. Besonders problematisch ist es, wenn E-Kfz im Strom von V-Kfz nicht erkannt werden.

Da nur relativ wenige Interaktionen zwischen ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen und herannahende E-Kfz bzw. V-Kfz festgehalten werden konnten, ist jedoch von Kausalinterpretationen Abstand zu nehmen.

Vielmehr ist es zu empfehlen, den erfassten Trend, dass abgelenkte ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen E-Kfz erst sehr spät erkennen, in weiteren Studien gezielt zu erfassen.

7 Befragungen von VerkehrsteilnehmerInnen

Untersuchungsdesign

Die Befragung von VerkehrsteilnehmerInnen fand in Bezug auf Konfliktsituationen und Hörbarkeit statt. Das Untersuchungsdesign des Arbeitspaket 6 (AP6) setzt sich aus drei Bestandteilen zusammen:

Telefoninterviews, persönliches Interview und Hörversuch (siehe Abbildung 11).

Befragung

- Telefoninterviews**
 - Fragen und Antworten im Bezug auf:**
 - Erfahrungen mit E-Kfz
 - Innenraumakustik
 - Konflikte mit anderen VerkehrsteilnehmerInnen
 - Empfehlungen
 - Persönliches Interview**
 - HörbeobachterInnen:**
 - Hörbarkeit von E-Kfz
 - Vergleich E-Kfz vs. V-Kfz
 - Hörversuch**
 - Fragebogen in Bezug auf:**
 - Diagnostizierte Einschränkungen:
 - Hörvermögen
 - Sehvermögen
 - Straßenquerungs- verhalten

Abbildung 11: Untersuchungsdesign AP6

Erhebungsinstrumente

Als Erhebungsinstrumente für die quantitative und qualitative Befragung wurden Interviews sowie Fragebögen eingesetzt. Die Interviews erfolgten einerseits per Telefon und andererseits persönlich. Im Rahmen des Hörversuchs (Arbeitspaket 1) wurde ein Fragebogen erstellt, der sich auf diagnostische

Einschränkungen (Seh- und Hörvermögen) und das Straßenquerungsverhalten der TeilnehmerInnen konzentrierte.

Beschreibung der Stichprobe

Die Telefoninterviews wurden mit acht der 40 TestfahrerInnen der E-Kfz (zur Verfügung gestellt von der Landesregierung Kärnten) durchgeführt. Im Fokus dieser Interviews standen die Meinungen und Empfehlungen der TeilnehmerInnen (bezüglich E-Kfz).

Das persönliche Interview konzentrierte sich auf eine blinde Person. Diese Person wird im Rahmen der Befragung als „HörbeobachterIn“ bezeichnet. Der Schwerpunkt dieser Hörbeobachtung lag auf der Hörbarkeit von E-Kfz sowie dem Zeitpunkt der Querungsentscheidung der blinden Person.

Am Hörversuch nahmen 105 Personen teil. Unter anderem setzte sich die Stichprobe aus Personen mit einer Einschränkung des Sehvermögens zusammen, diese wurden zusätzlich zum oben genannten Fragebogen noch im Detail zu ihren Erfahrungen in Bezug auf mögliche Unterschiede in der Hörbarkeit von E-Kfz und V-Kfz befragt. Insgesamt nahmen acht blinde Personen am Hörversuch teil.

Ergebnisse

Als Ergebnis der Telefoninterviews können Erfahrungen mit E-Kfz, Konflikte mit anderen sowie Empfehlungen der TestfahrerInnen weitergegeben werden. Positiv äußerten sich die Teilnehmenden zu Beschleunigung und Erscheinungsbild des E-Kfz. In Bezug auf das Motorengeräusch sind die TestfahrerInnen geteilter Meinung. Negativ beurteilten die teilnehmenden FahrerInnen den hohen Verbrauch auf Autobahnen und die Organisation der Fahrten (Auflademöglichkeiten, Aufladedauer). Die TestfahrerInnen empfahlen daher die Ladezeit zu verkürzen, die Reichweite zu erweitern und den Preis zu verringern. Die Befragten waren sich einig, dass sich das getestete E-Kfz als Stadt- bzw. Zweitauto eignet. Als Anregungen wurden unter anderem eine Miet-Kaufvariante für Akkus und zusätzliche Geräusche für FußgängerInnen genannt. Die Befragten regten an, dass der benötigte Strom für das E-Kfz aus Photovoltaik- oder Solaranlagen stammen sollte.

Das persönliche Interview ließ erkennen, dass blinde Menschen im Straßenverkehr mehr als alle anderen auf ihr Gehör angewiesen sind. Aufgrund des fehlenden Motorgeräusches beim E-Kfz ist es daher nicht möglich, vor allem im normalen Straßenverkehr, ein E-Kfz herauszuhören. Im Gegenteil, der Hörbeobachter konnte bis auf einmal das E-Kfz nie heraushören und in diesem Fall waren kaum Hintergrund- und keine Motorgeräusche zu hören. Besonders kritisch sind Situationen, in denen das E-Kfz sozusagen zwischen oder unmittelbar vor bzw. hinter einem V-Kfz entlang fährt, da hier Geräuschlöcher entstehen und für Personen mit starken Sehbeeinträchtigungen der Anschein erweckt wird, die Fahrbahn sei frei.

Im Rahmen des Hörversuchs konnte festgestellt werden, dass die Mehrheit der Teilnehmenden weder auf dem linken noch auf dem rechten Ohr eine diagnostische Einschränkung aufwiesen. Keiner der TeilnehmerInnen war taub. Ein Drittel der teilnehmenden Personen besaß ein hundertprozentiges Sehvermögen. Acht Personen waren auf beiden Augen blind. In Bezug auf das Straßenquerungsverhalten lieferte der Fragebogen im Rahmen des Hörversuchs das Ergebnis, dass die Mehrheit das Queren über einen Schutzweg bevorzugen würde. Die Hälfte der Befragten gab an, dort zu queren wo immer sie sich gerade aufhalten würden. Als größte Gefahr im Straßenverkehr wurde an erster Stelle das Auto, gefolgt von

RadfahrerInnen angegeben.

8 Empfehlungen und Themenfelder der Zukunft

Die akustische Wahrnehmung und das Fahrverhalten von E-Kfz-LenkerInnen wurden im Projekt drivEkustik von unterschiedlichen Seiten beleuchtet. Die umfangreichen Erhebungen zeigen, dass grundsätzlich durch E-Kfz neue Risiken im Straßenverkehr entstehen.

Im Folgenden werden die Erkenntnisse aus den technischen Messungen, Beobachtungen und Befragungen zusammengeführt und darauf aufbauend Empfehlungen entwickelt. Dafür erfolgte eine Themengruppierung, durch diese Clusterung kann ein Überblick über zukünftige Themenfelder gegeben werden.



Abbildung 12: übersichtsgrafik Clusterung der Empfehlungsbereiche

8.1 Möglichkeiten zur Verbesserung der akustischen Wahrnehmbarkeit von E-Kfz im Straßenverkehr

E-Kfz weisen gemäß den durchgeführten akustischen Messungen geringere Lärmemissionen als V-Kfz auf. Vor allem bei niedrigen Geschwindigkeiten werden E-Kfz später gehört, wie im Hörtest deutlich wurde (im Durchschnitt wurden E-Kfz 2 bis 4 Sekunden später erkannt). Bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten der E-Kfz (z.B. bei 10 km/h) werden die E-Kfz sogar bis zu 10 Sekunden später gehört als V-Kfz. Bei lauten Umgebungsgeräuschen konnten rd. 30% der TeilnehmerInnen am Hörtest das E-Kfz bei 10 km/h gar nicht erkennen.

Maßgeblich verantwortlich für die schlechtere Wahrnehmbarkeit des E-Kfz ist das fehlende Motorgeräusch, speziell bei niedrigen Geschwindigkeiten. Ab ca. 40 km/h wird das Rollgeräusch durch Reifen-Fahrbahn-

Kontakt dominanter, was auch aus den Ergebnissen der akustischen Analysen im Projekt drivEkustik bestätigt werden konnte.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse kann die folgende Hauptempfehlung getroffen werden: die Entwicklung eines akustischen Signalisierungssystems (Warnsignals) zur Erhöhung der Verkehrssicherheit für E-Kfz soll angestrebt werden. Aktuelle Entwicklungen auf europäischer Ebene unterstützen diese Empfehlung, es besteht ein Beschluss des Europäischen Parlaments Elektro- und Hybridfahrzeuge zukünftig mit einem akustischen Warnsignal auszustatten.

Die Hauptschritte der Entwicklung dieses intelligenten Warnsystems sollten folgende sein:

1. Entwicklung eines Sensorsystems zur Situationsbeurteilung und Auslösung des Signals
2. Entwicklung eines Signalgenerators zur Abstrahlung eines geeigneten Warnsignals
3. Berücksichtigung von Fahrgeschwindigkeit und Umgebungsgeräuschen

Der Hörtest zeigte, dass 30% der TeilnehmerInnen das im Hörversuch gewählte E-Kfz nicht erkennen konnten (bei niedrigen Geschwindigkeiten im Worst-Case-Szenario). Um diesem Risiko entgegenzuwirken, zielt die Kernempfehlung auf das Hinzufügen eines künstlichen Geräusches ab.

Bei der Erzeugung von künstlichen Geräuschen durch Fahrzeuge zur Erhöhung der Verkehrssicherheit ist grundsätzlich zu beachten, dass durch die Einführung von E-Kfz ein erhebliches Lärminderungspotential im niedrigen Geschwindigkeitsbereich gegeben ist. Um dieses zumindest teilweise realisieren zu können, sollten intelligente Signalisierungssysteme eingesetzt werden, die nur dann Geräusche abgeben, wenn dadurch wirklich ein Gewinn an Sicherheit zu erzielen ist. Diese sollten in Bezug auf Gesamtpegel, Richtcharakteristik, Frequenz- und Zeitverlauf möglichst optimierte Signale verwenden. In diesem Zusammenhang sind folgende Fragen zu klären:

- Welche Geräuschart wäre in diesem Fall sinnvoll (Frequenzspektrum, Tonalität, Lautstärke, Abstrahlung, etc.)?
- Wie ist die Akzeptanz bezüglich des ausgewählten künstlichen Geräusches? (Psychoakustische Hörversuche wären eine geeignete Methode diese Frage am besten zu klären)
- Gibt es bestimmte Zielgruppen für künstliche Geräusche von E-Kfz? (z.B. Kinder, Ältere Menschen, Menschen mit Sehbehinderungen, ...)
- Für wen soll dieses Geräusch generiert werden?
- In welchen Situationen soll das Geräusch generiert werden?

Weiterführende Untersuchungen über die technische Umsetzbarkeit des künstlichen Geräusches von E-Kfz sind generell zu empfehlen.

Bei der Erzeugung des intelligenten künstlichen Geräusches wären jedenfalls Fahrgeschwindigkeit und Umgebungsgeräusche zu berücksichtigen. Um die Lärmbelastung durch die Signalisierung gering zu halten, sollte ein Sender-Empfänger Modell verwendet werden, welches dem E-Kfz mögliche Gefahren meldet, wodurch nur in bestimmten Situationen ein Geräusch erzeugt wird. Vor allem für sehbehinderte Personen kann diese Art von Kommunikation eine Steigerung der Sicherheit im Straßenverkehr bedeuten. Beispielsweise könnte eine sehbehinderte Person mittels Signal oder Vibration über den Blindenstock vor E-Kfz oder leisen V-Kfz gewarnt werden.

8.2 Bewusstseinsbildung von LenkerInnen von E-Kfz

Nicht nur andere VerkehrsteilnehmerInnen müssen sich an die andere Geräuschkulisse von E-Kfz gewöhnen und ihr Verhalten anpassen, auch die LenkerInnen von E-Kfz selbst sind in diesem Bereich gefordert. Im Rahmen der im Projekt drivEkustik durchgeführten Befragungen wurde deutlich, dass einige LenkerInnen aufgrund des mangelnden Motorengeräuschs Probleme hatten die höchst zulässige Geschwindigkeit einzuhalten.

In der Analyse der Fahrverhaltensdaten wurden diese Aussagen der LenkerInnen bestätigt. Die E-Kfz waren durchschnittlich schneller unterwegs als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Gleichzeitig hat der Vergleich der Geschwindigkeitswahl von E-Kfz- und V-Kfz-LenkerInnen gezeigt, dass sie im Ortsgebiet bei einer höchst zulässigen Geschwindigkeit von 30 bzw. 50 km/h E-Kfz ein höheres Geschwindigkeitsniveau aufweisen als V-Kfz.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse können folgende **Empfehlungen** formuliert werden:

- s Bewusstseinsbildende Maßnahmen hinsichtlich geringer Geräuschemission für E-Kfz-LenkerInnen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich
- s Erhöhung des Bewusstseins des Sicherheitsrisikos von überhöhter Geschwindigkeit und gleichzeitiger schlechter Wahrnehmbarkeit von E-Kfz für andere VerkehrsteilnehmerInnen
- s Bewusstseinsbildende Maßnahmen hinsichtlich Geschwindigkeitswahl von E-Kfz- LenkerInnen
- s Sensibilisierung von E-Kfz-LenkerInnen in Bezug auf die mangelnde akustische Wahrnehmbarkeit von E-Kfz für andere VerkehrsteilnehmerInnen

8.3 Bewusstseinsbildung von anderen VerkehrsteilnehmerInnen

Aufgrund der aktuell geringen Verbreitung von E-Kfz in Österreich ist die Geräuschkulisse von E-Kfz nicht allen VerkehrsteilnehmerInnen bewusst. E-Kfz wurden im Hörtest zwar teilweise gehört, konnten aber nicht als E-Kfz identifiziert werden. Die TeilnehmerInnen wussten nicht wie sich ein E-Kfz grundsätzlich anhört. Geräusche von E-Kfz bei niedrigen Geschwindigkeiten oder bei Ausparksituationen werden von anderen VerkehrsteilnehmerInnen nicht als Fahrzeug wahrgenommen.

Die Beobachtungen der Interaktionen von E-Kfz und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen haben gezeigt, dass vor allem für FußgängerInnen die akustische Wahrnehmung von großer Bedeutung für das sichere Bewegen im Straßenverkehr ist. Rd. 30% der beobachteten Personen (siehe Kapitel 6) schauten nicht, bevor sie die Straße querten. Die FußgängerInnen orientierten sich aufgrund ihres Gehörs. Dies ist bei E-Kfz nur eingeschränkt möglich.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse können folgende **Empfehlungen** formuliert werden:

- s Bewusstseinsbildende Maßnahmen hinsichtlich Geräuschkulisse eines E-Kfz (Wie hört sich ein E-Kfz überhaupt an?)
- s Sensibilisierung der VerkehrsteilnehmerInnen für die spezielle Geräuschkulisse eines E-Kfz auch in Abhängigkeit der Geschwindigkeit (z.B. Ausparken)
- s Bewusstseinsbildende Maßnahmen hinsichtlich der Bedeutung der visuellen Wahrnehmung bei der Überquerung von Kreuzungen („erst sehen, dann gehen“)

Da E-Kfz heutzutage im Straßenverkehr wenig vertreten sind, kann von "fehlendem Bewusstsein" und fehlenden oder nur geringen Erfahrungen mit E-Kfz gesprochen werden. Die VerkehrsteilnehmerInnen

rechnen nicht damit, dass sich ein E-Kfz nähern könnte und verlassen sich auf die herannahenden Motorgeräusche. Um das Bewusstsein bezüglich E-Kfz zu steigern empfiehlt es sich, Sensibilisierungskampagnen durchzuführen. Bewusstseinsbildende Maßnahmen sollen zur Sensibilisierung von allen VerkehrsteilnehmerInnen beitragen.

Da es jedoch auch eine große Anzahl von Personen gibt, die beispielsweise aufgrund einer Seh- oder Hörbeeinträchtigung nicht die Möglichkeit haben, durch erhöhte Aufmerksamkeit ihrerseits im Straßenverkehr die Gefahr zu vermindern, hat die unter Punkt 8.1. beschriebene Empfehlung zur Ausstattung von E-Kfz mit einem akustischen Warnsignal Priorität und wird durch die Durchführung bewusstseinsbildender Maßnahmen nicht ersetzt.

8.4 Erhebung des Unfallgeschehens von E-Kfz

Aktuell werden in Österreich Unfälle mit E-Kfz, sowohl einspurige als auch zweispurige Fahrzeuge, nicht in der amtlichen Unfallstatistik separat erhoben. Diese E-Kfz werden den jeweiligen bestehenden Fahrzeugkategorien (z.B. Fahrrad, Pkw) zugeordnet. Eine genaue Aussage über das Unfallgeschehen von E-Kfz ist daher aktuell nicht möglich.

Eine gesonderte Erfassung von Verkehrsunfällen von E-Fahrrädern und E-Pkw in der amtlichen Unfallstatistik ist zur Verbesserung der Analysemöglichkeiten und Beobachtungen der Trends im Unfallgeschehen erforderlich. Diese Unterscheidung in der amtlichen Unfallstatistik ist auch für die Überprüfung der Wirksamkeit von diversen Maßnahmen im Bereich Verkehrssicherheit unabdingbar. Weiters werden Unfalldiefenanalysen durch die Einsicht in polizeiliche Unfallakten empfohlen, um Unfall- und Verletzungsmuster von Verkehrsunfällen mit E-Kfz genau zu erfassen und zielgerichtet Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit ableiten zu können. Aus den Angaben in polizeilichen Unfallakten kann auf den Unfallhergang, Konfliktsituation, Örtlichkeit und die Beteiligten geschlossen werden.

8.5 Weiterführende Fahrverhaltensbeobachtungen

Im Projekt drivEkustik wurden naturalistische Fahrverhaltensbeobachtungen (Naturalistic Observation) von E-Kfz durchgeführt und mit bestehenden Daten von V-Kfz verglichen. Die erarbeiteten Ergebnisse zeigen das natürliche Fahrverhalten der TestfahrerInnen innerhalb mehrerer Monate, die Anzahl der Fahrzeuge war jedoch aufgrund des begrenzten Projektumfangs beschränkt.

Um langfristige Effekte von E-Kfz auf die Verkehrssicherheit zu untersuchen, wird empfohlen weiterführende langfristige Fahrverhaltensbeobachtungen mittels Naturalistic Observation durchzuführen. Besonderes Augenmerk sollte dabei auf die Auswahl und Rekrutierung der ProbandInnen gelegt werden, die sich im Projekt drivEkustik aufgrund der geringen Anzahl von E-Kfz in Österreich schwierig gestaltet hat. Ziel sollte die Beobachtung von LenkerInnen sein, die ein E-Kfz regelmäßig oder sogar täglich benutzen. Besonders interessant sind dabei Gewöhnungseffekte und die Anpassung der Fahrweise durch die längere Benützung eines E-Kfz. Dies konnte aufgrund des gewählten Untersuchungsdesigns in drivEkustik nicht näher untersucht werden.

Weiters ist die Ausstattung mit Videokameras sinnvoll, die im Projekt drivEkustik aufgrund von datenschutzrechtlichen Bestimmungen nicht erfolgt ist. Die erfassten Daten können mit Hilfe von Videoaufnahmen noch detaillierter untersucht werden und Rückschlüsse auf Brems- und Beschleunigungsverhalten sind durch das Kennen der jeweiligen Fahrsituation möglich (z.B. Befindet sich

ein Fahrzeug bei einer Kreuzung vor dem/r beobachteten Lenker/In?).

Zusätzlich ist eine langfristige Fahrverhaltensbeobachtung anzudenken, um mögliche Veränderungen durch den steigenden Bestand an E-Kfz zu erfassen. Dabei sollte analog zum Projekt drivEkustik einerseits auf das Verhalten der LenkerInnen von E-Kfz an sich, andererseits auf die Interaktionen mit anderen, ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen fokussiert werden.

Literaturverzeichnis

Aleksa M., et al, (2013) E-FFEKT, Projekt gefördert aus Mitteln des Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds, AIT, KFV

Gatscha, M., Brandstätter, C. & Pripfl, J. (2010). Video-based feedback for learner and novice drivers; a small-scale ND field trial in Austria. PROLOGUE Deliverable D3.3. Test & Training International, Teesdorf bei Baden, Austria
KFV (2013), 100Car Study

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtsgrafik Projekt drivEkustik.....	18
Abbildung 2: Anteil von Personen mit starken Sehbeeinträchtigungen (links) und Altersverteilung aller Versuchspersonen (rechts).....	21
Abbildung 3: Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte - Vergleich zwischen verschiedenen Altersgruppen (schwierigste Situation)	23
Abbildung 4: Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte - Vergleich zwischen Personen mit und ohne Sehbehinderungen (einfachste Situation).....	23
Abbildung 5: Herzstück des pdrive lite ® Systems	24
Abbildung 6: Anzahl der Fahrten nach Wochentag und Streckenlänge (N= 2.313).....	26
Abbildung 7: Vergleich v ₈₅ E-Kfz und V-Kfz in Gesamtösterreich und Kärnten nach höchst zulässiger Geschwindigkeit (km/h) (N= 2.253.964 Episoden).....	29
Abbildung 8: Median des Schalldruckpegels in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.....	35
Abbildung 9: Exemplarische Checkliste für den Beobachtungsstandort „Kirchengasse“	37
Abbildung 10: Bereichsdefinitionen bei der ortsfesten Videobeobachtung	37
Abbildung 11: Untersuchungsdesign AP6	39
Abbildung 12: Übersichtsgrafik Clustering der Empfehlungsbereiche	41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Untersuchungselemente von Arbeitspaket 5	36
---	----

Anhang A

Ergebnisbericht AP 1+ 4

Anhang B

Ergebnisbericht AP 2 + 3

Anhang C

Ergebnisbericht AP 5 + 6

drivEkustik
Anhang A
Ergebnisbericht AP1 + AP4
Juni 2013

Projektkoordination:
KFV - Kuratorium für Verkehrssicherheit

Projektpartner:

AIT - AIT Austrian Institute of Technology GmbH bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung ÖBSV- Blinden-
und Sehbehindertenverband Österreich TTI - Test & Training International Planning and Service GmbH

Anhang A	AXT™ TOMORROW TODAY <u>Obfu</u> BSvö ДЖ	
Version: FINAL	Ergebnisbericht AP1 + AP4	Seite 1/135



GZ.BMVIT-199.736/0002-IV/ST2/2011

Projekttitel:

drivEkustik Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen
Fördergeber: Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds

Anhang A Ergebnisbericht AP1 + AP4

Projektstart: 01.08.2011

Projektende: 31.07.2013

Autoren:

Dott. Ing. Marco Conter (AIT Austrian Institute of Technology GmbH) DI Manfred Haider (AIT Austrian Institute of Technology GmbH)

DI Reinhard Wehr (AIT Austrian Institute of Technology GmbH) Martin Czuka (AIT Austrian Institute of Technology GmbH)

Anhang A		
Version: FINAL	Ergebnisbericht AP1 + AP4	Seite 2/135

Inhaltsverzeichnis

Fachbegriffe und Abkürzungen	5
Einleitung	7
1. Arbeitspaket 1: Untersuchung der akustischen Wahrnehmbarkeit von Elektrofahrzeugen (E-Kfz) und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (V-Kfz)	8
1.1 Ziel und Inhalte	8
1.2 Konzept und Design des Hörversuchs	9
1.2.1 Motivation	9
1.2.2 Berücksichtigung bestehender Literatur	9
1.2.3 Hypothese und Fragestellung	10
1.2.4 Aufgabenstellung an die Versuchspersonen	11
1.2.5 Zusammensetzung der Aufnahmen	12
1.2.6 Auswahl der Verkehrssituationen	13
1.2.7 Auswahl der Fahrzeuge	15
1.2.8 Auswahl der Umgebungsgeräusche	18
1.2.9 Dauer und weitere Eigenschaften der Aufnahmen	18
1.2.10 Anzahl und Auswahl der Versuchspersonen	19
1.2.11 Zeitlicher Ablauf	19
1.3 Aufnahme kontrollierter Vorbeifahrten und Ausparkmanöver	20
1.3.1 Überblick über die Verkehrssituationsaufnahmen und das Messsetup	20
1.3.2 Messort bei konstanter und beschleunigter Vorbeifahrt	22
1.3.3 Messort für Parkplatzsituationen	25

1.3.4	Ergebnisse der Messungen	27
1.3.4.1	Maximaler Vorbeifahrtspegel bei konstanten Vorbeifahrten	27
1.3.4.2	Frequenzspektrum bei konstanten Vorbeifahrten	30
1.3.4.3	Ausparksituationen	34
1.4	Aufnahme der Hintergrundgeräusche	35
1.4.1	Überblick über die Aufnahmeorte und das Messsetup	35
1.4.2	Akustische Kenngrößen der Hörversuchshintergrundgeräusche	38
1.5	Durchführung des Hörversuches	38
1.5.1	Zusammensetzung der Versuchspersonengruppe	38
1.5.2	Stimuli für den Hörversuch.....	39
1.5.3	Zeitlicher Ablauf.....	41
1.6	Ergebnisse des Hörversuches	42
1.6.1	Wahrnehmungsentfernung / Wahrnehmungszeitpunkt in Abhängigkeit des Hintergrundgeräusches	42
1.6.1.1	Ruhige Seitenstraße in ländlicher Gegend	43
1.6.1.2	Seitenstraße in innerstädtischer Gegend	45
1.6.2	Vergleich zwischen Versuchspersonen mit normaler und sehr schwacher bzw. keiner visuellen Wahrnehmungsfähigkeit	45
1.6.3	Vergleich zwischen verschiedenen Altersgruppen	47
1.7	Zusammenhang zwischen Hörversuchsergebnissen und messtechnischer Analyse	49
1.8	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen AP1	54
2	Arbeitspaket 4: Akustikmessung im Fahrzeuginnenraum (E-Kfz und V-Kfz).....	56
2.1	Ziel und Inhalte des Arbeitspaketes	56
2.2	Beschreibung der Teststrecke.....	56
2.3	Anforderungen an die Datenerfassung.....	57
2.3.1	Messsetup und Messequipment.....	57
2.3.2	Fahrzeuge für Innenraummessungen	59
2.4	Datenanalyse und Interpretation der Ergebnisse	59
2.4.1	Indikatoren für die akustische Bewertung im Innenraum bei Testfahrten mit Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor	60
2.4.2	Ergebnisse der Messungen	60
2.4.3	Subjektives Feedback der ProbandInnen	68
2.5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen AP4	69
	Literaturverzeichnis.....	71
	Anhang I: Auflistung der Stimuli für den Hörversuch	72
	Anhang II: Schalldruckpegelverlauf und Frequenzspektren bei konstanten Vorbeifahrten mit 20 km/h aus 1,8 m Entfernung	75
	Anhang III: Fragebogen Hörversuch	79
	Anhang IV: Leitfaden Hörversuch	80
	Anhang V: Ergebnisse des Hörversuchs - Wahrnehmungszeitpunkte / Wahrnehmungsentfernungen	82
	Anhang VI: Ergebnisse des Hörversuchs - Vergleich der Wahrnehmungsentfernungen / Wahrnehmungszeitpunkte zwischen Sehenden und Menschen mit Sehbehinderungen bzw. blinden Menschen	88
	Anhang VII: Ergebnisse des Hörversuchs - Vergleich der Wahrnehmungsentfernungen zwischen verschiedenen Altersgruppen	93

Anhang VIII: Vergleich der Hörversuchsergebnisse mit der messtechnischen Analyse der Stimuli	96
Anhang IX: Ergebnisse Innenraummessungen - statistische Details zum analysierten Datensatz.....	130
Anhang X: Ergebnisse Innenraummessungen - Ergebnisse der einzelnen Fahrer.....	131
Anhang XI: Innenraummessungen - Subjektives Feedback der Versuchspersonen.....	134

Fachbegriffe und Abkürzungen

Begriff / Abkürzung	Bedeutung
E-Kfz	Elektrofahrzeug
V-Kfz	Verbrennungskraftfahrzeug (Englisch: ICE-vehicle)
AP	Arbeitspaket
binaurales Messsystem	Messsystem aus 2 Mikrofonen, das zudem den akustischen Einfluss von Schulter, Kopf, Ohrmuschel und Gehörgang des Menschen berücksichtigt
dB	Dezibel
dB(A)	A-bewertetes Dezibel
A-Frequenzbewertung	Bewertung, welche die frequenzabhängigen Eigenschaften des Gehörs bei der Lautstärkenabbildung berücksichtigt
Fast-Zeitbewertung	Bewertung, welche die zeitlichen Eigenschaften des Gehörs bei der Lautstärkenabbildung berücksichtigt
L _{AF}	A-bewerteter, fast-bewerteter Schalldruckpegel in dB(A)
L _{AF,max}	maximal gemessener L _{AF} während der Vorbeifahrt
L _{A,eq}	Energieäquivalenter Dauerschallpegel in dB(A) - wird zur Quantifizierung eines länger andauernden Geräusches/Schallereignisses verwendet
L _{A,95}	Basispegel in dB(A) - L _{AF} , der in 95% des Messzeitraums überschritten wird
L _{A,50}	Medianpegel in dB(A) - L _{AF} , der in 50% des Messzeitraums überschritten wird
L _{A,1}	Spitzenpegel in dB(A) - L _{AF} , der in 1% des Messzeitraums überschritten wird
Fouriertransformation	Mathematische Transformation, die auf zeitliche Signale angewandt, ein Signal vom Zeitbereich in den Frequenzbereich überführt.
Terzbandanalyse	Analysemethode, bei der der Energiegehalt eines Schallereignisses über einen festgelegten Frequenzbereich in jedem darin enthaltenen Terzband ermittelt wird.
Harmonische	Schwingung, deren Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Frequenz der Grundschiwingung entspricht

Longitudinalbeschleunigung	Beschleunigung in Fahrtrichtung in m/s^2 ($1\text{ g} = 9,81\text{ m/s}^2$)
----------------------------	--

Einleitung

Das Projekt drivEkustik verfolgte das Ziel, die Auswirkungen der beinahe lautlosen Bewegung von Elektrofahrzeugen (E-Kfz) auf die Verkehrssicherheit systematisch von allen Seiten zu beleuchten.

Dies erfolgte durch:

- Erhebung des Fahrverhaltens von ElektrofahrzeuglenkerInnen
- Vergleich des Fahrverhaltens bei der Nutzung von Elektrofahrzeugen gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren
- Erhebung von Unterschieden im Verhalten von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen bei Begegnungen mit Elektrofahrzeugen im Vergleich zu Begegnungen mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren
- Untersuchung der Hörbarkeit von E-Kfz Folgende Arbeitspakete wurden in drivEkustik

durchgeführt:

- APO - Projektmanagement
- AP1 - Untersuchung der akustischen Wahrnehmbarkeit von E-Fahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren.
- AP2 - Untersuchung des Fahrverhaltens im Elektrofahrzeug
- AP3 - Vergleich der gewonnenen E-Mobilitätsdaten mit den bestehenden Daten zu Verbrennungsmotoren
- AP4 - Untersuchung der Innenraumakustik von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren.
- AP5 - Beobachtung der Interaktion zwischen Elektrofahrzeugen und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen
- AP6 - Befragungen von VerkehrsteilnehmerInnen, Zusammenhänge mit technischen Messungen, Entwicklung von Empfehlungen und Themenfelder der Zukunft

In AP1 wurden zur Ermittlung der akustischen Wahrnehmungsschwellen kontrollierte Vorbeifahrten auf geeigneten Teststrecken akustisch aufgezeichnet. Zusätzlich wurden repräsentative Hintergrundgeräusche des täglichen Straßenverkehrs aufgenommen, die die Wahrnehmung beeinträchtigen können. Aus diesem generierten Aufnahmeportfolio wurden im Labor reproduzierbare Verkehrssituationen akustisch nachgestellt, welche anschließend durch Testpersonen im Rahmen eines Hörversuches beurteilt wurden.

In AP4 wurde untersucht, ob es Unterschiede in der Innenraumakustik zwischen Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren gibt und welche Auswirkungen diese auf das Fahrverhalten haben. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde das Fahrzeuginnengeräusch bei verschiedenen Fahrparametern für Elektrofahrzeuge und Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor gemessen.

1. Arbeitspaket 1: Untersuchung der akustischen Wahrnehmbarkeit von Elektrofahrzeugen (E-Kfz) und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (V-Kfz)

1.1 Ziel und Inhalte

Ziel dieses Arbeitspaketes war es, die akustische Wahrnehmbarkeit von Elektrofahrzeugen (E-Kfz) zu untersuchen und mit jener von Verbrennungskraftfahrzeugen (V-Kfz) zu vergleichen. Dabei sollten mögliche Unterschiede aufgezeigt werden, um aus akustischer Sicht potentielle Risiken für den Straßenverkehr frühzeitig erkennen zu können. Gerade unter 50km/h ist bei Fahrzeugen mit Elektroantrieb durch das wegfallende Motorgeräusch eine Veränderung der typischen Lärmemission zu erwarten. Im Rahmen des Arbeitspaketes wurde folgende Forschungsfrage behandelt:

Gibt es Unterschiede in der akustischen Wahrnehmbarkeit von Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor durch ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen? Wenn ja, welche sind diese?

Zur Beantwortung dieser Frage wurden kontrollierte Vorbeifahrten und Ausparkmanöver auf

geeigneten Teststrecken akustisch aufgezeichnet und messtechnisch analysiert. Der eigentliche Schwerpunkt der Untersuchung lag dabei in der Ermittlung der akustischen Wahrnehmbarkeitsschwelle durch einen Hörversuch. Dafür wurden Hintergrundgeräusche repräsentativer Orte aufgenommen, die die akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen beeinträchtigen können. Aus diesem generierten Aufnahmeportfolio wurden im Labor reproduzierbare Verkehrssituationen akustisch nachgestellt und Versuchspersonen vorgespielt. Für eine möglichst realitätsnahe Aufnahme und Wiedergabe kam ein binaurales Messsystem zum Einsatz. Der Inhalt des Arbeitspakets lässt sich in den folgenden Punkten zusammenfassen:

- Entwurf eines Konzepts für einen Hörversuch zur Ermittlung der akustischen Wahrnehmbarkeitsschwelle
- Aufnahme kontrollierter Vorbeifahrten und Ausparkmanöver von repräsentativen E-Kfz und V-Kfz mit anschließender messtechnischer Analyse
- Aufnahme typischer Geräuschkulissen im Straßenverkehr für den Hörversuch
- Organisation, technische Realisierung und Durchführung des Hörversuches
- Analyse der Hörversuchsergebnisse und Schlussfolgerungen

1.2 Konzept und Design des Hörversuchs

1.2.1 Motivation

Bei E-Kfz ist im Vergleich zu V-Kfz ein Elektromotor als Antrieb im Einsatz. Dies führt zu einer Veränderung der typischen Lärmemission, da das Verbrennungsmotorgeräusch wegfällt. In Folge kann es zu einer erschwerten akustischen Wahrnehmung im normalen Straßenverkehr kommen. Dies kann durch eine messtechnische Analyse des Fahrzeuggeräusches überprüft werden. Viel wichtiger ist es jedoch, einen direkten Vergleich zu erstellen, der die akustische Wahrnehmung ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen in ausgewählten Risikoszenarien bezogen auf die verschiedenen Fahrzeugtypen gegenüberstellt. Genau hier setzte der Hörversuch an.

1.2.2 Berücksichtigung bestehender Literatur

Die Problematik der veränderten Geräuschemission von E-Kfz ist nicht unbekannt. Deshalb ließen einige Länder Studien in Auftrag geben - die Untersuchungen zur Wahrnehmbarkeit basierten in fast allen Fällen auf Hörversuchen, die in ihren Design-Aspekten Unterschiede aufwiesen. Folgende Punkte haben alle den Autoren bekannten Studien gemeinsam:

- Der Versuchsperson wurden typische Verkehrsszenarien akustisch dargeboten. Dies erfolgte entweder in einem Feldversuch direkt am Untersuchungsort oder im Rahmen eines Laborversuches in einer kontrollierten Umgebung. Im letzteren Fall wurden aufgezeichnete Verkehrssituationen über Lautsprecher oder Kopfhörer wiedergegeben.
- Die Aufgabe der Versuchsperson war es jenen Zeitpunkt bekanntzugeben, an dem sie das gesuchte Fahrzeug zum ersten Mal akustisch wahrgenommen hat.
- Als Fahrzeuge wurden zum Vergleich repräsentative E-Kfz/Hybrid-Kfz und V-Kfz ausgewählt.

Im Detail betrachtet besitzen die betrachteten Studien folgende spezifische Designaspekte:
JASIC 2009 - A Study on Approach Warning Systems for hybrid Vehicle in Motor mode [1]:

- Laborhörversuch unter kontrollierten Bedingungen mit Wiedergabe über ein Lautsprechersystem
- Als Testfahrzeug dienten 3 V-Kfz und 1 Hybrid-Kfz im Elektromodus
- Situation eines sich von hinten annähernden Fahrzeugs mit 6,5 km/h, 10 km/h, 15 km/h und 20 km/h
- Beurteilung der Szenarien durch 20 Versuchspersonen
- Feststellung der Wahrnehmbarkeitsschwelle mit 3 verschiedenen hinzugemischten Hintergrundgeräuschen: ruhiges Wohngebiet, Seitenstraße, verkehrsbelebte Straße

NHTSA 2010 - Quieter Cars and the Safety of blind Pedestrians: Phase I (USA) [2]:

- Laborhörversuch unter kontrollierten Bedingungen mit Kopfhörerwiedergabe
- Verwendung von 2 Hybrid-Kfz und 2 V-Kfz
- Szenarien bei einer Vorbeifahrt mit 10 km/h, Ausparkmanöver, Annähern und Abbiegen bei einer Kreuzung mit einer Geschwindigkeit zwischen 16 und 32 km/h
- Insgesamt 48 teilnehmende Versuchspersonen, wobei alle als blind⁹ gelten
- Beurteilung in Kombination mit Hintergrundgeräuschkulissen einer „leisen“ Teststrecke und einer städtischen Seitenstraße

TRL 2011 - Assessing the perceived safety risk from quiet electric and hybrid vehicles to vision-impaired pedestrians (Großbritannien) [3]:

- Laborhörversuch unter kontrollierten Bedingungen mit Kopfhörerwiedergabe
- 4 Hybrid- und E-Kfz sowie 4 V-Kfz wurden eingesetzt
- Verwendete Szenarien waren eine beschleunigte Vorbeifahrt im Rahmen eines Ampelstarts, Ausparkmanöver, sowie konstante Vorbeifahrten zwischen 7-8 km/h und 50 km/h
- Detektion der Wahrnehmbarkeitsschwelle von 10 als blind geltenden Personen
- Beurteilung aller Fahrzeuge in den Szenarien mit ländlichem und urbanem Umgebungsgeräusch

BAST 2012 - Geräuschwahrnehmung von Elektrofahrzeugen durch Blinde und Sehbehinderte (Deutschland) [4]:

- Feldversuch auf internem Gelände der BAST
 - Verwendung eines alten und eines neuen Fahrzeuges mit Verbrennungsmotor sowie eines E-Kfz
 - Szenarien waren eine beschleunigte Vorbeifahrt im Rahmen eines Ampelstarts, Ausparkmanöver, Hintereinanderfahren zweier Fahrzeuge, Nebeneinanderfahren zweier Fahrzeug, sowie konstante Vorbeifahrten mit bei 10, 20 und 30 km/h
 - Detektion der Wahrnehmbarkeitsschwelle von 12 als blind geltenden Personen
 - Beurteilung aller Fahrzeuge in den Szenarien bei „leisem“ Umgebungsgeräusch
- 1.2.3 Hypothese und Fragestellung

Bezogen auf die Forschungsfrage ließ sich für den Hörversuch folgende Fragestellung formulieren:
Nehmen ungeschützte Verkehrsteilnehmer Elektrofahrzeuge in für den Straßenverkehr repräsentativen Risikoszenarien akustisch später wahr, als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor?

⁹ beinhaltet totale Blindheit, Hell-Dunkel-Wahrnehmung, geringes Restsehvermögen

Für diese Frage wurde eine Nullhypothese H_0 als Antwortmöglichkeit aufgestellt. Die Hypothese stützte sich dabei auf vorhandenen Erfahrungsschatz und ist logisch daraus ableitbar.

Ergebnisse aus den Studien [1-4] zeigten, dass E-Kfz bei niedrigen Geschwindigkeiten später wahrgenommen werden. Darauf aufbauend wurde H_0 formuliert:

Ungeschützte Verkehrsteilnehmer nehmen ein Elektrofahrzeug bei repräsentativen Risikoszenarien akustisch im Mittel später wahr als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

Bleibt H_0 nach dem Versuch unwiderlegt, so kann innerhalb der Szenarien vom akustischen Standpunkt ein erhöhtes Risikopotential nachgewiesen werden. Zeigen die Ergebnisse des Hörversuches, dass H_0 verworfen werden muss, kann von keinem erhöhten Risiko in den Szenarien ausgegangen werden.

1.2.4 Aufgabenstellung an die Versuchspersonen

Für den Hörversuch wurden ausgewählten ProbandInnen über Kopfhörer Aufnahmen von Verkehrssituationen vorgespielt. Die Aufgabe der Versuchsperson war es dabei, mit einem Auslöser jenen Zeitpunkt zu markieren, an dem sie das Fahrzeug das erste Mal akustisch wahrnimmt.

Abbildung 1 zeigt vereinfacht den Verlauf solch einer Verkehrssituation, wobei das Maximum des Fahrzeuggeräusches den Zeitpunkt der Vorbeifahrt darstellt.

Marker
ausgelöst

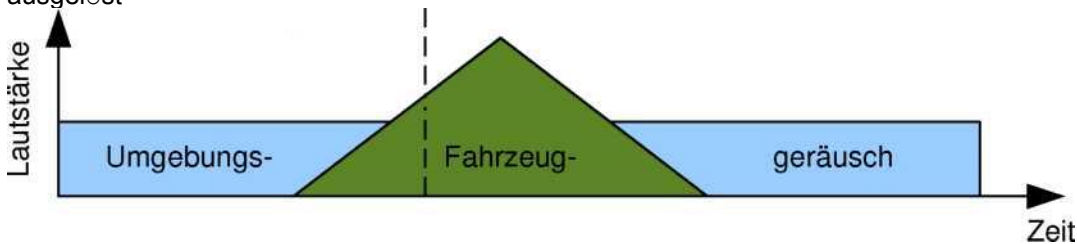
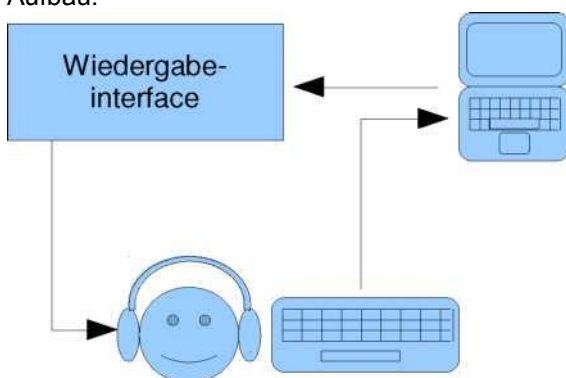


Abbildung 1: zeitlicher Ablauf einer Verkehrssituation, die den ProbandInnen vorgespielt wurde. Sobald das Fahrzeug akustisch wahrgenommen wurde, markierte die Versuchsperson den Zeitpunkt.

Zum Abspielen der Aufnahmen und Erfassung der Wahrnehmungszeitpunkte wurde ein Versuchsaufbau benötigt, welcher bei gleichzeitiger Wiedergabe der Versuchsperson die Möglichkeit bietet, zum Wahrnehmungszeitpunkt einen Trigger auszulösen. Abbildung 2 zeigt den verwendeten Aufbau.



Trigger

Abbildung 2: Versuchsaufbau - ein Notebook diente zur Kopfhörerwiedergabe über ein externes Interface.

Gleichzeitig wurden über eine externe Tastatur die Wahrnehmungszeitpunkte aufgenommen

Zum Auslösen des Triggers diente die Leertaste eines externen Keyboards.

1.2.5 Zusammensetzung der Aufnahmen

Bei jeder Aufnahme handelte es sich um eine akustisch nachgestellte Gesamtsituation, die aus einer Verkehrssituation (z.B. will eine Person die Straße an einem ungeregelten Straßenabschnitt überqueren) und einem Hintergrundgeräusch bestand. Kombiniert mit verschiedenen Fahrzeugen setzte sich eine Gesamtaufnahme wie in Abbildung 3 zusammen:
Verkehrssituationsaufnahme mit

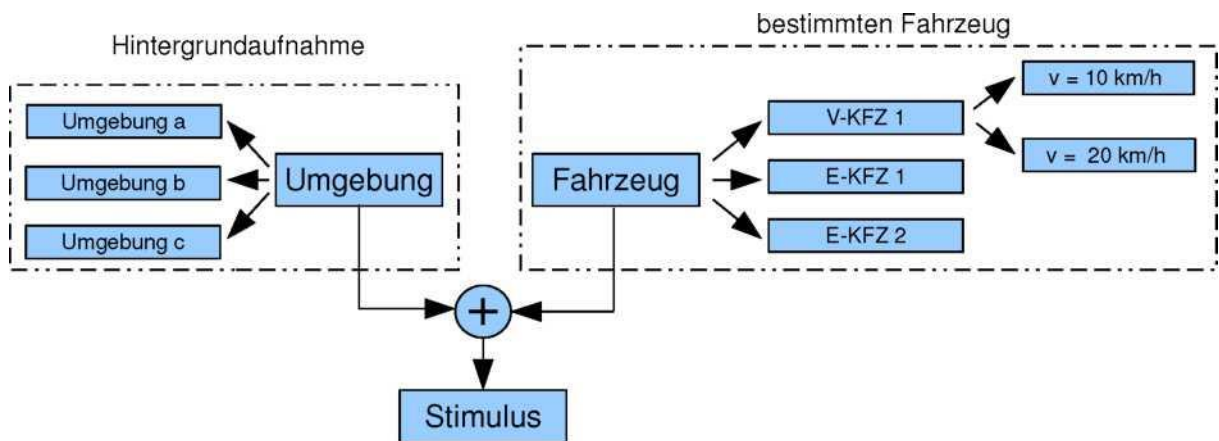


Abbildung 3: Prinzip der Zusammensetzung einer Gesamtaufnahme

Die Aufteilung einer Gesamtaufnahme in Verkehrssituation und Hintergrund wurde aus Gründen der Reproduzierbarkeit durchgeführt. Nur so konnte z.B. bei zwei Aufnahmen mit verschiedenen Fahrzeugen exakt das gleiche Hintergrundgeräusch vorhanden sein. Wäre eine Gesamtaufnahme in einem Schritt durchgeführt worden, so hätten die natürlichen Schwankungen im Hintergrundgeräusch bei verschiedenen Fahrzeugen in der gleichen Verkehrssituation zu zeitlich unterschiedlichen akustischen Verdeckungen durch die Umgebung geführt. Voraussetzung für die Zusammensetzung in Abbildung 3 ist eine Verkehrssituationsaufnahme mit einem Umgebungsgeräusch, das wesentlich unter jenem der Hintergrundaufnahmen liegt.

1.2.6 Auswahl der Verkehrssituationen

Tabelle 1 zeigt die am häufigsten vorkommenden Unfalltypen (Quelle: KfV) von Kraftfahrzeugen die mit Fußgänger kollidieren.

Für den Hörversuch wurden Vorbeifahrten mit konstanter Geschwindigkeit von 10, 20, 30 und 50 km/h sowie eine beschleunigte Vorbeifahrt ausgewählt (siehe Abbildung 4), da bei diesen Geschwindigkeitsniveaus verstärkt Interaktionen zwischen FahrzeuglenkerInnen und FußgängerInnen anzunehmen sind. Zusätzlich wurde ein Ausparkmanöver wie in Abbildung 5 untersucht.

Tabelle 1: am häufigsten vorkommende Unfälle untergliedert nach Unfalltypen seit dem Jahr 2000 (Quelle: KfV)

	Unfalltyp Untergruppen	Unfälle	Getötete	Verletzte	% Unfälle	% Getötete	% Verletzte
	851: Kollision it Fuß Bn er auf der Fahrbahn; Fuß Bn er ko t von rechts	10869	89	11557	22,6	24,16	22,1
	852: Kollision it Fuß Bn er auf der Fahrbahn; Fuß Bn er ko t von links	7764	291	8157	15,97	22,75	15,75
	811: Kollision it Fuß Bn er, Fahrzeu bie t nicht ab; vor der Querstraße, Fuß Bn er rechts	740	7	940	1,69	5,71	1,61%
	812: Kollision it Fuß Bn er, Fahrzeu bie t nicht ab; nach der Querstraße, Fuß Bn er rechts	2988	86	21	6,15	6,72	6,24%

Versuchsperson



Abbildung 4: gewählte Verkehrssituation bei konstanter bzw. beschleunigter Vorbeifahrt

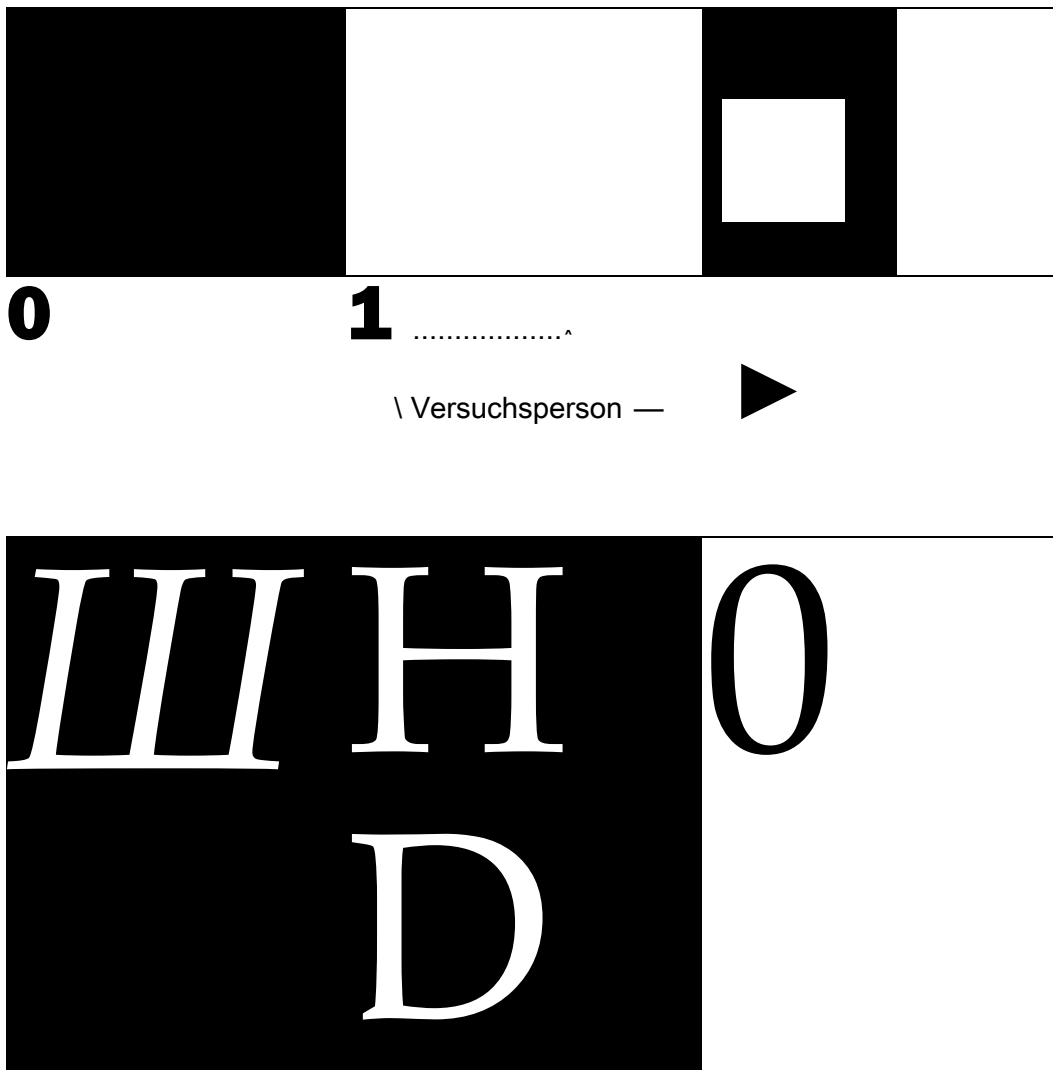


Abbildung 5: gewählte Ausparksituation (rückwärts ausparken)

1.2.7 Auswahl der Fahrzeuge

Mit der Beschränkung auf Personenkraftwagen wurden für den Versuch folgende Fahrzeuge ausgewählt:

1. BMW X3 - V-Kfz
2. Mitsubishi i-MiEV - E-Kfz
3. Toyota Verso - V-Kfz - nachträglich herausgenommen
4. Renault Fluence - E-Kfz - nachträglich herausgenommen

Hauptgrund der Begrenzung der Fahrzeuge von 4 auf 2 war die zeitliche Dauer des Hörversuches. Intention für eine maximale Dauer von 30 Minuten war, dass sich die Versuchspersonen über die gesamte Dauer konzentrieren konnten. Mit 4 statt 2 Fahrzeugen wäre die Versuchsdauer auf die doppelte Zeit (mit Inkludierung einer kurzen Pause für Versuchsperson insgesamt 1Std./Person) - was für 105 Versuchspersonen ein beträchtlicher Mehraufwand bedeutet hätte. Wesentlicher Schwachpunkt von anderen Hörversuchen in der Literatur (bis auf jener der NHTSA, siehe S.9) war die geringe Anzahl an Versuchspersonen, deshalb wollte das AIT die Anzahl Versuchspersonen möglichst hoch halten und nahm deshalb eine geringere Anzahl von Fahrzeugen in Kauf. Im Rahmen der messtechnischen Analyse sowie eines Probeversuches stellte sich heraus, dass der Toyota Verso durch sein altersbedingt lautes Motorgeräusch viel früher erkannt wurde, als alle anderen Fahrzeuge. Das war ein Ausschlussgrund für die Autoren, da das Ergebnis eines

Hörversuches mit diesem Fahrzeug praktisch vorhersehbar war. Es wurde davon ausgegangen, dass bei einem anderen alten V-Kfz das Resultat ähnlich gewesen wäre.

Aufgrund der geringen Verfügbarkeit des Renault Fluence und wechselnden Wetterbedingungen konnten die Vorbeifahrtmessungen nur an einem Tag durchgeführt werden. Während des gesamten Aufnahmezeitraums war eine Industrieanlage im nächstliegenden Gebäude am Messort in Betrieb. Trotz geschlossenem Fenster war das markante Geräusch der Maschine deutlich auf allen Aufnahmen des Renault Fluence wahrnehmbar. Aus diesem Grund wurde der Wagen ebenfalls vom Hörversuch ausgenommen. Eine messtechnische Analyse wurde jedoch auch für den Renault Fluence durchgeführt. Bei einem Großteil der zum Untersuchungszeitpunkt erhältlichen Autos mit reinem Elektroantrieb handelte es sich um Kleinstwagen - das war ein zusätzlicher Grund für die Auswahl des kleineren E-Kfz (Mitsubishi i-MiEV).

Die Tabelle 2 zeigt die detaillierte Beschreibung der verwendeten Fahrzeuge.

Fahrzeugbeschreibung



Mitsubishi i-MiEV - E-Kfz

- i-MiEV
- Hersteller: Mitsubishi Motors
- Produktionszeitraum: seit 2009
- Klasse: Kleinstwagen
- Karosserieversion: fünftürig



- Motor: 47 kW
Permanentmagnetischer
Synchronelektromotor Länge: 3475 mm
Breite: 1475 mm Höhe: 1610 mm
Radstand: 2550 mm Leergewicht: 1110
kg

Renault Fluence - E-Kfz

Fluence Z.E.

Hersteller: Renault Produktionszeitraum: seit

2011 Klasse: Kompaktklasse

Karosserieversion: Stufenheck Motor:

Elektromotor 70 kW Länge: 4748 mm Breite:

1813 mm Höhe: 1458 mm Radstand: 2702

mm Leergewicht: 1605 kg

Fahrzeugbeschreibung

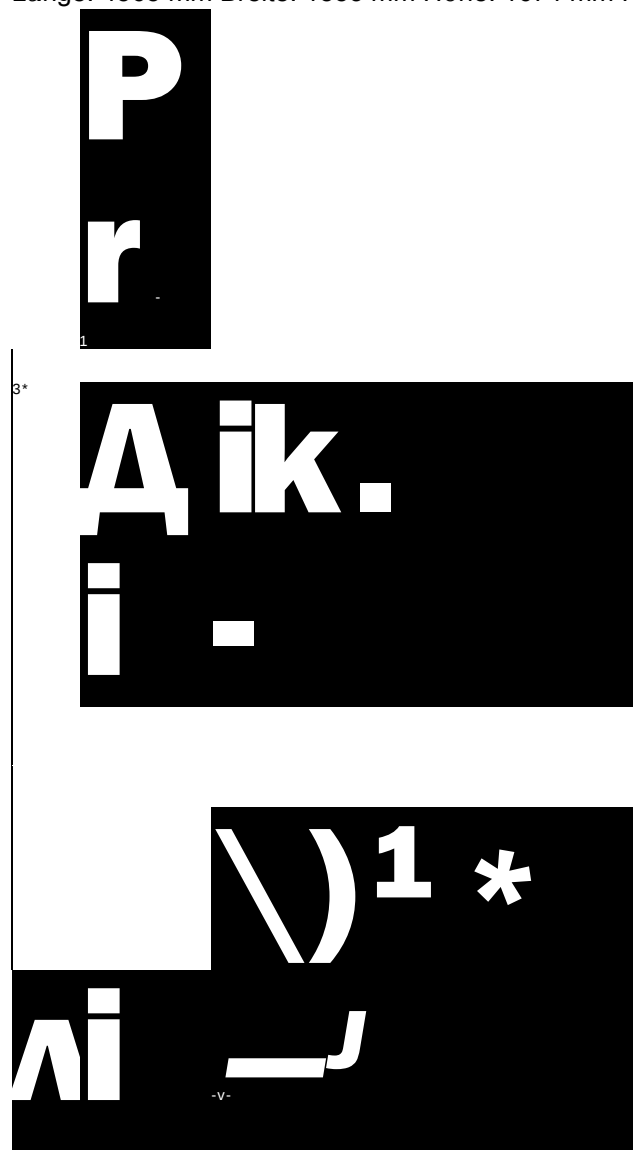
BMW X3 - V-Kfz

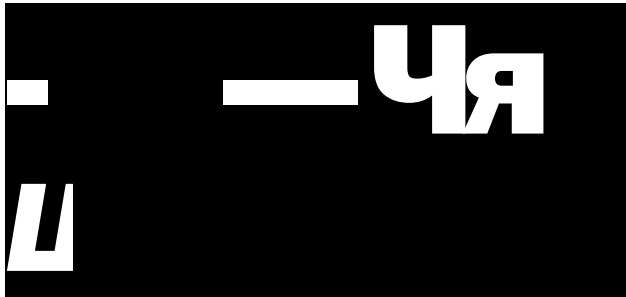
- Hersteller: BMW
- Produktionszeitraum: 2004-2010
- Klasse: Kompakt-SUV
- Karosserieversionen: Steilheck, fünftürig

- Motor: Ottomotor:

3,0 Liter (110-200 kW)

Länge: 4565 mm Breite: 1853 mm Höhe: 1674 mm Radstand: 2795 mm Leergewicht: 1730-1950 kg





Toyota Verso - V-Kfz

- Hersteller: Toyota
- Produktionszeitraum: seit 2009
- Klasse: Kompaktklasse
- Karosserieversionen: Steilheck, fünftürig
- Motor: Ottomotor:

1,6-1,8 Liter (97-108 kW)

Länge: 4440 mm Breite: 1790 mm Höhe:

1620 mm Radstand: 2780 mm Leergewicht:

1495-1725 kg

1.2.8 Auswahl der Umgebungsgeräusche

Die akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen hängt neben der eigentlichen Fahrzeugemission maßgeblich vom Hintergrundgeräusch ab. Umliegender Verkehrslärm, Baulärm oder vorbeigehende

Passanten können das Fahrzeuggeräusch teilweise oder fast vollständig maskieren. Aus diesem Grund wurden die ausgewählten Verkehrssituationen mit verschiedenen Hintergrundgeräuschkulissen überlagert. Die folgenden Örtlichkeiten wurden ausgewählt:

- a) Seitenstraße in einer ländliche Gegend bzw. am Stadtrand mit wenig Verkehrsaufkommen
- b) Seitenstraße im städtischen Gebiet mit regelmäßigem Verkehrsaufkommen
- c) Seitenstraße im innerstädtischen Gebiet mit regelmäßigem Verkehrsaufkommen
- d) Durchzugsstraße im städtischen Gebiet mit durchgehendem Verkehrsaufkommen

Durch Kombination der zwei Fahrzeuge in den ausgewählten Verkehrssituationen mit den verschiedenen Hintergrundgeräuschen ergaben sich insgesamt 36 unterschiedliche Gesamtaufnahmen. Während die Vorbeifahrten mit allen Umgebungen jeweils einmal überlagert wurden, gab es das Ausparkmanöver nur in ländlicher Gegend und auf einem Supermarktparkplatz neben einer Durchzugsstraße. Dies diente der zeitlichen Begrenzung des Hörversuches, damit die Konzentration über den gesamten Versuch konstant gehalten werden konnte. Eine tabellarische Auflistung aller Aufnahmen liegt in Anhang I vor.

1.2.9 Dauer und weitere Eigenschaften der Aufnahmen

Die zeitliche Dauer einer Aufnahme lag zwischen 15 und 20 Sekunden. Zudem wurde bewusst nur eine Verkehrssituation pro Aufnahme behandelt, und sich damit aus Sicht der Autoren folgenden Vorteile ergaben:

- Die Verkehrssituationen konnten für jede Versuchsperson in zufälliger Reihenfolge wiedergegeben werden.
- Durch kurze Aufnahmen hatte die Versuchsperson kurze Erholungszeiträume um die Konzentration für die Dauer des Hörversuches konstant zu halten

Neben diesen Überlegungen wurden bei der Erstellung der Gesamtaufnahmen folgende Aspekte berücksichtigt:

- Das Fahrzeug war sowohl von links nach rechts fahrend als auch umgekehrt zu hörbar (es wurden per Zufallsprinzip einige Aufnahmen ausgewählt und deren linker und rechter Kanal vertauscht).
- Verkehrssituation und Hintergrundaufnahme wurden so kombiniert, dass das Fahrzeug nicht immer ab dem gleichen Zeitpunkt wahrnehmbar war. Damit sollte ein Gewöhnungseffekt verhindert werden, bei dem die Versuchsperson einfach auf Verdacht ab einem bestimmten Zeitpunkt den Trigger betätigen würde.

Die zwei Maßnahmen wurden gegebenenfalls auf die bereits vorhandenen Aufnahmen angewandt. Es entstanden dabei keine neuen Szenarien.

1.2.10 Anzahl und Auswahl der Versuchspersonen

Um ein statistisch aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen, wurde eine Anzahl von 50 bis 100 Versuchspersonen angestrebt. Dabei wurden verschiedene Altersgruppen und speziell Menschen mit Sehbehinderungen bzw. blinde Menschen berücksichtigt. Der Anteil von Menschen mit Sehbehinderungen bzw. blinden Menschen wurde mit 10-20 TeilnehmerInnen festgelegt. Der erstellte Fragebogen wurde im Rahmen des Hörversuches verteilt und danach im Rahmen der Aktivitäten von AP6 ausgewertet und interpretiert.

1.2.11 Zeitlicher Ablauf

Wenn ein Hörversuch aus mehreren Abschnitten besteht, so sollen diese laut [5, S.302] nicht länger als 40 Minuten dauern. Da die Anzahl der Versuchspersonen verhältnismäßig hoch war und es sich um „untrainierte“ Personen handelte, wurde die Gesamtzeit des Hörversuches auf 30 Minuten beschränkt. Dies war ein weiterer Grund, weshalb nur 2 verschiedene Fahrzeuge im Hörversuch berücksichtigt wurden (siehe Abschnitt 1.2.7).

Tabelle 3: Zeitlicher Ablauf des Versuchs

Versuchsteil	Dauer
Erklärung der Aufgabenstellung und Vorspielen von Beispielstimuli	5 Minuten
Hörversuch	20 Minuten
abschließender schriftlicher Fragebogen (bei Menschen mit Sehbehinderungen bzw. blinden Menschen erfolgt eine mündliche Befragung) - siehe Anhang III	5 Minuten

Die Aufgabenstellung wurde vom Hörversuchsbetreuer bzw. der Hörversuchsbetreuerin vorgelesen, um eine Gleichbehandlung aller ProbandInnen sicherzustellen. Damit sich die Versuchsperson mit der Fragestellung vertraut machen konnte, wurden ihr einige ausgewählte Stimuli vorgespielt.

Anschließend wurde noch verbleibende Fragen beantwortet.

Im Hauptteil des Versuches wurden blockweise alle Aufnahmen mit der gleichen Hintergrundgeräuschumgebung vorgespielt. Abschließend wurde der vom Kuratorium für Verkehrssicherheit entworfene Fragebogen von den Versuchspersonen beantwortet.

1.3 Aufnahme kontrollierter Vorbeifahrten und Ausparkmanöver

Das vorliegende Kapitel umfasst die Durchführung der Aufnahmen einzelner Verkehrssituationen sowie die Diskussion der Ergebnisse. Jede ausgewählte Situation wurde dabei mit den vorhandenen Fahrzeugen mehrmals akustisch aufgezeichnet. Sie dienten als Basis für folgende Aspekte des Arbeitspaketes:

- Im Rahmen des Hörversuchs wurden ausgewählte Aufnahmen als Verkehrssituationsaufnahmen zur Erstellung der Stimuli verwendet
- Messtechnische Auswertung der Aufnahmen. Die Ergebnisse wurden analysiert und mit den Ergebnissen des Hörversuches verglichen

Als Testfahrzeuge wurden ein Toyota Verso und ein BMW X3 verwendet - bei den Elektrofahrzeugen handelte es sich um einen Renault Fluence sowie um einen Mitsubishi i- MiEV.

1.3.1 Überblick über die Verkehrssituationsaufnahmen und das Messsetup

Die geplanten Verkehrssituationen konnten insgesamt in drei verschiedene Gruppen eingeteilt werden. Die zugrundeliegende Auswahl für die Situationen ist in Abschnitt 1.2.6 zu finden.

- *konstante Vorbeifahrt:* das Fahrzeug fährt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 10, 20, 30, 40 oder 50 km/h von links oder rechts kommend an einem Referenzpunkt vorbei
- *beschleunigte Vorbeifahrt:* gleiche Bedingungen wie bei der ersten Situation, die Vorbeifahrt findet jedoch beschleunigt statt. Dies soll einen typischen Ampelstart aus 100 m Entfernung simulieren.
- *Ausparkmanöver:* zur Nachstellung einer Parkplatzsituation bewegt sich das Fahrzeug rückwärts aus einer Parklücke hinaus. Die gefahrene Geschwindigkeit liegt zwischen 0-5 km/h.

Tabelle 4 zeigt, welche Messszenarien sich aus der Kombination verschiedener Verkehrssituationen mit den ausgewählten Fahrzeugen ergeben:

Tabelle 4: Überblick über die geplanten Verkehrssituationsaufnahmen

Verkehrssituation	Toyota Verso	BMW X3	Renault Fluence	Mitsubishi i-MiEV
-------------------	--------------	--------	-----------------	-------------------

konstante Vorbeifahrt	10 km/h	✓	✓	✓*	✓
	20 km/h	✓	✓	✓*	✓
	30 km/h	✓	✓	✓*	✓
	40 km/h	✓	✓	✓*	✓
	50 km/h	✓	✓	✓*	✓
beschleunigte Vorbeifahrt	0-50 km/h	✓	✓	✓*	✓
Parkplatzsituation	rückwärts ausparken	✓	✓	✓	✓

*Störgeräusch einer Industrieanlage in Aufnahme vorhanden

Alle Verkehrssituationsmessungen wurden mit dem binauralen Kunstkopfmesssystem HSU.III. 2 von Head Acoustics aufgenommen. Gleichzeitig kamen zwei (Vorbeifahrten) bzw. drei (Ausparkmanöver) Norsonic Messmikrophone vom Typ 1220 zum Einsatz.

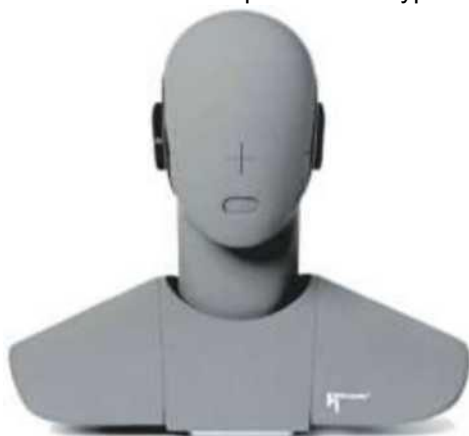


Abbildung 6: verwendete Kunstkopfmesseinheit während den Verkehrssituationsaufnahmen - Quelle des Bildes: <http://www.head-acoustics.de>

Des Weiteren wurden folgende Bedingungen für die Aufzeichnungen eingehalten:

- kein Niederschlag
- trockene Fahrbahn
- Windgeschwindigkeit geringer als 5 m/s
- Lufttemperatur 15-30°C

1.3.2 Messort bei konstanter und beschleunigter Vorbeifahrt

Als Messumgebung wurde eine selten befahrene Seitenstraße nahe dem AIT-Standort Tech- base gewählt. Der in Abbildung 7 rechts zu sehende Parkplatz wurde selten befahren und stellt damit eine zu vernachlässigende Störgeräuschquelle dar. Auch wurde während den Messungen auf ein geringes

Verkehrsaufkommen in der näheren Umgebung geachtet.



Abbildung 7: Messort aus der Luftansicht (links) und die Messposition bei genauerer Betrachtung des Messortes (rechts) (Quelle der Satellitenbilder: Google Maps)

M1 + M2

M4

Q Mikrofonposition

Position Kunstkopf

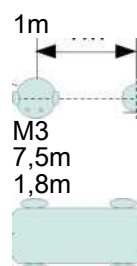


Abbildung 8: Messaufbau für Vorbeifahrtssituationen

Der Verkehrslärm der nächstliegenden Straße wurde zu einem großen Teil durch das angrenzende Gebäude abgeschirmt. Bei der Fahrbahnoberfläche handelt es sich um eine Standarddecke (Asphaltbeton). Um den Messaufbau wie in Abbildung 8 zu realisieren, wurden M1+M2 sowie M3 am Fahrbahnrand platziert, da am Messort kein Gehsteig vorhanden war. Der Abstand zwischen Kunstkopfmikrophonen und Boden beträgt 1,57 m (Abstand vom Boden zur Schädeldecke: 1,7 m). Für M3 wurde ebenfalls 1,57 m gewählt. M4 befand sich mit einem Abstand von 7,5 m auf einer Höhe von 1,2 m bereits im anliegenden Feld. Die Messposition wurde mit Anlehnung an die Norm ISO 362 [6] gewählt.

Abbildung 9 zeigt einen typischen Schalldruckpegelverlauf am Messort während den Aufnahmen. Für die Messung wurden bewusst Zeitfenster mit wenig Hintergrundgeräusch gewählt, damit das Fahrzeuggeräusch auch bei niedrigen Geschwindigkeiten eindeutig gemessen werden konnte. Der energieäquivalente Dauerschallpegel $L_{A,eq}$ wie auch der mittlere Spitzenpegel L_{A1} (30 Minuten Messzeit) liegen deswegen deutlich über dem Aufnahmepegel, wie Abbildung 11 zeigt. Zur Beschreibung des Hintergrundgeräusches wurde bewusst eine Häufigkeitsverteilung gewählt, da aus der Sicht der Autoren der $L_{A,eq}$ alleine zu wenig Informationen über die Geräuschkulisse liefert. Die Häufigkeitsverteilung hingegen zeigt gut, dass der gemessene Schalldruckpegel in ca. 75% der Zeit zwischen 40 und 45 dB(A) liegt.

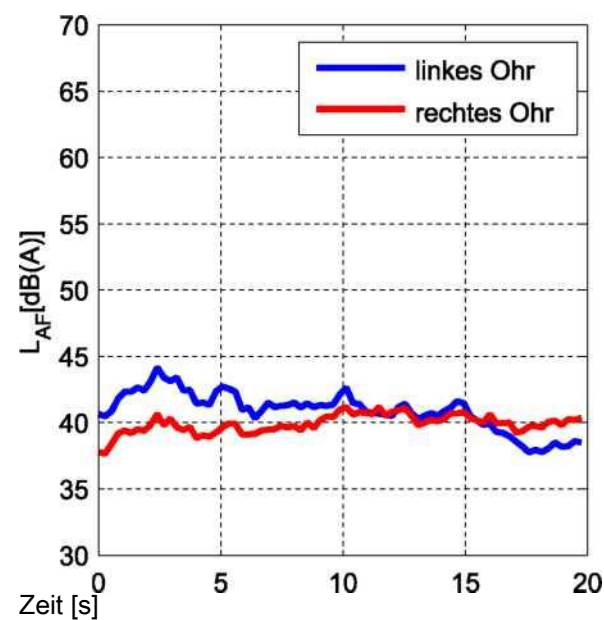


Abbildung 9: typischer Schalldruckpegelverlauf am Messort während den Messungen - gemessen mit binauralem Headset



Abbildung 10: Messaufbau für Vorbeifahrtmessungen mit dem Renault Fluence
Schalldruckpegelhäufigkeitsverteilung am Messort



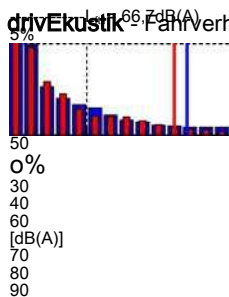


Abbildung 11: Charakterisierung des Hintergrundgeräusches am Messort über eine Schalldruckpegel-Häufigkeitsverteilung, energieäquivalenten Dauerschallpegel ($L_{A,eq}$), Basispegel ($L_{A,95}$) und mittleren Spitzenpegel ($L_{A,1}$) - Mittelungsdauer 30 Minuten

Der verhältnismäßig hohe Spitzenpegel ist auf einzelne vorbeigefahrene Autos zurückzuführen.

1.3.3 Messort für Parkplatzsituationen

Alle Parkplatzsituationen wurden am Firmenparkplatz des AIT-Standorts Techbase aufgezeichnet.



Abbildung 12: Messort aus der Luftansicht (links) und in genauerer Betrachtung (rechts) (Quelle des Satellitenbildes: Google Maps)

Wie in Abbildung 13 sichtbar, bewegte sich das Fahrzeug zuerst rückwärts aus der Parklücke hinaus, um sich anschließend mit 10 - 20 km/h vom Parkplatz zu entfernen. Alle Mikrophone sowie auch die Kunstkopfmikrophone befanden sich auf einer Höhe von 1,57 m.

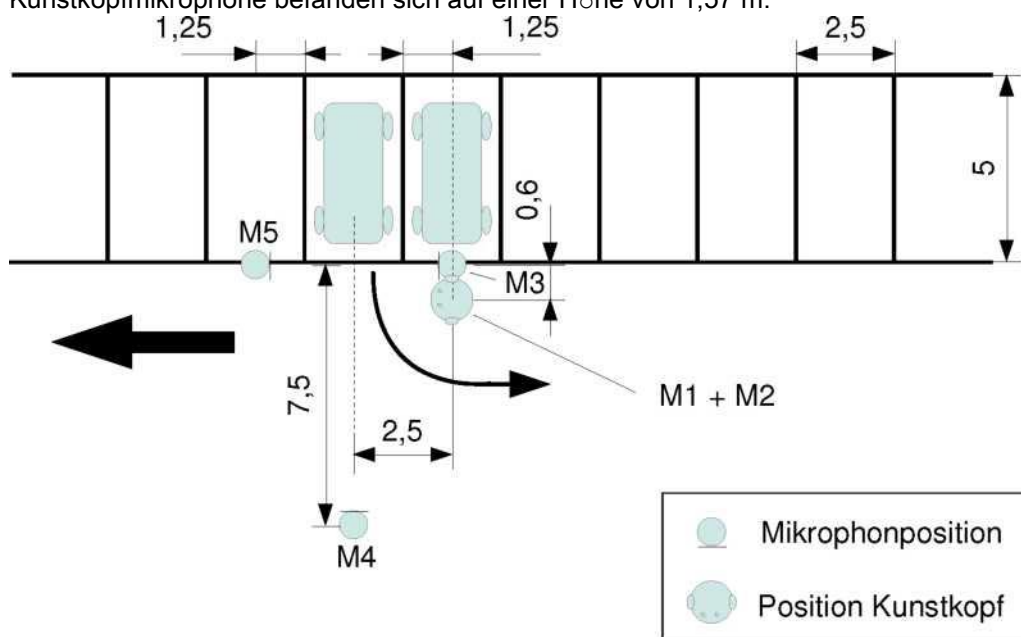


Abbildung 13: Messaufbau für Parkplatzsituationen (alle Angaben in Meter)



Abbildung 14: Aufnahme einer Parkplatzsituation

1.3.4 Ergebnisse der Messungen

Die Repräsentation der Messergebnisse erfolgt nach folgenden Konventionen: soll eine Messgröße möglichst dem Höreindruck des Menschen entsprechen, so wurden die Aufnahmen des Kunstkopfes herangezogen. Dadurch wird der Einfluss von Schulter, Ohrmuschel und Gehörkanal berücksichtigt. Wenn eine Vergleichbarkeit mit konventionellen Mikrophonaufnahmen wichtig ist, haben die Autoren Aufzeichnungen der Mikrophone ausgewertet.

1.3.4.1 Maximaler Vorbeifahrtspegel bei konstanten Vorbeifahrten

Für die Bestimmung der maximalen Vorbeifahrtspegel wurden für die Geschwindigkeiten 10, 20, 30, 40, 50 km/h die Kunstkopfmikrophone sowie das Mikrophon in 1,5 m Entfernung ausgewertet.

Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse für alle 4 ausgewählten Fahrzeuge - gemessen mit dem Kunstkopf. Folgende Aussagen können über die verschiedenen Geschwindigkeiten gemacht werden:

- Bei 10 km/h ist eine deutliche Pegeldifferenz zwischen E-Kfz und V-Kfz erkennbar. Zwischen Toyota Verso und dem Mitsubishi i-MiEV beträgt der Unterschied im extremsten Fall 21,7 dB(A). Es muss jedoch an dieser Stelle auch erwähnt werden, dass das genannte V-Kfz deutlich älter ist als alle anderen Fahrzeuge. Die Differenz zwischen Mitsubishi i-MiEV und BMW X3 beträgt bei 10 km/h maximal 16,8 dB(A). Der Unterschied zwischen altem und neuerem V-Kfz liegt bei 5,3 dB(A). Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf das Motorgeräusch zurückzuführen, das bei 10 km/h im Regelfall den größten Anteil zur Geräuschemission beiträgt [7].
- Für 20 km/h liegt der maximale Vorbeifahrtspegel des Mitsubishi i-MiEV im extremsten Fall 8,0 dB(A) unter jenem des BMW X3. Die maximale Differenz zwischen Toyota Verso und i-MiEV beträgt 10,4 dB(A). Der leicht niedrigere Pegel des Verso bei 20 km/h im Vergleich zu 10 km/h liegt laut Ansicht der Autoren daran, dass bei der höheren Geschwindigkeit die Motordrehzahl durch den 2. Gang niedriger ist als bei 10 km/h im 1. Gang.
- Im Geschwindigkeitsbereich von 30-50 km/h wird der Unterschied zwischen den maximalen Vorbeifahrtspegeln immer geringer. Ab 40 km/h liegt der Pegel des Toyota Verso gerade noch 0,8 dB(A) über dem des Renault Fluence. Aufgrund seiner Größe und dem daraus resultierenden geringeren Luftwiderstand liegen die Ergebnisse in diesem Bereich für den Mitsubishi i-MiEV im

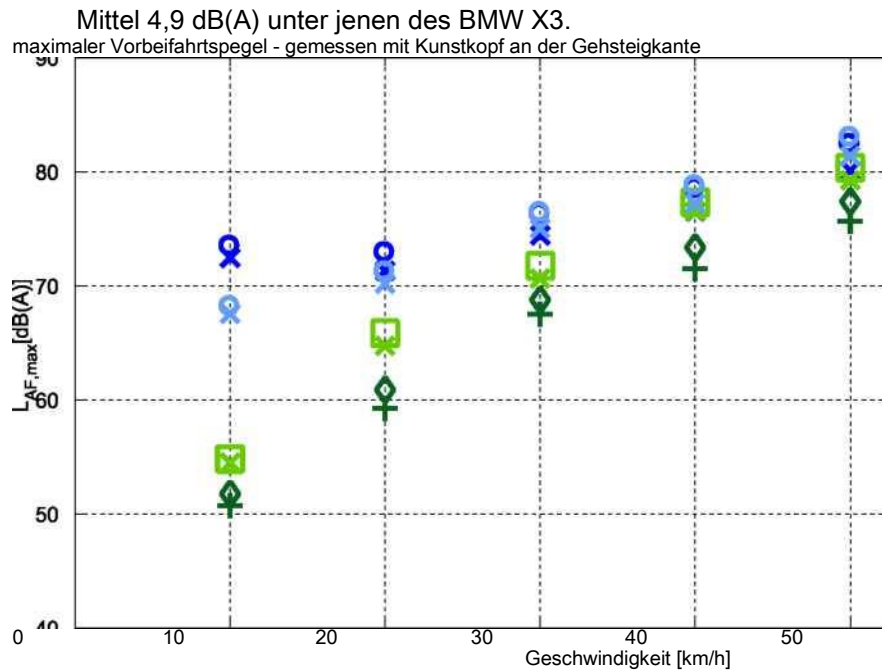


Abbildung 15: gemessener maximaler Vorbeifahrtspegel bei konstanter Geschwindigkeit mit dem Kunstkopf (M1+M2) aus 1,8m Entfernung - gemittelt über 3 Vorbeifahrten

Toyota Verso O linkes Ohr X rechtes Ohr

BMW X3 linkes Ohr rechtes Ohr

Renault Fluence □ linkes Ohr rechtes Ohr

Mitsubishi i-MiEV ◊ linkes Ohr + rechtes Ohr

Die maximalen Vorbeifahrtspegel für das Mikrophon in 1,8 m Entfernung (siehe Abbildung 16) zeigen ähnliche Tendenzen wie die Ergebnisse mit dem Kunstkopf:

- Für 10 km/h liegt der maximale Vorbeifahrtspegel des Toyota Verso 19,1 dB(A) über dem des Mitsubishi i-MiEV. Die Differenz zwischen i-MiEV und BMW X3 beträgt 12,3 dB(A). Die Messergebnisse der beiden V-Kfz unterscheiden sich um 6,9 dB(A). Auch hier lässt sich der höhere Wert des Versos bei 10 km/h im Vergleich zu 20 km/h mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die niedrigere Drehzahl im 2. Gang zurückführen.
- Bei 20 km/h liegt der maximale Vorbeifahrtspegel des Mitsubishi i-MiEV im extremsten Fall 8,5 dB(A) unter jenem des BMW X3. Die maximale Differenz zwischen Toyota Verso und i-MiEV beträgt 9,3 dB(A).
- Im Geschwindigkeitsbereich von 30-50 km/h wird der Unterschied zwischen den maximalen Vorbeifahrtspegeln immer geringer. Für 40 km/h liegt der Pegel des Renault Fluence sogar um 0,1 dB(A) über dem des Toyota Verso. Diese Differenz liegt jedoch schon weit im Bereich der Messunsicherheit - zudem kann davon ausgegangen werden, dass die Messergebnisse des

Kunstkopfes eher der empfundenen Lautstärke entsprechen.
maximaler Vorbeifahrtspegel - gemessen mit Mikrophon an der Gehsteigkante

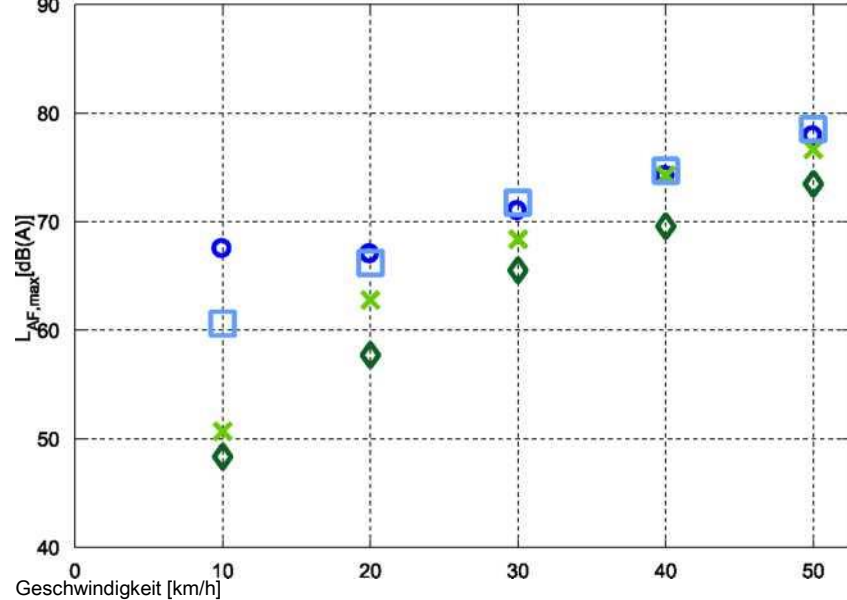


Abbildung 16: gemessener maximaler Vorbeifahrtspegel bei konstanter Geschwindigkeit mit dem Mikrophon aus 1,8m Entfernung (M3) - gemittelt über 3 Vorbeifahrten

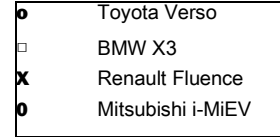


Abbildung 17 zeigt die Ergebnisse aus 7,5 m Entfernung. Die Vorbeifahrtspegel der E-Kfz lagen für 10 km/h bereits unter dem Hintergrundgeräusch und konnten deshalb messtechnisch nicht mehr identifiziert werden.

maximaler Vorbeifahrtspegel - gemessen mit Mikrophon aus 7,5m Entfernung

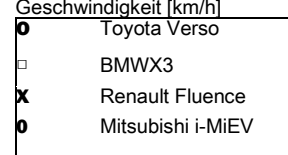
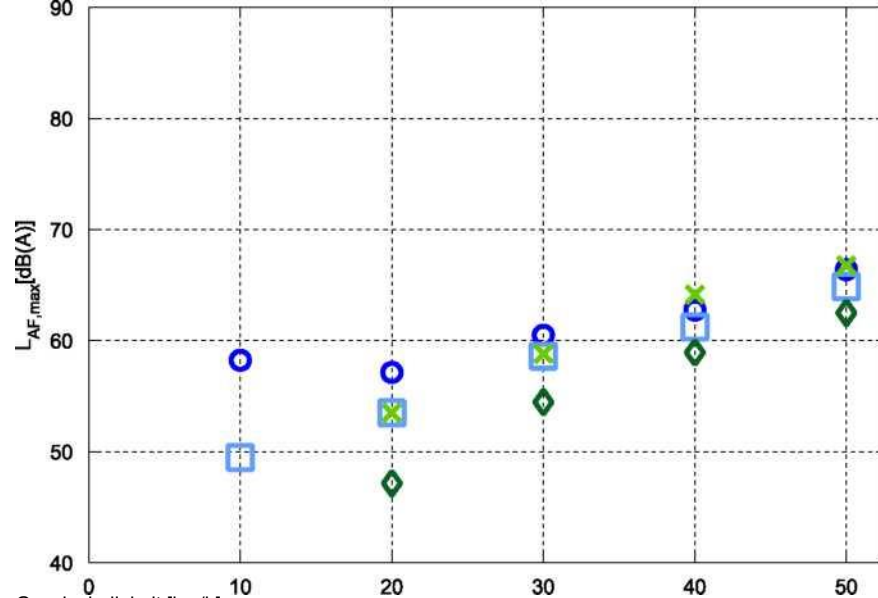


Abbildung 17: gemessener maximaler Vorbeifahrtspegel bei konstanter Geschwindigkeit mit dem Mikrophon aus 7,5 m Entfernung (M4) - gemittelt über 3 Vorbeifahrten

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die maximalen Vorbeifahrtspegel der ausgewählten E-Kfz sowohl beim Kunstkopf als auch beim Mikrophon aus 1,8 m Entfernung bis 30 km/h klar unter jenen der ausgewählten V-Kfz liegen. Für Geschwindigkeiten darüber kann davon ausgegangen

werden, dass das Reifen-Fahrbahngeräusch immer dominanter wird [7] - deshalb sind die Unterschiede zwischen dem Renault Fluence und den V-Kfz bei 40 km/h im 3 dB(A)-Bereich (Kunstkopfmessungen).

Die Werte des kleineren Mitsubishi i-MiEV liegen aufgrund seiner Abmessungen und möglicherweise auch wegen seiner Bereifung auch bei höheren Geschwindigkeiten unter jenen der drei anderen Fahrzeuge. Hier wäre eine Vergleichsmessung mit einem V-Kfz gleicher Bauart sehr interessant. Weiters darf an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass der maximale Vorbeifahrtspegel mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit immer dann gemessen wird, wenn das Fahrzeug sich bereits knapp vor dem Mikrophon/Kunstkopf befindet - oder sogar schon auf einer Linie mit dem Sensor ist (siehe Abbildung 8). In einer realen Verkehrssituation muss ein Fahrzeug wesentlich früher erkannt werden. Zudem zieht das menschliche Gehör zur akustischen Wahrnehmung und Zuordnung bestimmter Geräusche nur zu einem Teil die wahrgenommene Gesamtlautstärke heran. Vielmehr wertet das Gehör auch die Frequenzzusammensetzung des Geräusches aus.

Für einen anschaulichen Vergleich kann das Heraushören einzelner Instrumente in der Musik herangezogen werden. Das Gehör ist dabei in der Lage, die charakteristische Teiltonzusammensetzung (auch Frequenzzusammensetzung genannt) der verschiedenen Instrumente zu identifizieren. So kann der Mensch aus einem scheinbaren Gemisch aus Klängen zwischen Streichinstrumenten, Blechblasinstrumenten usw. differenzieren. Ein vergleichbarer Vorgang findet im Verkehr statt, wenn das Gehör aus einer Geräuschkulisse ein herannahendes Auto aufgrund seiner charakteristischen Frequenzzusammensetzung identifiziert. Aus diesem Grund wird im nächsten Abschnitt die Frequenzzusammensetzung bzw. das Frequenzspektrum der Vorbeifahrten analysiert.

1.3.4.2 Frequenzspektrum bei konstanten Vorbeifahrten

Für den Vergleich der Frequenzzusammensetzung wurden linkes und rechtes Ohr des Kunstkopfes herangezogen. Als Darstellungsart wurde eine Fouriertransformation mit einer Länge von 4096 Samples bei einer Abtastfrequenz von 48 kHz gewählt. Die Fouriertransformation bietet gegenüber der Terzbandanalyse den Vorteil, dass schmalbandige Frequenzkomponenten speziell im hochfrequenten Bereich besser identifiziert werden können. An dieser Stelle soll jedoch auch angemerkt werden, dass die Spektren nur untereinander sinnvoll in Relation gesetzt werden können. Ein Vergleich des Absolutwertes einer Frequenzkomponente mit z.B. einem maximalen Vorbeifahrtspegel ist also nicht aussagekräftig.

Als Beispiel wurde die Vorbeifahrt mit 20 km/h analysiert. In Abbildung 18 ist dazu eine Vorbeifahrt des BMW X3 auf verschiedene Arten dargestellt. Das oberste der drei Diagramme zeigt den fast-bewerteten Schalldruckpegelverlauf von linkem und rechtem Ohr, in Abhängigkeit des Abstandes zwischen Fahrzeugvorderkante und Kunstkopf. Darunter befinden sich die Spektrogramme in Abhängigkeit des Abstandes. Je nach Intensität sind die Frequenzbereiche verschieden eingefärbt (siehe auch Farbbalken rechts von den Diagrammen).

Bei der Betrachtung des Frequenzspektrums in Abhängigkeit des Abstandes am linken Ohr können insgesamt drei interessante Bereiche identifiziert wurden (weiß eingekreist). Zwischen 40 und 50 Hz lässt sich über die gesamte Distanz ein verhältnismäßig hoher Schalldruckpegel feststellen. Dieser stammt mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit vom Motor des Fahrzeuges. Deshalb ist es auch nicht weiter verwunderlich, dass bei ca. 100 Hz¹⁰ die

1. Harmonische der Motorgrundschiwingung erkennbar ist. Sie ist jedoch schwächer ausgeprägt und deshalb erst ab 20 m vor dem Vorbeifahrtspunkt messbar. Der dritte Bereich befindet sich in der Region von 9 - 15 kHz. Hier sind zwei Anhebungen um 9-10 kHz und bei 13 kHz vorhanden, die als Ursprung des Motorgeräusch oder Luftverwirbelungen am Fahrzeug haben

Zum Vergleich - die Grundfrequenz des tiefst spielbaren Ton einer Gitarre in Standardstimmung besitzt eine Grundfrequenz von 82,4 Hz.

könnten. All diese schmalbandigen Regionen mit erhöhtem Schalldruckpegel erleichtern die Wahrnehmbarkeit des Fahrzeuges.

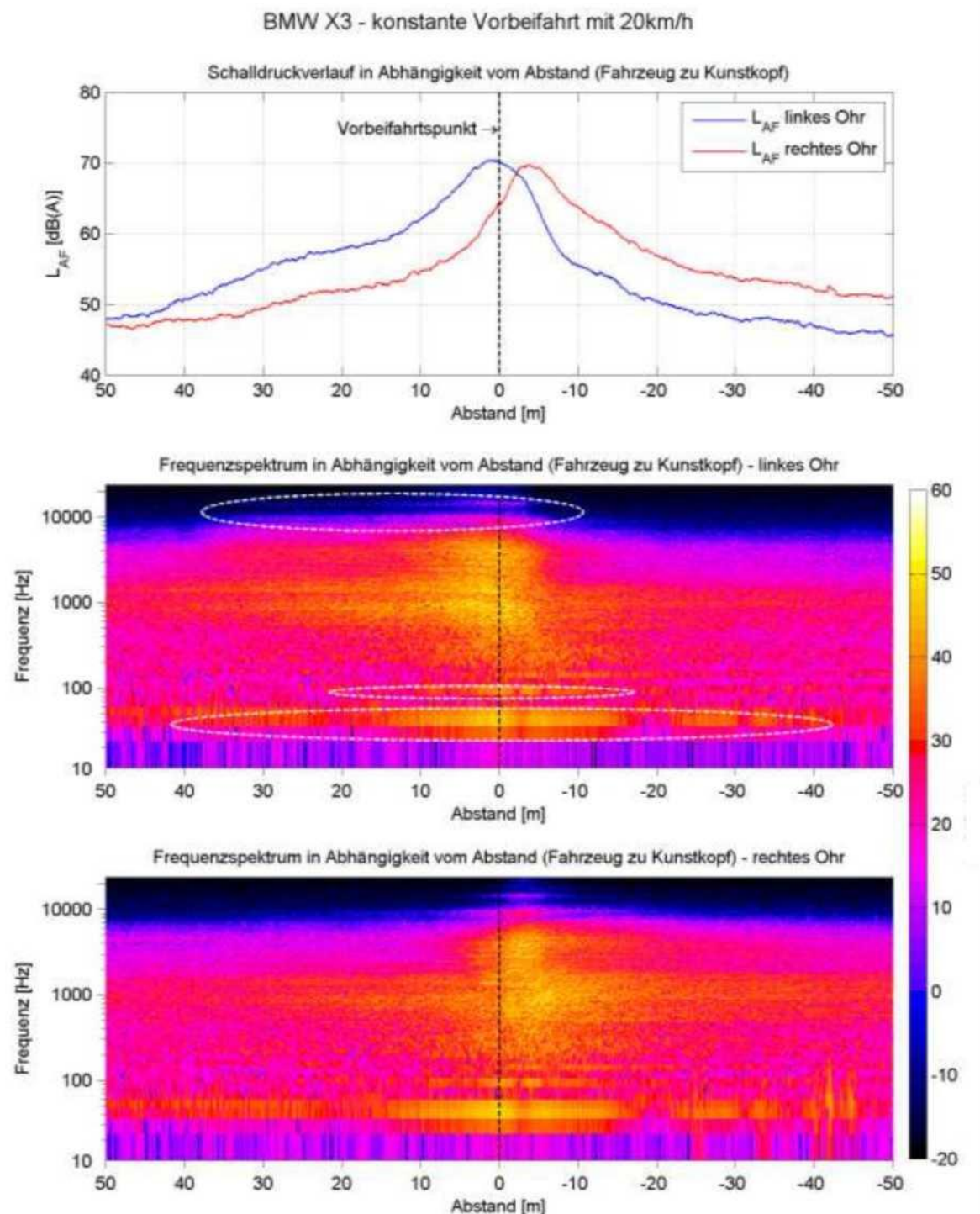
Die graphische Auswertung der restlichen Fahrzeuge befindet sich in Anhang II.

Um die Frequenzzusammensetzungen der verschiedenen Fahrzeuge untereinander vergleichen zu können, wurden alle Spektren des linken Ohrs zum Vorbeifahrtszeitpunkt ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 19 graphisch dargestellt.

Auch beim Toyota Verso ist die Grundschiwingung des Motors zwischen 30 und 40 Hz sowie die 1. Harmonische um 70 Hz herum erkennbar. Im Bereich von 9-10 kHz und 14-15 kHz sind ebenfalls leichte Erhöhungen erkennbar.

Das Spektrum des Renault Fluence muss mit Vorsicht interpretiert werden, da während der Messung das Geräusch einer Industrieanlage deutlich wahrnehmbar war. Trotzdem ist gut erkennbar, dass der tieffrequente Bereich durch das Wegfallen des klassischen Motorgeräusches eine niedrigere Intensität aufweist als bei den V-Kfz.

Bemerkenswert sind die starken Erhöhungen im Spektrum des Mitsubishi i-MiEV zwischen 14 und 15 kHz sowie um 20 kHz herum. Letztere liegt jedoch aufgrund ihrer Höhe bereits am Rande des menschlichen Hörvermögens. Zudem kann aus dem Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Abstandes (siehe Anhang II) entnommen werden, dass eine dritte Erhöhung zwischen 6 und 7 kHz vorhanden ist. Wie sich während des Hörversuches herausgestellt hat, sind diese hochfrequenten Anhebungen dem Elektroantrieb zuzuordnen und konnten von Versuchspersonen insgesamt klar als hohes „Surren“ wahrgenommen werden. Es darf jedoch auch nicht unerwähnt bleiben, dass die Werte des Spektrums fast durchgehend am niedrigsten sind und damit das Geräusch des i-MiEV in lauterer Umgebungen auch am leichtesten verdeckt werden kann.



L [dB(A)]

Abbildung 18: BMW bei konstanter Vorbeifahrt mit 20 km/h - Schalldruckverlauf (oben), Frequenzspektrum am linken Ohr (Mitte) und Frequenzspektrum am rechten Ohr (unten) in Abhängigkeit des Abstandes zwischen Fahrzeug und Kunstkopf. Erläuterungen zu den weiß markierten Bereichen befinden sich im Fließtext

Frequenzspektrum des linken Ohr zum Vorbeifahrtszeitpunkt - Toyota Verso

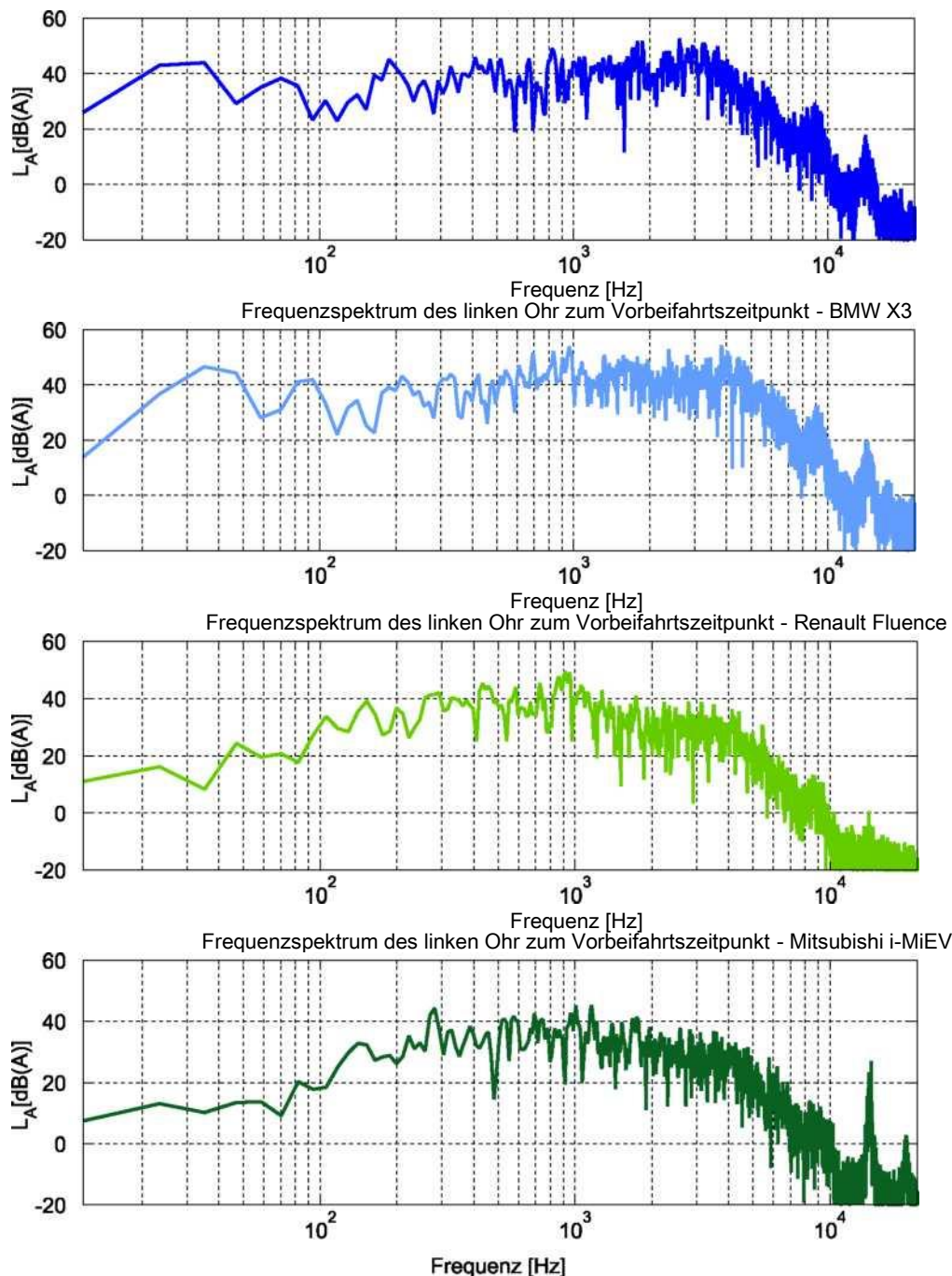


Abbildung 19: Vergleich der Frequenzspektren bei verschiedenen Fahrzeugen zum Vorbeifahrtszeitpunkt gemessen am linken Ohr

1.3.4.3 Ausparksituationen

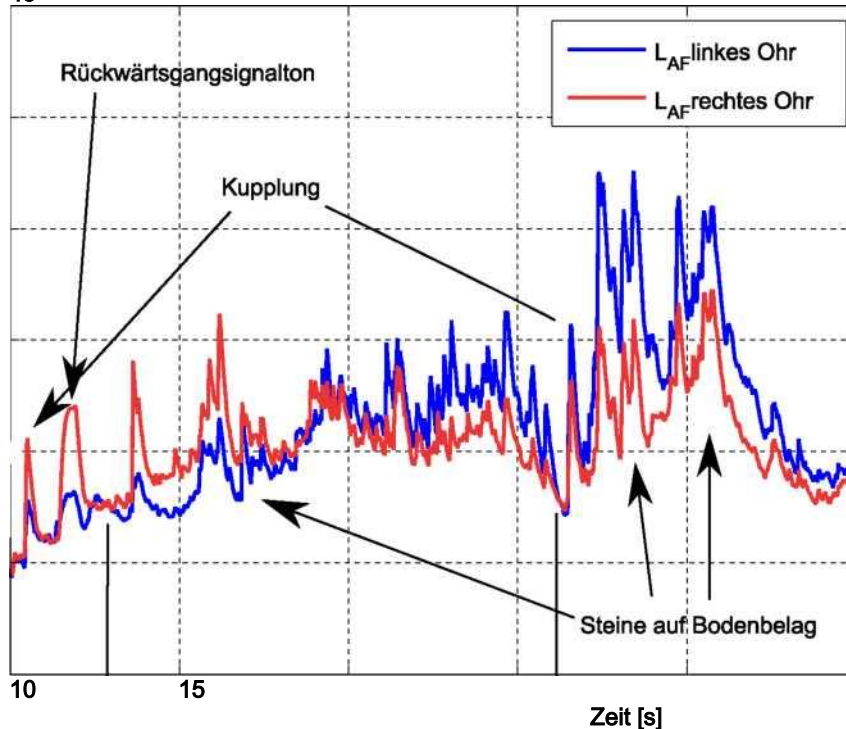
Die im vorigen Abschnitt diskutierten charakteristischen Frequenzerhöhungen der Fahrzeuge gelten auch für die Ausparkmanöver - mit Berücksichtigung der Tatsache, dass sich bei V-Kfz die Maxima durch die andere Motordrehzahl nach unten oder oben verschieben.

Da es bei den behandelten Ausparkszenarios keinen definierten Vorbeifahrtszeitpunkt gab, ist die Angabe eines maximalen Vorbeifahrtspegels nicht sinnvoll. Stattdessen soll an dieser Stelle der zeitliche Schalldruckpegelverlauf eines ausgewählten Fahrzeuges diskutiert werden. Abbildung 20 zeigt den gemessenen Verlauf beim Renault Fluence. Die Geschwindigkeit lag während des gesamten Manövers unter 10 km/h. Auf einen Motorstart wurde bei den E-Kfz verzichtet, da dieser geräuschlos stattfand. Erst das Kupplungsgeräusch des Fahrzeugs gefolgt vom im Fahrzeuginneren abgespielten Rückwärtsgangsignalton waren messbar. Auffallend sind auch die deutlichen Pegelspitzen durch kleine Steine am Asphalt, die vom Fluence während des Manövers

überfahren wurden.

Renault Fluence - Ausparkszenario ohne Motorstart

65
60
2,55
<
50 -
45



20
70
40
25

Auto fährt weg

Auto fährt zurück

Abbildung 20: zeitlicher Schalldruckpegelverlauf eines Ausparksmanövers mit dem Renault Fluence

1.4 Aufnahme der Hintergrundgeräusche

Die Aufnahme von Hintergrundgeräuschen diente im Rahmen dieses Projektes in erster Linie dem Hörversuch, da die Verkehrssituationsaufnahmen mit verschiedenen Umgebungsgeräuschen hinterlegt wurden. Motivation und Auswahl der insgesamt 4 verschiedenen Umgebungen wurden bereits in Abschnitt 1.2.8 diskutiert. Deshalb folgt an dieser Stelle eine genauere Beschreibung der Aufnahmeorte sowie der verwendeten Messgeräte.

1.4.1 Überblick über die Aufnahmeorte und das Messsetup

Um eine möglichst realitätsnahe Aufnahme mit geringer Beeinflussung der Umgebung zu realisieren, wurde ein binaurales Headset verwendet. Dieses bietet die Vorteile der kopfbezogenen Aufnahmetechnik und kann von jeder Person getragen werden.



Abbildung 21: verwendetes binaurales Headset für die Umgebungsausgeräuschaufnahmen - Quelle des Bildes: <http://www.head-acoustics.de> [8]

Als Rahmenbedingungen für die Messungen wurden folgende Bedingungen für die Aufzeichnungen eingehalten:

- kein Niederschlag
- trockene Fahrbahn
- Windgeschwindigkeit kleiner als 5 m/s
- Lufttemperatur 15-30°C

Wenn nicht anders vermerkt, befand sich die Messposition an jedem Ort an einer Gehsteigkante, an der ein/e FußgängerIn die Straße queren konnte. Weitere Einzelheiten können aus den nachfolgenden Beschreibungen entnommen werden.

Tabelle 5: Lage und Beschreibung der Orte für die Aufnahme von Hintergrundgeräuschen



Satellitenbild (Quelle: Google Maps)
Bezeichnung der Umgebung und Details
Seitenstraße in städtischem Gebiet mit
regelmäßigem Verkehrsaufkommen

- Aufnahmeort: Schleifgasse 12,
1210 Wien

- Aufnahmezeitpunkt:
14.09.2012
- Windgeschwindigkeit: <3m/s, aber
kaum windstill
- Umgebungstemperatur:
15°C
- zulässige Höchstgeschwindigkeit:
30 km/h
Durchzugsstraße in städtischem Gebiet
mit durchgehendem Verkehrsaufkommen
- Aufnahmeort: Brünnerstraße 73A,
1210 Wien
- Aufnahmezeitpunkt:
14.09.2012
- Windgeschwindigkeit:
<3m/s, windberuhigte Messposition
gewählt.
- Umgebungstemperatur:
15°C
- zulässige Höchstgeschwindigkeit:
50 km/h
Bezeichnung der Umgebung und Details



Satellitenbild (Quelle: Google Maps)
Seitenstraße in innerstädtischen Gebiet
mit regelmäßigem Verkehrsaufkommen
und Passanten

- Aufnahmeort: Wollzeile 5, 1010
Wien

- Aufnahmezeitpunkt:

27.08.2012

- Windgeschwindigkeit:

<3 m/s, meist windstill

- Zulässige Höchstgeschwindigkeit:

30 km/h

Parkplatz neben einer Durchzugsstraße
mit durchgehendem Verkehrsaufkommen

- Aufnahmeort: Siemensstraße 103,
1210 Wien, Parkplatz (Supermarkt)

- Aufnahmezeitpunkt:

12.09.2012

- Windgeschwindigkeit:

<3 m/s

- Umgebungstemperatur: 20°C

1.4.2 Akustische Kenngrößen der Hörversuchshintergrundgeräusche

Die Klassifizierung der für den Hörversuch verwendeten Zeitausschnitte aus den Hintergrundgeräuschen soll Informationen über die Geräuschkulissen liefern und dient in weiterer Folge der Vergleichbarkeit mit anderen Studien zu diesem Thema. Dafür wurden die akustischen Kenngrößen $L_{A,95}$ (Basispegel), $L_{A,1}$ (mittlere Spitzenpegel) sowie $L_{A,eq}$ (energieäquivalente Dauerschallpegel) ausgewählt - wobei letztere eine im Lärmschutz verbreitete Messgröße ist. Der Basispegel gibt jenen Schalldruckpegel (L_{AF}) an, der in 95% des Messzeitraumes überschritten wurde. Er kann auch als „Mindestlautstärke“ des Hintergrundgeräusches interpretiert werden. Aus der Sicht der Statistik kann man den $L_{A,95}$ auch als 5%-Perzentil der L_{AF} -Verteilung (=Verteilung der Zufallsvariable) auffassen.

Tabelle 6: Kenngrößen der Hörversuchshintergrundgeräusche

Messgröße	Hintergrundgeräusch			
	ländliche Gegend	städtische Seitenstraße	innerstädtische Seitenstraße	Durchzugsstraße
$L_{A,eq}$	*	55,6 dB(A)	60,0 dB(A)	75,8 dB(A)
$L_{A,95}$	*	49,5 dB(A)	55,3 dB(A)	60,8 dB(A)
$L_{A,1}$	*	65,5 dB(A)	67,7 dB(A)	84,7 dB(A)

Vergleichbare Angabe nicht möglich, da Hintergrundgeräusch ein Teil der Fahrzeugaufnahmen war. Als Richtwert kann jedoch angegeben werden, dass sich der Schalldruckpegel (L_{AF}) des reinen Hintergrundgeräusches im Bereich von 35 dB(A) und 47 dB(A) bewegte.

1.5 Durchführung des Hörversuches

Der vorliegende Abschnitt befasst sich mit der Durchführung des Hörversuches und Analyse der Ergebnisse. Eine detaillierte Beschreibung des Konzeptes zum Hörversuch befindet sich bereits in Abschnitt 1.2.

1.5.1 Zusammensetzung der Versuchspersonengruppe

Um ein statistisch aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen, wurden insgesamt 105 Versuchspersonen rekrutiert. Davon waren 14 Personen mit sehr schwacher oder keiner visuellen Wahrnehmungsfähigkeit, wodurch eine gesonderte Untersuchung dieser Risikogruppe ermöglicht wurde.

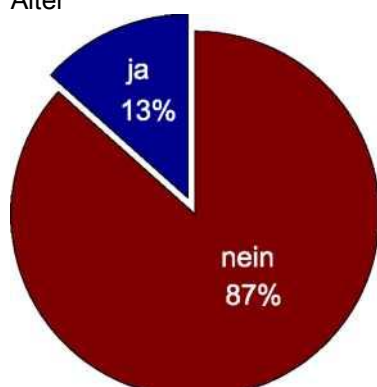
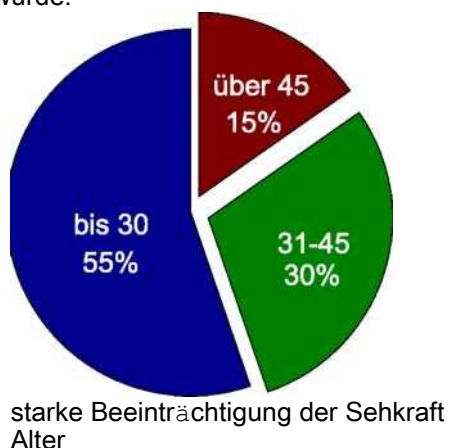


Abbildung 22: Anteil von Personen mit starker Sehbeeinträchtigung (links) und Altersverteilung der Versuchspersonengruppe (rechts)

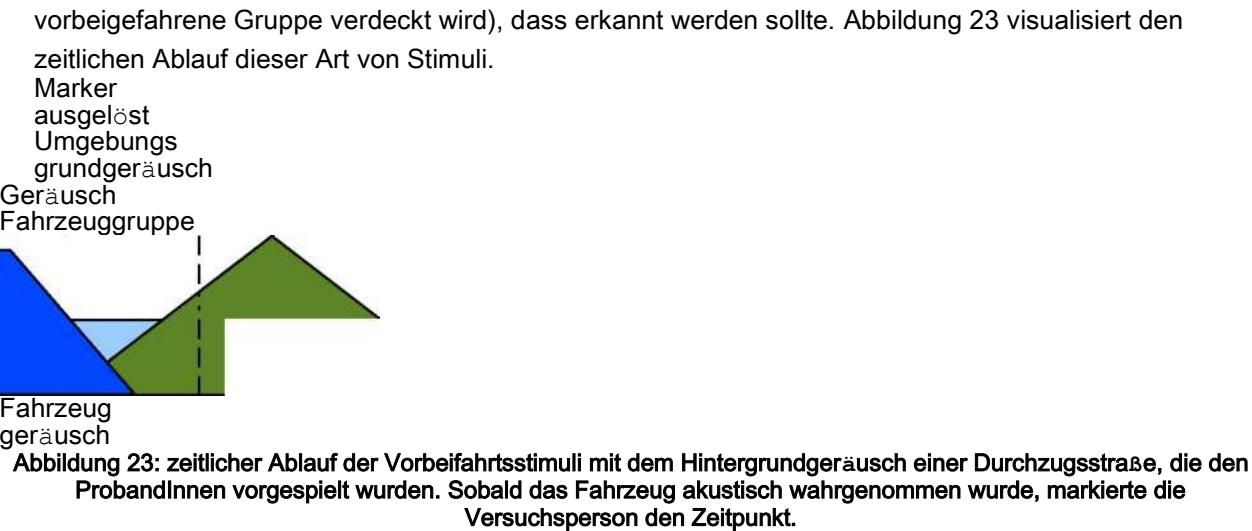
1.5.2 Stimuli für den Hörversuch

Wie bereits in Abschnitt 1.2.5 erwähnt, setzte sich eine Verkehrssituationsaufnahme mit einem bestimmten Hintergrundgeräuschaufnahme zusammen. Im Rahmen Gesamtaufnahme ab sofort als Stimulus bezeichnet.

Gesamtaufnahme aus einer Fahrzeug sowie einer dieses Kapitels wird eine

Eine Übersicht über die insgesamt 36 ausgewählten Stimuli gibt Tabelle 7. In jeder akustisch nachgestellten Vorbeifahrtssituation befand sich die Versuchsperson an der Gehsteigkante (siehe auch Abbildung 4, Seite 13) - bei einer Parkplatzsituation stand die Person hinter einem Auto wie in Abbildung 5, Seite 14 dargestellt.

Die Aufgabenstellung an die Versuchspersonen entsprach jener aus Abschnitt 1.2.4, ausgenommen für Vorbeifahrtssituationen mit dem Hintergrundgeräusch einer Durchzugsstraße. Hier wurde folgende Situation angenommen: der/die Verkehrsteilnehmer(in) wartet zuerst das Vorbeifahren eine Gruppe von Autos ab. Anschließend kommt ein einzelnes Fahrzeug (das noch teilweise durch die



i
CD
:Cü
(П
3
Cü
Zeit

Tabelle 7: ausgewählte Stimuli und ihre Zusammensetzung

Stimuluszusammensetzung			BMW X3	Mitsubishi i-MiEV
kein Hintergrund geräusch	Vorbeifahrts situation	v = 10 km/h	■/	■/
		v = 20 km/h	■/	■/
		v = 30 km/h	■/	■/
		Ampelstart aus 100 m	■/	■/
	Parkplatz situation	rückwärts ausparken	■/	■/
Hintergrund- geräusch einer	Vorbeifahrts situation	v = 10 km/h	■/	■/
		v = 20 km/h	■/	■/

städtischen Seitenstraße		v =30 km/h	■/	■/
		Ampelstart aus 100 m	■/	■/
Hintergrund- geräusch einer innerstädtischen Seitenstraße	Vorbeifahrts situation	v =10 km/h	■/	■/
		v = 20 km/h	■/	■/
		v =30 km/h	■/	■/
		Ampelstart aus 100 m	■/	■/
Hintergrund- geräusch einer Durchzugsstraße	Vorbeifahrts situation	v = 30 km/h	■/	■/
		v = 40 km/h	■/	■/
		v = 50 km/h	■/	■/
		Ampelstart aus 100 m	■/	■/
	Parkplatz situation	rückwärts ausparken	■/	■/

1.5.3 Zeitlicher Ablauf

Die folgende Tabelle zeigt die zeitliche Einteilung der Versuchspersonen an den verschiedenen Terminen:

Tabelle 8: zeitliche Einteilung der Versuchspersonen

Termin	Organisation der Probanden	Teilnehmer
08.11.2012	KFV	13
09.11.2012	KFV	15
13.11.2012	BSVÖ	7
14.11.2012	BSVÖ	9
22.11.2012	AIT	15
23.11.2012	AIT	16
27.11.2012	AIT	15

30.11.2012	AIT	15
Summe aller Probanden		105

Der zeitliche Ablauf des Hörversuches kann aus Abschnitt 1.2.11 entnommen werden. In Anhang III befindet sich die Vorlage des Fragebogens (Quelle: KfV).

In Anhang IV befindet sich der Leitfaden zur Durchführung des Hörversuches.

1.6 Ergebnisse des Hörversuches

1.6.1 Wahrnehmungsentfernung / Wahrnehmungszeitpunkt in Abhängigkeit des Hintergrundgeräusches

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des Hörversuches präsentiert und analysiert. Die Wahrnehmungszeitpunkte wurde dabei auf zwei verschiedene Arten dargestellt. Die Angabe als verbleibende Zeit in Sekunden, bis das Fahrzeug die Versuchsperson erreicht hat (Wahrnehmungszeitpunkt), ist für ungeschützte Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer (Fußgänger am Straßenrand) relevant. Aus Sicht der Fahrzeuglenkerin oder des Fahrzeuglenkers ist die Angabe des verbleibenden Abstands zur Versuchsperson zum Wahrnehmungszeitpunkt (Wahrnehmungsentfernung) sinnvoller, da so bei einer bestimmten Geschwindigkeit auch der Bremsweg berücksichtigt werden kann. Letztere Darstellungsform wurde für alle Grafiken in diesem Abschnitt gewählt.

Eine Zusammenfassung aller graphischen Repräsentationen der Resultate mit den verschiedenen Hintergrundgeräuschen befindet sich in Anhang V. Zudem beinhaltet dieser Anhang auch die Darstellung der Ergebnisse als Wahrnehmungszeitpunkte¹¹

Die nachfolgenden Tabellen stellen eine Zusammenfassung der Ergebnisse des Hörversuches dar. Sie zeigen die Differenz der Wahrnehmungsentfernungen bzw. Wahrnehmungszeitpunkte zwischen Mitsubishi i-MiEV (E-Kfz) und BMW X3 (V-Kfz). Bei den Wahrnehmungsentfernungen bzw. Zeitpunkten handelt es sich um den Median über die Ergebnisse von allen Versuchspersonen. Eine genauere Diskussion und Interpretation der Ergebnisse für die ländliche Gegend sowie die innerstädtische Seitenstraße werden in den nächsten beiden Abschnitten behandelt.

Tabelle 9: Differenz des Medians der Wahrnehmungszeitpunktverteilungen / Wahrnehmungsentfernungsverteilungen zwischen BMW X3 und Mitsubishi i-MiEV bei konstanter Vorbeifahrt für verschiedene Hintergrundgeräuschen

verschiedene Hintergrundgeräusche						
Umgebungs- geräusch	ländliche Gegend		städtische Seitenstraße		innerstädtische Seitenstraße	
Verkehrssituation / Ergebnis	Zeit differenz	Entfernungs- differenz	Zeit differenz	Entfernungs- differenz	Zeit differenz	Entfernungs- differenz
Vorbeifahrt 10 km/h	10,0 s	27,7 m	9,8 s	27,2 m	7,2 s	20,1 m
Vorbeifahrt 20 km/h	1,5 s	8,6 m	4,2 s	23,4 m	3,6 s	20,0 m

¹¹

Jede Wahrnehmungsentfernung kann bei einer Vorbeifahrt mit konstanter Geschwindigkeit auch in einen Wahrnehmungszeitpunkt umgerechnet werden

Vorbeifahrt 30 km/h	2,2 s	18,5 m	2,9 s	24,6 m	2,9 s	24,1 m
---------------------	-------	--------	-------	--------	-------	--------

Tabelle 10: Differenz des Medians der Wahrnehmungszeitpunktverteilungen / Wahrnehmungsentfernungsverteilungen zwischen BMW X3 und Mitsubishi i-MiEV bei konstanter Vorbeifahrt für das Hintergrundgeräusch einer Durchzugsstraße

Umgebungsgeräusch	Durchzugsstraße	
Verkehrssituation / Ergebnis	Zeit differenz	Entfernungs differenz
Vorbeifahrt 30 km/h	2,7 s	22,2 m
Vorbeifahrt 40 km/h	1,4 s	15,6 m
Vorbeifahrt 50 km/h	1,2 s	16,4 m

Tabelle 11: Differenz des Medians der Wahrnehmungszeitpunktverteilungen zwischen BMW X3 und Mitsubishi i-MiEV beim Ausparkmanöver für verschiedene Hintergrundgeräusche

ländliche
Gegend
Umgebungsgeräusch
Durchzugs
straße
Zeit
differenz
Zeit
differenz

Verkehrssituation / Ergebnis

6,8 s
4,5 s
rückwärts
ausparken mit
Motorstart

1.6.1.1 Ruhige Seitenstraße in ländlicher Gegend

Abbildung 24 zeigt die Verteilung der Wahrnehmungsentfernungen der Versuchspersonen über die vertikale Achse. Die Darstellung erfolgt dabei auf zwei verschiedene Arten - zum einen als Boxplot in dem sich 50% aller Wahrnehmungsentfernungen (grün bzw. blau eingerahmte Fläche) befinden. Ausreißer sind als schwarze Punkte außerhalb der Box eingezeichnet. Zudem wurde jeder Boxplot von einem sogenannten Violinenplot (weiße Fläche) umrahmt. Dieser zeigt eine geschätzte Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der Wahrnehmungsentfernungen, die um eine vertikale Linie aufgetragen und gespiegelt ist. Eine ausgeprägter „Berg“ in einem Violinenplot steht also für einen Bereich, in dem verhältnismäßig viele Versuchspersonen den Auslöser betätigten. Der Median der Verteilung ist als dicke horizontale Linie eingetragen.

Die Wahrnehmungsentfernungen beziehen sich immer auf den Vorbeifahrtspunkt (Vorderkante des Fahrzeugs erreichte die an der Gehsteigkante stehende Person - im Diagramm als VP bezeichnet). Am oberen Ende der vertikalen Achse ist jene Anzahl von Personen in Prozent angeführt, die den Auslöser überhaupt nicht betätigten. An jedem diskreten Punkt der horizontalen Achse befindet sich die Verteilung der Wahrnehmungsentfernungen für ein bestimmtes Szenario/Stimulus.

Betrachtet man die Ergebnisse des Szenarios in Abbildung 24, so können folgende Aussagen

gemacht werden:

- Die Wahrnehmungsentfernung ist für den BMW X3 bei 10 km/h im Mittel (=Median) um beachtliche 27,7 m größer als für den Mitsubishi i-MiEV. Anders formuliert wurde der X3 um 10 Sekunden früher⁴ erkannt.
- Der Unterschied in der Wahrnehmungsentfernung beträgt beim X3 zwischen 20 km/h und 10 km/h nur 1,5 m. Generell ist aber eher zu erwarten, dass ein Fahrzeug mit niedrigerer Geschwindigkeit immer später erkannt wird. Da hier dieser Trend nicht zu beobachten ist, wird daraus geschlossen, dass der X3 im 1. Gang ein besonders gut wahrnehmbares Motorgeräusch hat.
- Für 10 km/h ist der i-MiEV von allen Versuchspersonen vor dem Vorbeifahrtszeitpunkt erkannt worden. Der Median der Erkennungsentfernung liegt bei 11,2 m. Berücksichtigt man jedoch den Anhalteweg des Fahrzeugs, besteht in Einzelfällen bereits ein erhöhtes Unfallrisiko.

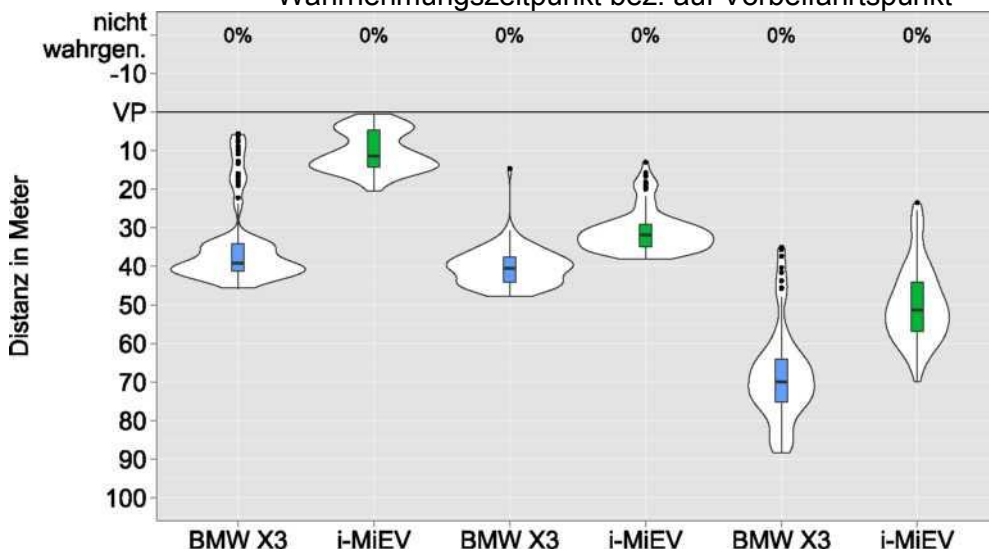
Ganz allgemein kann angemerkt werden, dass die Wahrnehmungsentfernung umso höher ist, je höher die gefahrene Geschwindigkeit ist (mit Ausnahme des BMW X3 zwischen 10 und 20 km/h).

Dieser Trend kann auch bei anderen Hintergrundgeräuschen beobachtet werden.

⁴ nach Ansicht der Autoren ist dieser extreme Unterschied mehr auf die verhältnismäßig gute Hörbarkeit des BMW X3 als auf die Wahrnehmbarkeit des Mitsubishi i-MiEV zurückzuführen

Zudem sind bei einigen Verteilungen der Wahrnehmungsentfernungen (z.B. beim i-MiEV mit 10 km/h) mehrere Maxima vorhanden. Dieser Sachverhalt wurde in Abschnitt 0 genauer untersucht.

Vorbeifahrt Seitenstraße ländliche Gegend - verbleibender Abstand zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtspunkt



Ejzl V-Kfz ^ E-Kfz

10km/h

10km/h 20km/h 20km/h 30km/h

30km/h

Abbildung 24: Verteilung der Wahrnehmungsentfernungen - ruhige Seitenstraße in ländlicher Gegend

1.6.1.2 Seitenstraße in innerstädtischer Gegend

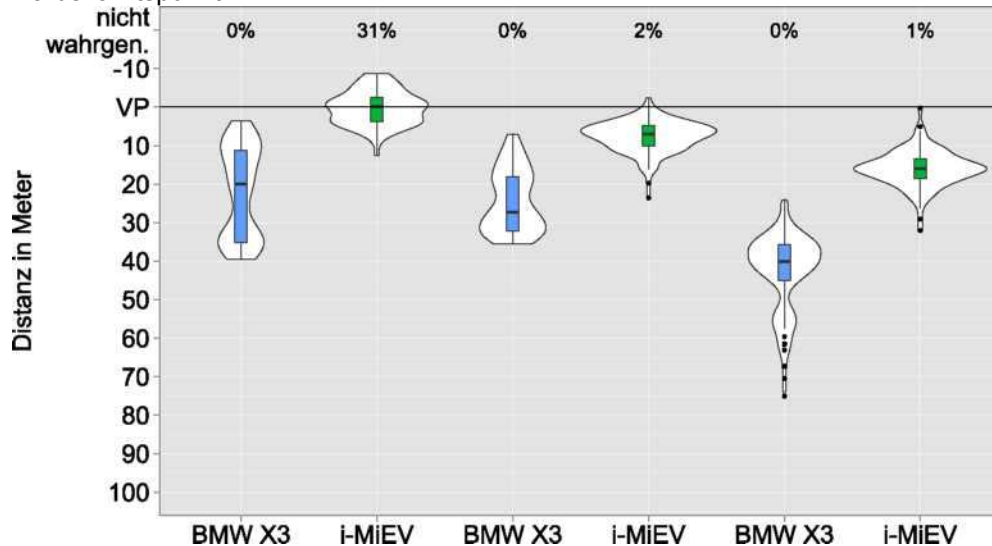
Neben dem einfachsten Fall mit (fast) keinem Hintergrundgeräusch soll in diesem Abschnitt noch die schwierigste Situation (Abbildung 25) behandelt werden - eine Straße mit hohem Grad an Nebengeräuschen und vorbeigehenden Passanten.

Der Median der Wahrnehmungsentfernung ist nun bei allen Verkehrssituationen deutlich geringer. Am meisten fällt jedoch die schlechte Detektierbarkeit des Mitsubishi i-MiEV auf. 31% der Versuchspersonen haben den Wagen akustisch überhaupt nicht erkannt. Von den restlichen 69% konnte die Hälfte das Fahrzeug erst nach dem Vorbeifahrtszeitpunkt wahrnehmen. In diesem Fall kann man aus akustischer Sicht von einem stark erhöhten Unfallrisiko sprechen.

Bei 20 km/h konnten 2% der Probanden den Mitsubishi i-MiEV überhaupt nicht wahrnehmen. Der Median der Wahrnehmungsentfernung liegt für das E-Kfz bei 6,9 m - beim BMW X3 beträgt Distanz

26,9 m. Dies entspricht bei 20 km/h einem Zeitunterschied von 3,6 Sekunden.

Vorbeifahrt Seitenstraße Innenstadt - verbleibender Abstand zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtspunkt



^ V-Kfz ○ E-Kfz

10km/h 10km/h 20km/h 20km/h

30km/h 30km/h

Abbildung 25: Verteilung der Wahrnehmungsentfernungen - Seitenstraße in innerstädtischer Gegend

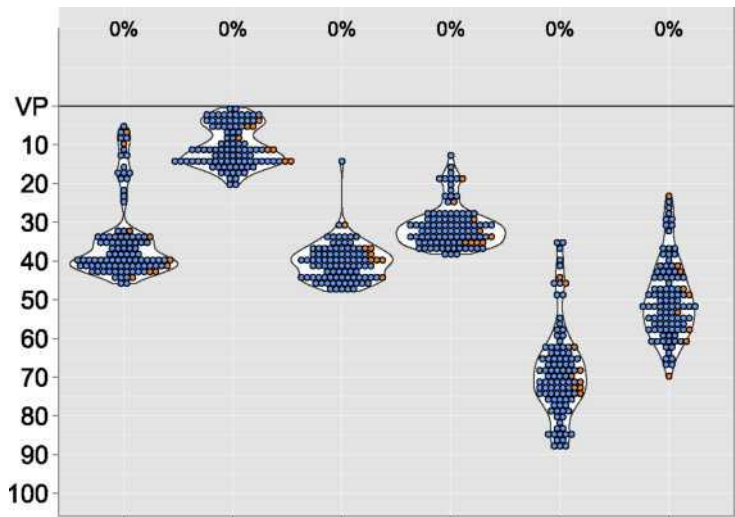
1.6.2 Vergleich zwischen Versuchspersonen mit normaler und sehr schwacher bzw. keiner visuellen Wahrnehmungsfähigkeit

Ein weiterer Aspekt in der Hörversuchsauswertung war die Berücksichtigung spezieller Risikogruppen. Konkret wird in diesem Abschnitt untersucht, ob Personen mit sehr schwacher und keiner visuellen Wahrnehmungsfähigkeit E-Kfz und V-Kfz früher oder später wahrnehmen als Personen ohne eingeschränktem Sehvermögen.

Abbildung 26 zeigt die Verteilung der Wahrnehmungsentfernungen für die ländliche Gegend. Jeder Punkt repräsentiert dabei die Wahrnehmungsentfernung einer Versuchsperson. Rot eingefärbte Ergebnisse stehen für Personen mit einer sehr schwachen/keiner visuellen Wahrnehmungsfähigkeit.

Die Ergebnisse für alle weiteren Hintergrundgeräusche sowie die Angabe der Ergebnisse in Sekunden (Wahrnehmungszeitpunkte) befinden sich Anhang VI.

Eine Gegenüberstellung der Mediane der verschiedenen Gruppen für drei Umgebungsgeräusche ist in Tabelle 12 zu sehen. Für die ländliche Gegend liegen die Wahrnehmungsentfernungen sehr eng beieinander. Nur beim Mitsubishi i-MiEV mit 10 km/h liegen die Mediane der Entfernung um 5,8 m auseinander - zugunsten der Versuchspersonen ohne eingeschränktem Sehvermögen. Bei der innerstädtischen Seitenstraße liegt die Erkennungsentfernung der Gruppe mit schwacher/nicht vorhandener visueller Wahrnehmungsfähigkeit um 3,8 m über der Gruppe ohne Sehbeeinträchtigung. Im Mittel ist die Erkennungsentfernung der Gruppe mit sehr schwacher/nicht vorhandener visueller Wahrnehmung um 0,3 m geringer. Es kann also davon ausgegangen werden, dass diese Risikogruppe aus akustischer Sicht nicht benachteiligt ist.



visuelle Wahrnehmung
O keine Beeinträchtigung Q sehr schwach/ nicht vorhanden
BMW X3 i-MiEV BMWX3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV 10km/h 10km/h 20km/h 20km/h
30km/h 30km/h

Abbildung 26: Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte - Vergleich zwischen sehenden Personen und Personen mit Sehbehinderung
Vorbeifahrt Seitenstraße ländliche Gegend - verbleibender Abstand zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtspunkt nicht wahrgen.

CCO
b
a
a
a
-10

Tabelle 12: Median der Wahrnehmungsentfernungsverteilungen nach vorhandener visueller Wahrnehmungsfähigkeit

Umgebungsgeräusch	ländliche Gegend		städtische Seitenstraße		innerstädtische Seitenstraße	
Verkehrssituation / visuelle Wahrnehmung	keine Sehbeeinträchtigung	sehr schwach/nicht vorhanden	keine Sehbeeinträchtigung	sehr schwach/nicht vorhanden	keine Sehbeeinträchtigung	sehr schwach/nicht vorhanden
BMW X3 10 km/h	38,6 m	39,3 m	32,2 m	29,2 m	19,9 m	20,3 m
i-MiEV 10 km/h	11,3 m	5,5 m	4,4 m	4,5 m	-0,2 m*	4,0 m
BMW X3 20 km/h	40,5 m	39,3 m	34,4 m	34,3 m	27,6 m	26,0 m
i-MiEV 20 km/h	31,9 m	32,0 m	11,1 m	9,9 m	7,0 m	5,8 m
BMW X3 30 km/h	70,1 m	68,0 m	49,7 m	53,0 m	40,1 m	40,2 m
i-MiEV 30 km/h	50,4 m	52,2 m	25,3 m	25,2 m	15,7 m	16,7 m

*Fahrzeug wurde erst erkannt, nachdem es die Versuchsperson schon erreicht hatte
1.6.3 Vergleich zwischen verschiedenen Altersgruppen

Die zweite untersuchte Risikogruppe umfasst ältere Verkehrsteilnehmer, da die Hörfähigkeit mit dem Alter generell abnimmt. Für die Analyse wurden die Versuchspersonen in drei Altersgruppen eingeteilt:

- bis 30 Jahre: 58 Personen
- 31 - 45 Jahre: 31 Personen

- über 45 Jahre: 16 Personen

Die Verteilungen der Wahrnehmungsentfernungen in Abbildung 27 geben einen guten Überblick, lassen jedoch noch keine quantitative Aussage zu. Deshalb sind in Tabelle 13 die Mediane für drei verschiedene Hintergrundgeräusche eingetragen. Im Mittel ist die Erkennungsentfernung der Gruppe der über 45-Jährigen sogar um 0,2 m geringer als die der jüngsten Altersgruppe. Auch wenn die Stichprobe der ältesten Gruppe verhältnismäßig klein ist, zeigt das Ergebnis gut, dass ein höheres Alter nicht zwangsläufig zu einer schlechteren akustischen Wahrnehmung führen muss.

Tabelle 13: Median der Wahrnehmungsentfernungsverteilungen nach verschiedenen Altersgruppen

Umgebungs- geräusch	ländliche Gegend		städtische Seitenstraße		innerstädtische Seitenstraße	
	Verkehrssituation					
/ Altersgruppe	bis 30	über 45	bis 30	über 45	bis 30	über 45
BMW X3 10 km/h	38,6 m	38,0 m	33,0 m	29,2 m	20,3 m	19,5 m
i-MiEV 10 km/h	10,9 m	11,8 m	4,6 m	3,1 m	-0,7 m*	2,3 m
BMW X3 20 km/h	40,7 m	41,9 m	35,5 m	33,8 m	27,6 m	26,9 m
i-MiEV 20 km/h	31,3 m	32,1 m	11,3 m	8,9 m	6,6 m	7,2 m
BMW X3 30 km/h	70,7 m	71,0 m	50,2 m	53,7 m	40,1 m	45,2 m
i-MiEV 30 km/h	51,4 m	52,2 m	27,1 m	24,4 m	15,7 m	16,6 m

*Fahrzeug wurde erst erkannt, nachdem es die Versuchsperson schon erreicht hatte

1.7 Zusammenhang zwischen Hörversuchsergebnissen und messtechnischer Analyse

Im vorliegenden Abschnitt wurde untersucht, ob zwischen den Ergebnissen des Hörversuchs (Abschnitt 1.6) und der messtechnischen Auswertung (wie in Abschnitt 1.3.4) ein Zusammenhang besteht. Dafür wurden alle Stimuli des Hörversuches messtechnisch analysiert und in Relation mit den Wahrnehmungszeitpunkten gesetzt. Zusätzlich wurde bei der Interpretation zur Validierung die Aufnahme nochmals von den Autoren angehört. Drei ausgewählte Szenarien werden an dieser Stelle diskutiert - die graphische Darstellung der restlichen Ergebnisse befindet sich in Anhang VIII.

In diesem Kapitel wird bewusst von Zeitpunkten gesprochen, da bei allen Stimuli mit Beschleunigungsmanöver die Umrechnung auf Wahrnehmungsentfernungen nicht möglich ist.

In Abbildung 28 ist der Verlauf eines Beschleunigungsmanövers des BMW X3 mit dem Hintergrundgeräusch einer städtischen Seitenstraße graphisch dargestellt. In jedem der drei Diagramme wurde der zeitliche Verlauf der wiedergegebenen Aufnahme über die Abszisse aufgetragen

Auf der Ordinate des ersten Diagramms ist der A-frequenzbewertete¹², „fast“-zeitbewertete¹³ Schalldruckpegel in dB(A) aufgetragen. Zudem enthält die Grafik eine Schätzung der Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der Wahrnehmungszeitpunkte (vergleichbar mit den Violinenplots aus Abschnitt 1.6) aller Versuchspersonen. Die beiden Enden der Ordinate repräsentieren die Wahrscheinlichkeiten 0 bzw. 1. Ein Bereich verstärkter vertikaler Ausprägung steht für ein Zeitintervall, in dem verhältnismäßig viele Leute den Auslöser betätigten (Zeitpunkt, zu dem das Fahrzeug wahrgenommen wurde). Die Hälfte aller Versuchspersonen erkannte das Fahrzeug innerhalb des grün hinterlegten Bereiches. Der Median der Verteilung sowie der Vorbeifahrtszeitpunkt sind als vertikale schwarze strichlierte Linie eingezeichnet.

berücksichtigt näherungsweise die frequenzabhängige Eigenschaften des Gehörs bei der Lautstärkenabbildung

¹³ berücksichtigt näherungsweise die zeitliche Eigenschaften des Gehörs bei der Lautstärkenabbildung

Im zweiten und dritten Diagramm ist der zeitliche Verlauf der Frequenzzusammensetzung (auch Spektrogramm genannt) dargestellt. Die Einfärbung eines Frequenzbereiches steht für einen bestimmten Schalldruckpegel (siehe Farbbalken rechts der Grafiken).

Die Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte zeigt, dass 50% der Versuchspersonen das Fahrzeug im Zeitraum von Sekunde 6,4 bis Sekunde 7,0 wahrgenommen haben - ein sehr eindeutiges Ergebnis. Die Schalldruckpegelverläufe im ersten Diagramm geben keinen wirklichen Hinweis, warum der BMW X3 gerade in diesem Zeitraum wahrgenommen wurde. Betrachtet man jedoch das gleiche Intervall im Spektrogramm von linkem oder rechtem Ohr, so sind im Bereich von 100 Hz bis 300 Hz zwei gelbe, parallel steigende, Geraden erkennbar. Hierbei handelt es sich um die Grundschiwingung bzw. eine Harmonische des Motorgeräusches. Da beim Beschleunigungsvorgang in einem Gang die Drehzahl ansteigt, verlaufen die Geraden nicht horizontal sondern mit einer Steigung. Die Autoren sind davon überzeugt, dass diese Änderung der Tonhöhe maßgeblich zur Wahrnehmbarkeit des Fahrzeuges beiträgt.

Im zweiten und dritten Beispiel soll die Vorbeifahrt des BMW X3 mit dem Mitsubishi i-MiEV bei 20 km/h verglichen werden. Als Hintergrundgeräusch wurde die ländliche Gegend (=kein zusätzliches Hintergrundgeräusch) ausgewählt. Beim von rechts nach links fahrenden i-MiEV (Abbildung 29) liegt der Median des Erkennungszeitpunktes bei Sekunde 7,6. Durch das fehlende Motorgeräusch sind im Spektrogramm keinerlei schmalbandige Anhebungen im tiefen Frequenzbereich zu erkennen. Die Ursache des Erkennungszeitpunktes liegt im Bereich von 1-2 kHz, denn genau in dieser Oktave ist die früheste Erhöhung am rechten Ohr zu erkennen, die durch das herannahende Fahrzeug verursacht wurde. Diese Geräuschkomponente ist dem Reifen-Fahrbahngeräusch am Fahrzeug zuzuordnen.

Beim unter den gleichen Voraussetzungen vorbeifahrenden BMW X3 (Abbildung 30) liegt der Median des Erkennungszeitpunktes bei Sekunde 6,2. Auch hier ist beim rechten Ohr in der Oktave von 1-2 kHz die erste Anhebung zu erkennen. Zusätzlich ist eine ausgeprägte Komponente des Motorgeräusches zwischen 40 und 50 Hz zu erkennen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Ursache des subjektiv wahrgenommenen Erkennungszeitpunktes in den vorgestellten Beispielen messtechnisch gut nachgewiesen werden konnte. Ein Blick in Anhang VIII zeigt jedoch auch, dass dieser Nachweis nicht immer möglich ist, insbesondere wenn lautere Hintergrundgeräuschkulissen vorhanden sind. Vorbeifahrt Seitenstraße ländliche Gegend - verbleibender Abstand zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtspunkt

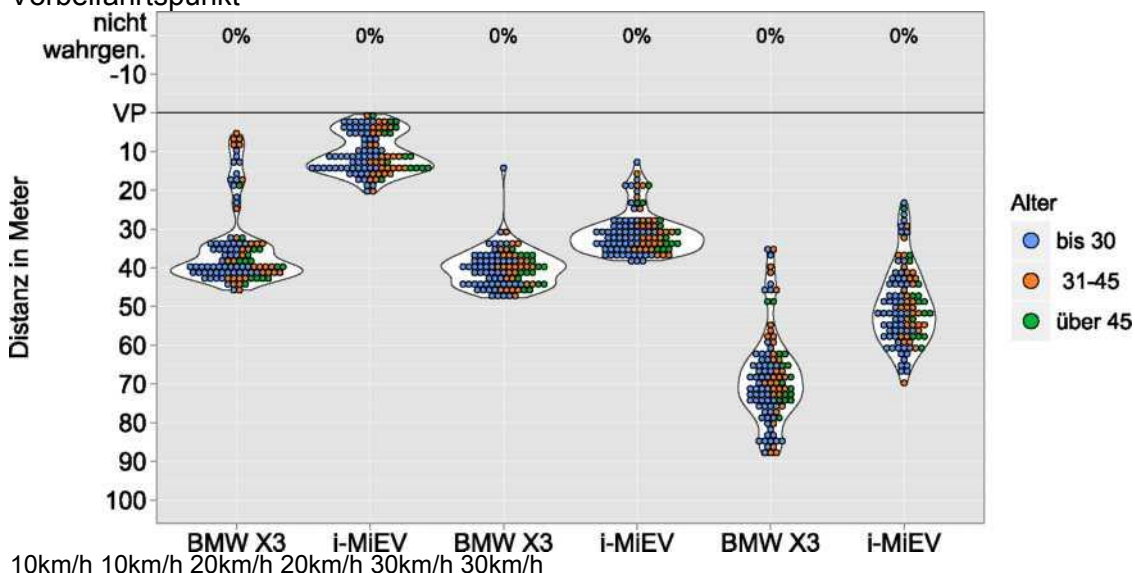
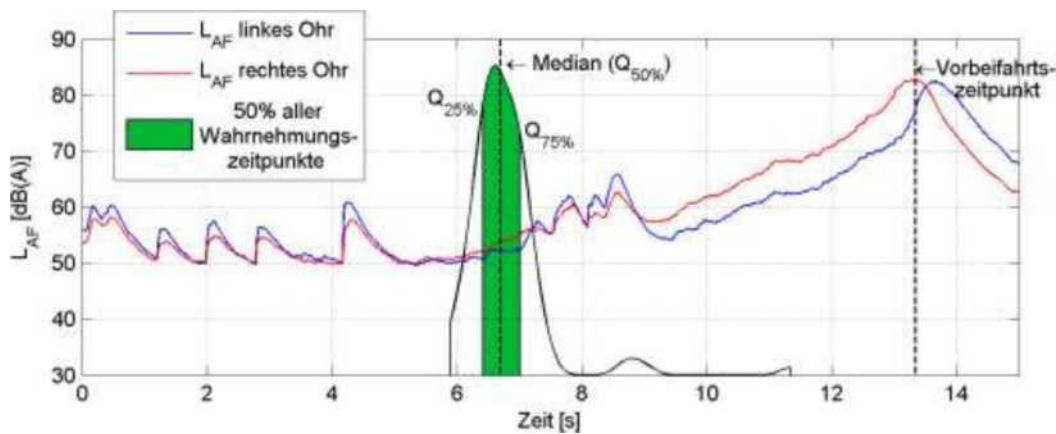


Abbildung 27: Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte - Vergleich zwischen verschiedenen Altersgruppen
Stimulus 20 - BMW X3 beschleunigte Vorbeifahrt - Seitenstraße Außenbezirk
Schalldruckverlauf / Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte über die Zeit



Frequenz-Zeitverlauf • linkes Ohr
Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

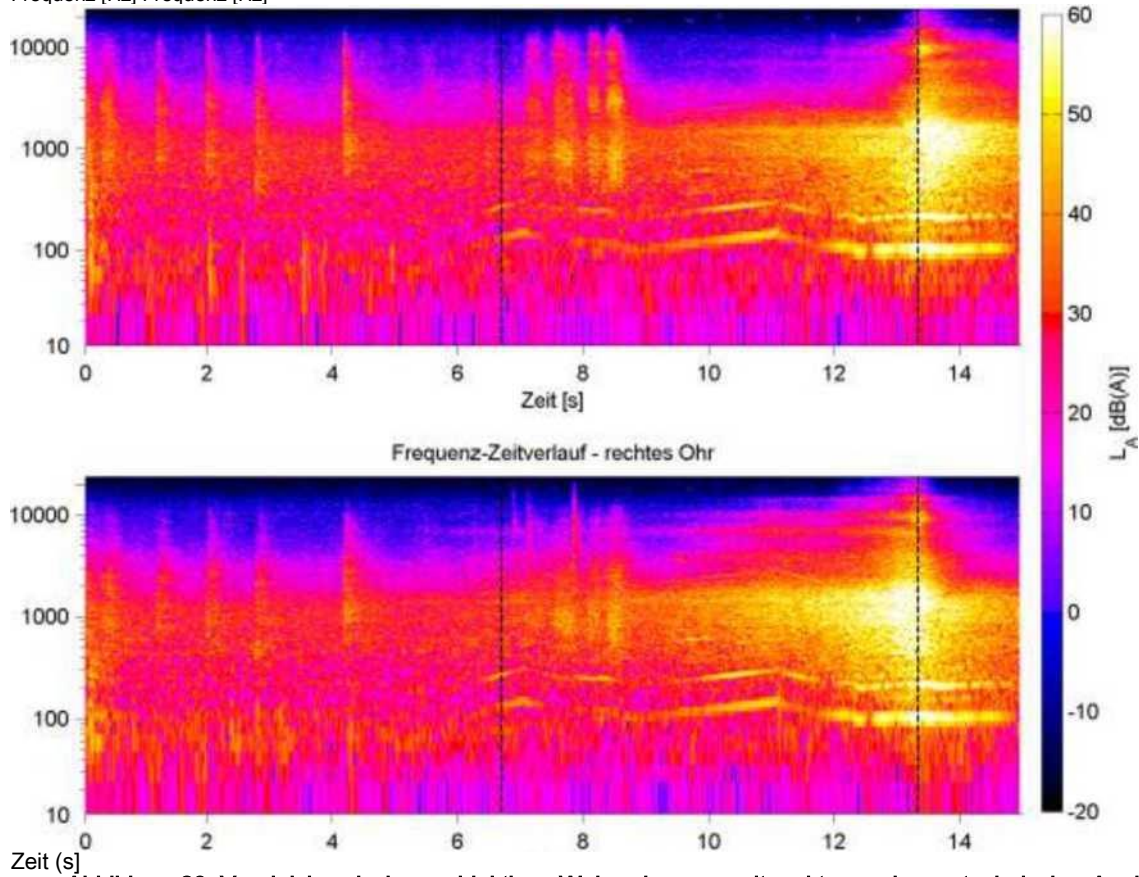
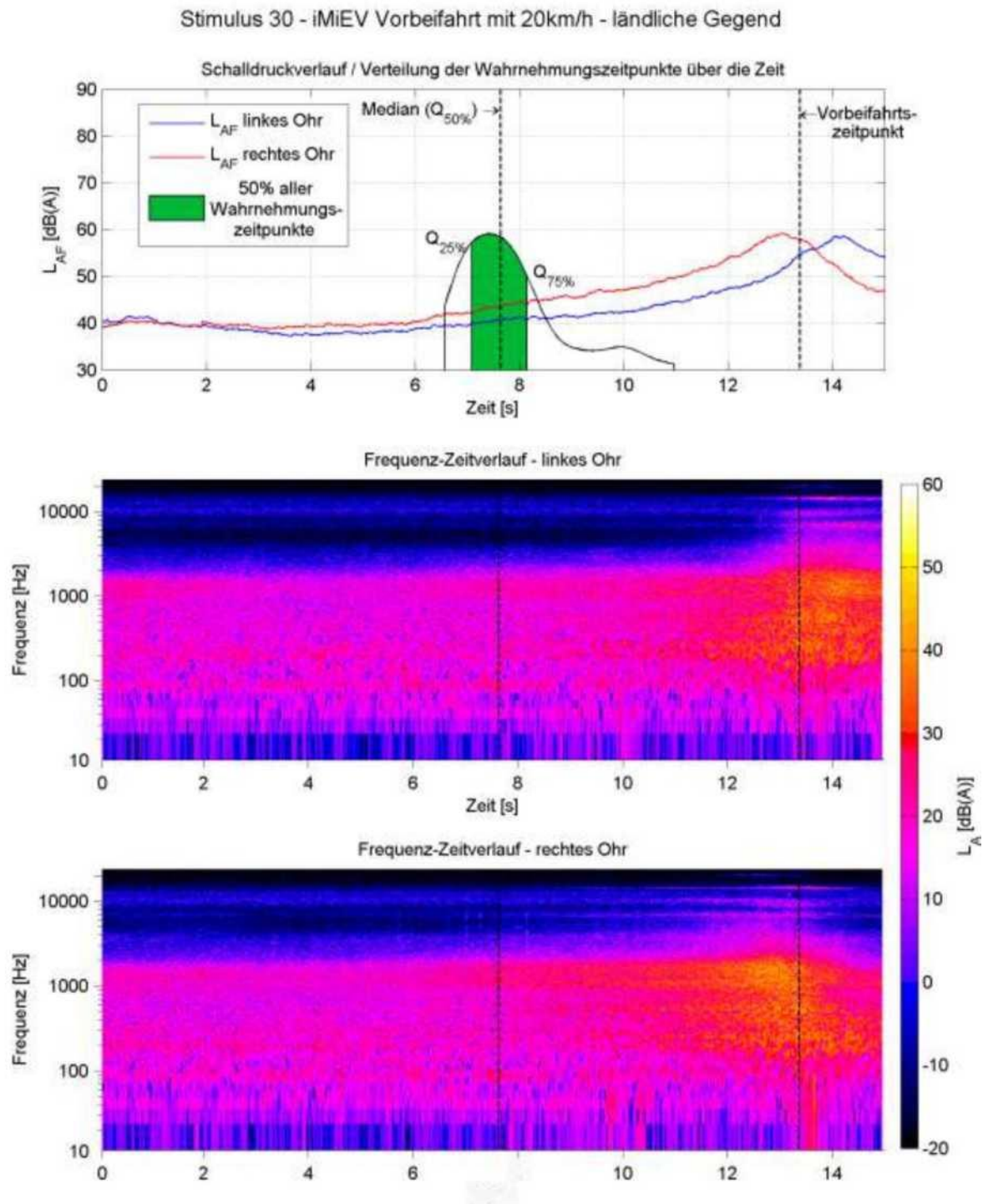


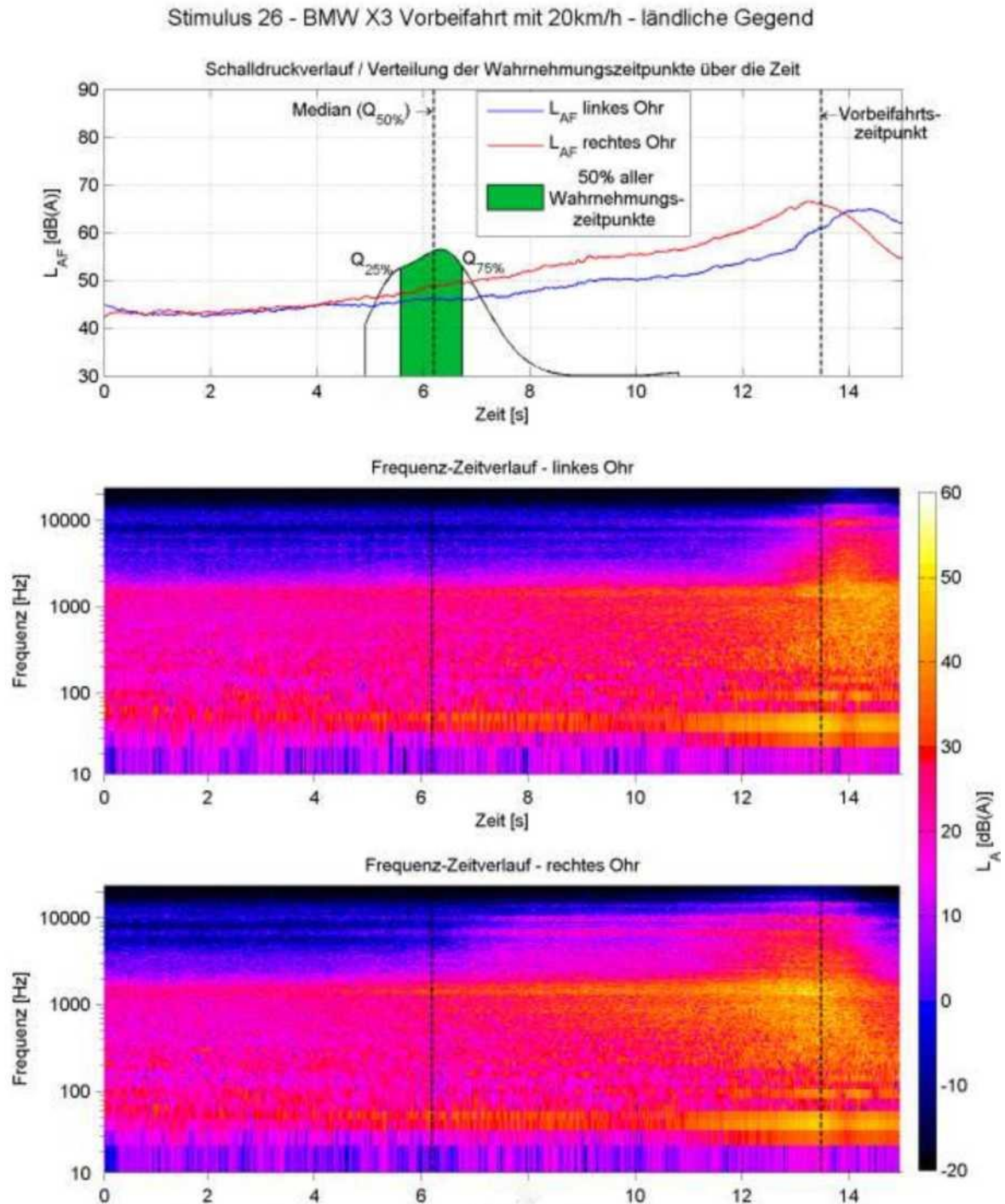
Abbildung 28: Vergleich zwischen subjektiven Wahrnehmungszeitpunkten und messtechnischer Analyse - Stimulus 20



Zeit [s]

Abbildung 29: Vergleich zwischen subjektiven Wahrnehmungszeitpunkten und messtechnischer Analyse
- Stimulus 30

8



Zeit [s]

Abbildung 30: Vergleich zwischen subjektiven Wahrnehmungszeitpunkten und messtechnischer Analyse - Stimulus 26

1.8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen AP1

Das erste Arbeitspaket des Projektes drivEkustik untersuchte die akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen durch ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen. Dafür wurde die Wahrnehmbarkeit von ausgewählten Elektrofahrzeugen (E-Kfz) mit jener von ausgewählten Verbrennungskraftfahrzeugen (V-Kfz) in typischen Verkehrssituationen mit erhöhtem Unfallpotential verglichen, um potentielle Risiken im Straßenverkehr frühzeitig erkennen zu können. Im Rahmen der Untersuchung wurden von 2 verschiedenen V-Kfz und 2 E-Kfz Aufnahmen in

repräsentativen Verkehrssituationen mit erhöhtem Unfallpotential angefertigt. Neben einer messtechnischen Analyse fungierten die Aufzeichnungen als Basis für einen Hörversuch zur Feststellung der akustischen Wahrnehmbarkeitsschwelle der unterschiedlichen Fahrzeuge. Die Ergebnisse nach Analyse des Hörversuches können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Von den untersuchten Fahrzeugen wurde das E-Kfz (Mitsubishi i-MiEV) generell später gehört als das V-Kfz (BMW X3):
 - Die mittlere Zeitdifferenz (Zeit, um die das E-Kfz später wahrgenommen wurde) beträgt für 10 km/h 9,0 Sekunden, bei 20 km/h 3,1 Sekunden sowie 2,7 Sekunden für 30 km/h. Dies entspricht einer Wegdifferenz von 25 m, 17,3 m und 22,4 m.
 - Der große Unterschied bei 10 km/h ist auf das gut wahrnehmbare Motorgeräusch des V-Kfz zurückzuführen.
 - Im Bereich von 40 - 50 km/h wurde das E-Kfz im Mittel um 1,3 Sekunden später wahrgenommen
 - Es kann davon ausgegangen werden, dass die mittlere Zeitdifferenz zwischen E-Kfz und V-Kfz mit steigender Geschwindigkeit weiter abnimmt, da das Reifen-Fahrbahngeräusch immer dominanter wird und der Einfluss des Motorgeräusches immer geringer wird.
2. Ganz allgemein kann angemerkt werden, dass die Wahrnehmungsentfernung umso größer ist, je höher die gefahrene Geschwindigkeit ist.
3. Bei hohem Umgebungsgeräusch in einer innerstädtischen Seitenstraße und 10 km/h Geschwindigkeit konnten 31% der VersuchsteilnehmerInnen das Elektroauto gar nicht erkennen (das entspricht dem schwierigsten im Hörversuch untersuchten Szenario).
 - Von den restlichen 69% erkannte etwa die Hälfte das E-Kfz erst nachdem das Auto die Person schon erreicht hatte.
 - Auch bei 20 km/h konnten 2% der Probanden den Mitsubishi i-MiEV überhaupt nicht wahrnehmen. Der Median der Wahrnehmungsentfernung liegt in diesem Fall für das E-Kfz bei 6,9 m - beim BMW X3 beträgt Distanz 26,9 m. Dies entspricht bei 20 km/h einem Zeitunterschied von 3,6 Sekunden.
4. Bei den betrachteten Ausparksituationen wurde das Elektrofahrzeug im Mittel später erkannt, wobei viele Probanden das Geräusch zwar gehört haben, es aber nicht gleich als Fahrzeug identifizieren konnten.
5. Die Ergebnisse des Hörversuches zeigen grundsätzlich keinen wesentlichen Unterschied zwischen sehbehinderten bzw. blinden und nicht sehbehinderten Teilnehmern, wobei die Stichprobe unterschiedlich war (105 Probanden insgesamt, davon 14 Menschen mit Sehbehinderungen bzw. blinde Menschen). Bei den geringfügig festgestellten Unterschieden handelt um statistische Schwankungen.
6. Die zweite untersuchte Risikogruppe umfasste ältere VerkehrsteilnehmerInnen, da die Hörfähigkeit mit dem Alter generell abnimmt. Für die Analyse wurden die Versuchspersonen in drei Altersgruppen eingeteilt. Auch wenn die Stichprobe der ältesten Gruppe verhältnismäßig klein ist, zeigen die Ergebnisse, dass ein höheres Alter nicht zwangsläufig zu einer schlechteren akustischen Wahrnehmung führen muss.
7. Es kann festgehalten werden, dass die Ursache des subjektiv wahrgenommenen Erkennungszeitpunktes in den vorgestellten Beispielen messtechnisch gut nachgewiesen werden konnte. Es zeigt sich jedoch auch, dass dieser Nachweis nicht immer möglich ist, insbesondere wenn eine lautere Hintergrundgeräuschkulisse vorhanden ist.

Die Ergebnisse der messtechnischen Analyse der Aufnahmen können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Von den untersuchten Fahrzeugen liegen die maximalen Vorbeifahrtspegel der E-Kfz

(Mitsubishi i-MiEV u. Renault Fluence) generell unter jenen der V-Kfz (BMW X3 u. Toyota Verso), mit Ausnahme der Ergebnisse aus 7,5 m für 40 km/h und 50 km/h. Durch die höhere Entfernung entsteht ein flacherer Messwinkel (als bei der Messposition aus 1,8 m), der im Messergebnis den Einfluss des ReifenFahrbahngeräusches erhöht

2. Ganz allgemein kann angemerkt werden, dass der Unterschied der Vorbeifahrtspegel zwischen E-Kfz und V-Kfz mit steigender Geschwindigkeit abnimmt, da das Reifen-Fahrbahngeräusch immer dominanter wird. Nur die Ergebnisse des Mitsubishi i-MiEV liegen auch bei höheren Geschwindigkeiten (40 km/h u. 50 km/h) unter jenen der drei anderen Fahrzeuge. Dies ist auf die Baugröße bzw. Bereifung des E-Kfz zurückzuführen.
3. Beim Mitsubishi i-MiEV konnten zwei sehr hohe Geräuschkomponenten (6-7 kHz und 14-15 kHz) festgestellt werden, verursacht durch den Elektroantrieb. Beim Renault Fluence konnten diese Komponenten nicht festgestellt werden.

2 Arbeitspaket 4: Akustikmessung im Fahrzeuginnenraum (E-Kfz und V-Kfz)

2.1 Ziel und Inhalte des Arbeitspaketes

In AP4 wurde untersucht, ob es Unterschiede in der Innenraumakustik zwischen Elektrofahrzeugen (E-Kfz) und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (V-Kfz) gibt und welche Auswirkungen diese allenfalls auf das Fahrverhalten haben.

Es wurden die akustischen Verhältnisse im Fahrzeuginnenraum im Laborversuch bei verschiedenen Fahrparametern für Elektrofahrzeuge und Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren gemessen. Mit Hilfe dieser Daten wurden den praktischen Fahrten akustische Informationen hinzugefügt. Auf dieser Basis wurden Rückschlüsse von der Fahrzeuginnenakustik auf das Fahrverhalten untersucht.

Um ausreichend Situationen für die Messungen zu erhalten, wurden beim Kickoff-Meeting kontrollierte Fahrten im Rahmen von AP2 angedacht. Da die Datenerhebung in AP2 vorwiegend in Kärnten erfolgte, wäre für Arbeitspaket 4 ein erheblicher Zusatzaufwand angefallen.

Auch sind Messungen der Innenraumakustik aus datenschutzrechtlichen Gründen problematisch. Es wurde daher entschieden, dass die akustischen Informationen über den Innenraum während Testfahrten von Projektmitarbeiterinnen und Projektmitarbeitern durchgeführt werden.

In diesem Arbeitspaket konnten Synergien mit dem VSF-Projekt E-FFEKT genutzt werden, da in diesem Projekt die Durchführung von Testfahrten mit E-Kfz geplant war. In diesem Rahmen konnten zusätzliche Fahrten für die drivEkustik-Messungen mit geringem organisatorischem Zusatzaufwand durchgeführt werden.

2.2 Beschreibung der Teststrecke

Um Vergleiche bzw. Synergien mit dem VSF-Projekt E-FFEKT zu ermöglichen, wurde für die Innenraummessungen dieselbe Teststrecke (Abbildung 31) benutzt. Diese wurde unter Berücksichtigung folgender Aspekte ausgewählt:

- Die Abfahrt jeder Testfahrt war vom Standort des AIT (Techbase, Giefinggasse 2, 1210 Wien), da an diesem Standort die Fahrzeuge zur Verfügung standen und die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge vorhanden war.
- Die Teststrecke deckte möglichst viele der folgenden Szenarien ab:
 - Anfahrverhalten bei einer Kreuzung (geregelt/ungeregelt)
 - Linksabbiegen bei Gegenverkehr
 - Bremsverhalten bei einer Kreuzung (geregelt/ungeregelt)
 - Verhalten im Kreisverkehr

- Verhalten bei Schutzwegen
- Verhalten bei Kurvenfahrten
- Die Strecke durfte aufgrund der begrenzten Reichweite der E-Kfz nicht allzu lange sein, um mehrere Testfahrten pro Tag durchführen zu können (Ladezeit). Der Wunsch war, dass man mindestens drei Fahrten pro Tag durchführen kann. Jede Runde durfte daher nicht länger als die knappe Hälfte der Reichweite (90-120km) sein. Für die dritte Fahrt musste man untertags für drei Stunden den Akku wieder aufladen.
- Es wurde darauf Wert gelegt, dass die Teststrecke sowohl Stadt- als auch Überlandfahrten beinhaltet, um den Geschwindigkeitsbereich bis zu 100 km/h abzudecken und so auch die Innenraumakustik bei hohen Geschwindigkeiten untersuchen zu können.

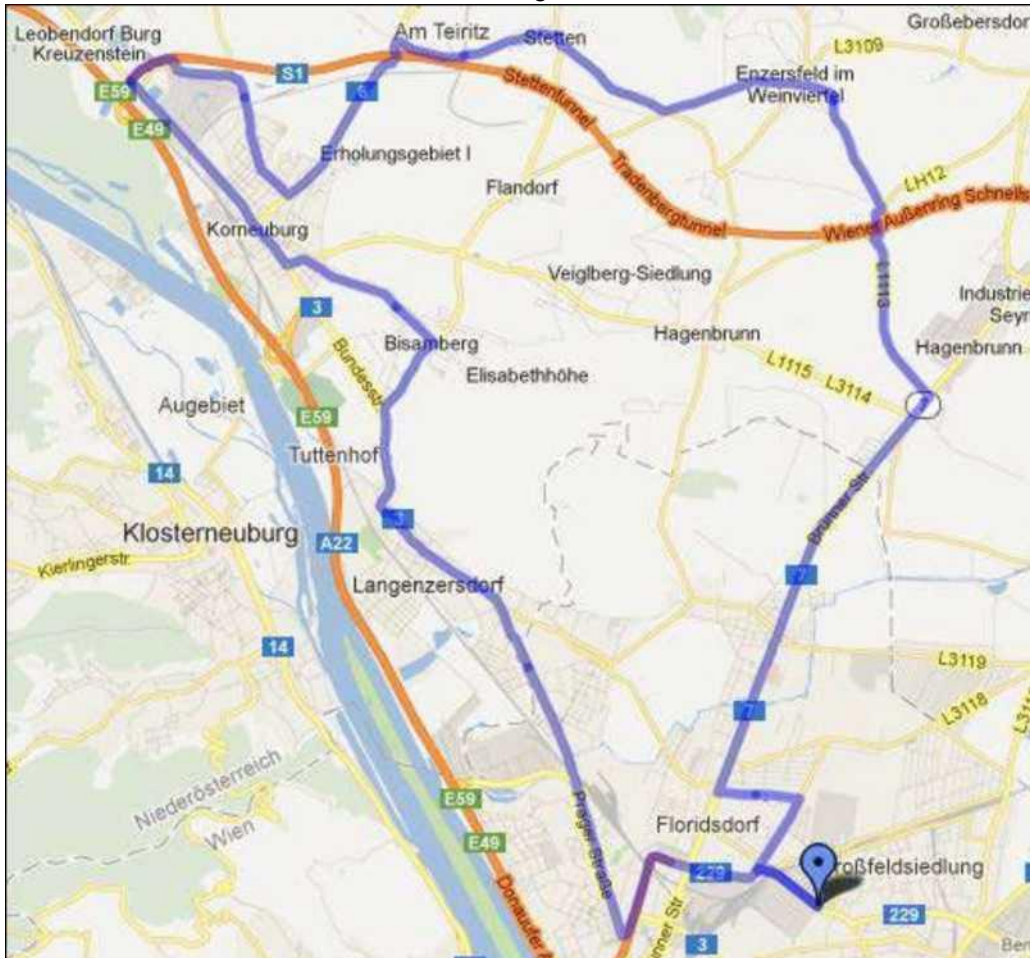


Abbildung 31: Route der Teststrecke - Quelle: Google Maps

2.3 Anforderungen an die Datenerfassung

Die Datenerfassung teilte sich auf die im Folgenden beschriebenen akustischen sowie die die Fahrdynamik beschreibenden Parameter auf.

2.3.1 Messsetup und Messequipment

Die akustischen Parameter wurden hier sowohl auf der FahrerInnen- wie auch auf der BeifahrerInnenposition aufgezeichnet. Dazu kam für den Fahrer ein binaurales Headset (siehe Abbildung 21) zum Einsatz, das es ermöglicht, die akustischen Gegebenheiten des Lenkers/der Lenkerin direkt abzubilden. Ebenfalls wurde am Beifahrersitz ein Kunstkopf positioniert, um weitere Daten in hoher Qualität aufzuzeichnen.

Die Fahrdynamikparameter wurden mittels pdrive-Systems des Projektpartners TTI aufgezeichnet. Damit konnten sowohl Beschleunigungs- wie auch GPS-Daten während der Messfahrt erhoben werden. Ebenfalls ermöglicht es ein Kamerasystem, sowohl den Straßenraum als auch den Lenker/die Lenkerin während der Testfahrt zu beobachten.

Die Positionierung des pdrive-Systems erfolgte nach den Spezifikationen durch TTI mittels eines Saugnapfes am rechten Rand der Windschutzscheibe. Vor jeder Fahrt wurde die Ausrichtung des Systems manuell kontrolliert und mittels der vorgesehenen SoftwareRoutine kalibriert. Da das pdrive-System ebenfalls über ein Mikrophon zu Monitoringzwecken verfügt, konnte die Synchronisation zwischen Akustik- und pdrive-Daten problemlos erfolgen.

Die Auswertung der erhobenen Fahrdynamikparameter erfolgte mittels von TTI zur Verfügung gestellter Software (Abbildung 33).



Abbildung 32: Innenraumaufnahme des Messsystems - pdrive und Kunstkopf

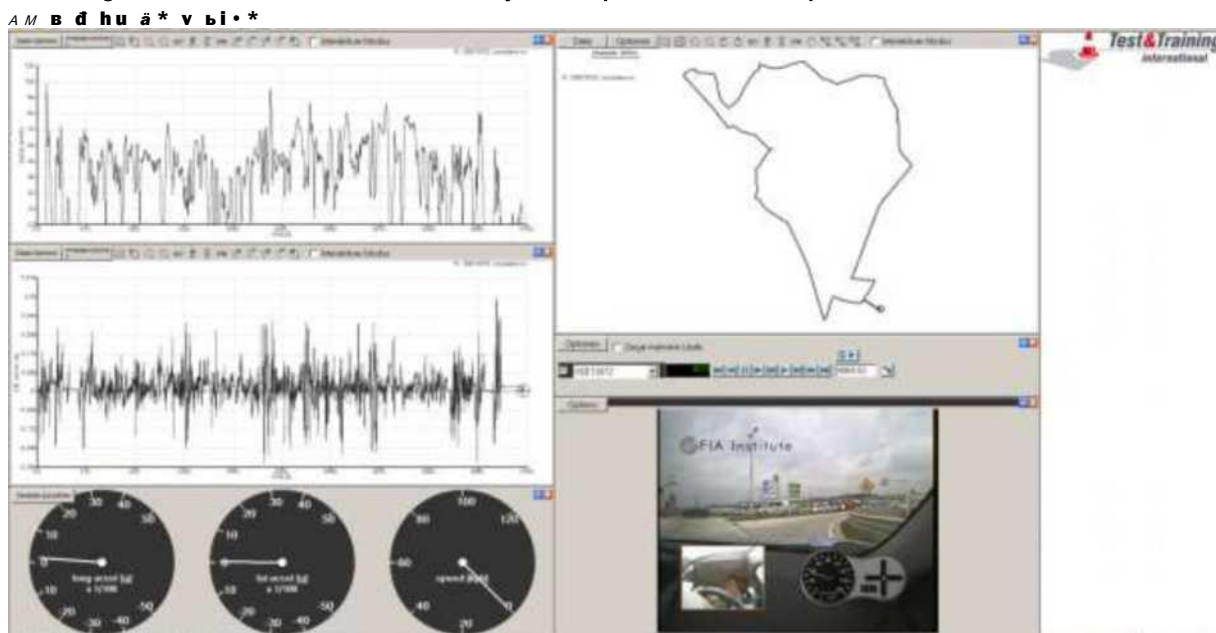


Abbildung 33: Screenshot aus der pdrive-Software (Quelle: TTI)

2.3.2 Fahrzeuge für Innenraummessungen

Die Fahrzeuge wurden so gewählt, dass damit eine Bandbreite von E-Kfz, Hybrid-Kfz und V-Kfz repräsentiert wird. Mit der Beschränkung auf Personenkraftwagen wurden für die Messung folgende Fahrzeuge ausgewählt:

- 1) Mitsubishi i-MiEV - E-Kfz
- 2) Renault Fluence - E-Kfz
- 3) Toyota Prius - neues Hybrid-Kfz
- 4) Toyota Verso - altes V-Kfz

Bei einem Großteil der zum Untersuchungszeitpunkt erhältlichen Autos mit reinem Elektroantrieb handelte es sich um Kleinstwagen - deshalb wurde neben dem Renault Fluence bewusst auch noch ein kleineres Elektrofahrzeug ausgewählt. Weitere Details zu den Fahrzeugen können aus der nachfolgenden Beschreibung (Toyota Prius) und Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 14: Beschreibung des Hybridfahrzeuges

Fahrzeugbeschreibung



Toyota Prius

- Prius ZVW30
- Hersteller: Toyota
- Produktionszeitraum: seit 2009
- Motoren: Hybridmotor:
1,8 l Ottomotor + 60 kW Elektromotor
- Länge: 4460 mm
- Breite: 1745 mm
- Höhe: 1490 mm
- Radstand: 2700 mm
- Leergewicht: 1445 kg

2.4 Datenanalyse und Interpretation der Ergebnisse

Dieser Abschnitt beschreibt die Datenanalyse der Fahrzeuginnenraummessungen. Mit Hilfe der Ergebnisse wurden die 2 folgenden Fragen beantwortet:

- Gibt es Unterschiede in der Innenraumakustik zwischen E-Kfz und V-Kfz?
- Wenn Unterschiede nachweisbar sind - wirken sich diese auf das Fahrverhalten aus?

Alle Messungen wurden mit dem in Abschnitt 2.3.1 beschriebenen Messsetup durchgeführt. Ganz allgemein setzt sich das damit erfasste Innenraumgeräusch unter diesen Bedingungen aus folgenden Komponenten zusammen:

- durch das Fahrzeug selbst verursachte Geräusche: darunter fallen das Antriebsgeräusch, das Rollgeräusch durch Reifen-Fahrbahn-Kontakt sowie Windgeräusche.
- externe Geräusche: jeder andere Verkehrsteilnehmer stellt selbst eine Schallquelle dar, welche je nach Schalldämmung der Karosserie auch im Fahrzeuginnenraum hörbar und messbar ist.
- Durch FahrerInnen verursachte Geräusche: beinhaltet alle vom Fahrer / von der Fahrerin verursachten Geräusche. Auch Schaltvorgänge fallen in diese Kategorie.

Nach der Fahrt haben die Versuchspersonen ihr Feedback schriftlich festgehalten. Dieses ist tabellarisch in Anhang XI zu finden.

2.4.1 Indikatoren für die akustische Bewertung im Innenraum bei Testfahrten mit Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor

Da die Innenraumakustik in einem Fahrzeug von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist, gebührt der Wahl von aussagekräftiger Messgrößen eine wichtige Rolle. Zudem stellt sich zur Wahl, ob die akustische Messgröße in Abhängigkeit der Zeit, Geschwindigkeit, Ort oder Beschleunigung dargestellt wird. Die Innenraumakustik wird durch die folgenden Faktoren beeinflusst:

- Eigengeräusch des Fahrzeuges selbst (verursacht durch Antrieb, Wind und Reifen- Fahrbahn-Kontakt)
- Strömungsgeräusche durch die Lüftungs/Klimaanlage
- Geräusche durch den FahrerIn/die Passagiere selbst
- durch die Umgebung je nach Bauart des Kfz stärker oder schwächer gedämpfte externe Geräusche (z. B. andere Kfz, Baustellen, ...)

Während der Messungen wurde darauf Wert gelegt, dass die durch den Fahrer verursachten Geräusche minimal gehalten werden. Es wurde z.B. die Lüftung bzw. Klimaanlage nur auf geringer Stufe eingestellt. Zur Untersuchung der Innenraumakustik wurde das Innenraumgeräusch in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und der Beschleunigung analysiert, und folgendermaßen bewertet:

- Erfassung der Höhe des durchschnittlichen Innenraumgeräusches in Abhängigkeit der Geschwindigkeit
- Analyse des akustischen Feedbacks während der Beschleunigung
- Erfassung der Höhe des Innenraumgeräusches in Abhängigkeit der Beschleunigung

Dadurch wurden Unterschiede zwischen den verschiedenen Kfz erarbeitet, die vor allem in Hinblick auf das akustische Feedback das Fahrverhalten beeinflussen können.

2.4.2 Ergebnisse der Messungen

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse aus den Innenraummessungen beschrieben sowie diskutiert. Insgesamt wurden knapp 23 Stunden Aufzeichnungen aus pdrive-Daten und Akustikaufzeichnungen analysiert und ausgewertet.

Abbildung 34 zeigt den Mittelungspegel $L_{A,50}$ in Abhängigkeit der Geschwindigkeit auf der Höhe des rechten Ohres am Fahrersitz¹⁴ für verschiedene Fahrzeuge, gemittelt über alle Versuchspersonen. Zur Berechnung wurden für jedes Fahrzeug alle Messdaten in Geschwindigkeitsbereiche von 10 km/h aufgeteilt. Der daraus resultierende Medianpegel ($L_{A, 50}$) für jede Geschwindigkeitsgruppe wurde aus allen „fast“-zeitbewerteten Schalldruckpegelwerten ermittelt. Die Ergebnisse können wie folgt interpretiert werden:

- Im Geschwindigkeitsbereich von 0-5 km/h (einzige Gruppe, die einen Bereich von 5 km/h abdeckt, um dort eine genauere Aussage treffen zu können) liegt der $L_{A,50}$ das energetische Mittel von Toyota Prius und Renault Fluence bei 44,6 dB(A). Hier kann das Hybrid-Kfz eindeutig als E-Kfz betrachtet werden. Basierend auf dem energetischen Mittel von E-Kfz und Hybrid -Kfz liegt der Medianpegel des Toyota Verso um 5,8 dB(A) höher. Bemerkenswert ist der unerwartet hohe Wert des Mitsubishi i-MiEV von 49,7 dB(A). Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die verhältnismäßig schlechte Schalldämmung des Fahrzeuges zurückzuführen. Dadurch hat z.B. das Geräusch von vorbeifahrenden Fahrzeugen einen höheren Einfluss auf das Messergebnis. Allgemein soll an dieser Stelle erwähnt werden, in diesem Bereich auch Schaltvorgänge beim Wegfahren in den Ergebnissen

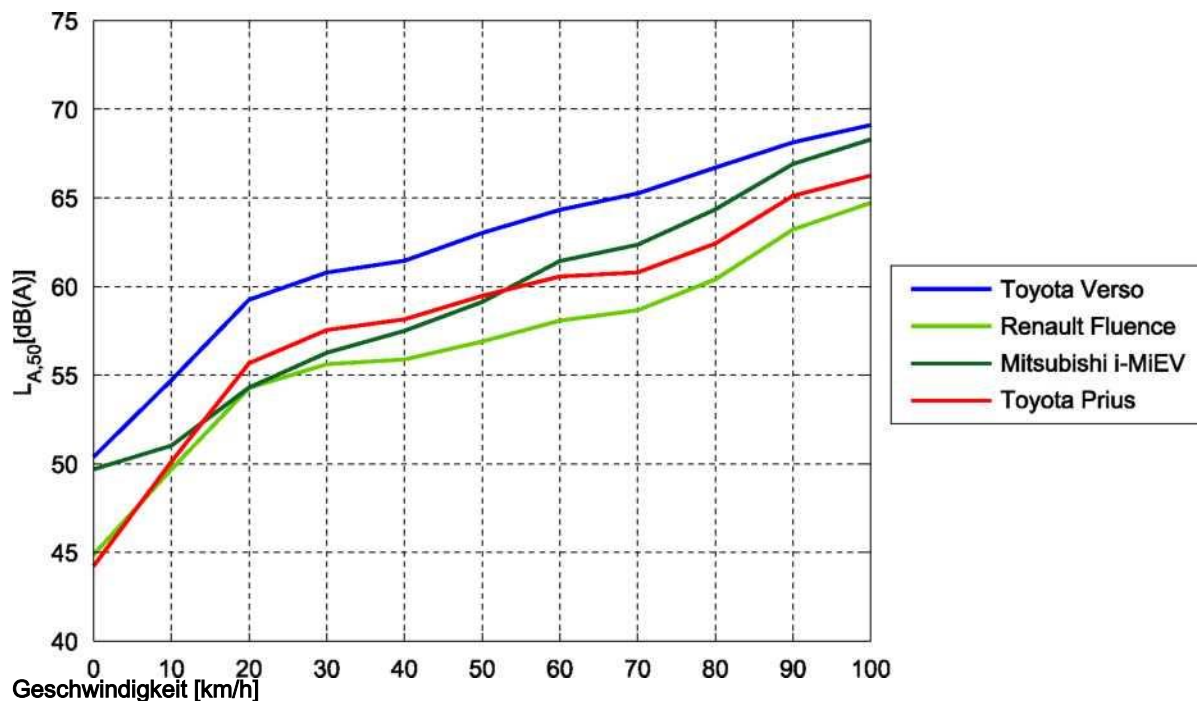
enthalten sind.

- Für den Bereich von 15-25 km/h liegen die Medianpegel von i-MiEV und Renault Fluence bei 54,3 dB(A). Die Differenz zwischen E-Kfz und Verso beträgt 5 dB(A), welche durch das vorhandene Motorgeräusch von letzterem verursacht wird. Je nach Höhe der Beschleunigung war beim Hybrid-Kfz bereits der Verbrennungsmotor aktiv. Das Ergebnis ist deshalb leicht höher als jenes der untersuchten E-Kfz - um 1,4 dB(A).
- Bei 45-55 km/h lässt sich eine Trendwende beobachten. Die Differenz des L_{A5} beträgt zwischen Prius und i-MiEV gerade noch 0,3 dB(A). Für 55-65 km/h liegt der Wert für den i-MiEV bereits um 0,9 dB(A) über dem des Hybrid-Kfz. Ab diesen Geschwindigkeitsbereichen kann davon ausgegangen werden, dass der Verbrennungsmotor bereits in Betrieb ist - er wurde daher in dieser Studie ab 45 km/h als „neues“ Verbrennungskraftfahrzeug der Kompaktklasse angesehen. Die Ursache für den höheren Wert des i-MiEV im Vergleich zum Fluence liegt in der schlechteren Dämmung der Außengeräusche. Zudem verfügt der i-MiEV über eine schlechte Schwingungsdämmung, die sich über Vibrationen und „Klappern“ bei Teilen der Innenraumausstattung bemerkbar macht. Der $L_{A,50}$ des Fluence beträgt bei 4555 km/h 56,9 dB(A) und ist damit um 6,1 dB(A) niedriger als der des Versos.
- Auch im Bereich um 70 km/h (65-75 km/h) liegt der größte Unterschied zwischen Fluence und Verso und beträgt 6,6 dB(A). Mit einer Differenz von 3,7 dB(A) zwischen den beiden E-Kfz ist das Innengeräusch des i-MiEV merklich höher als jenes des Fluence.
- Im Geschwindigkeitsbereich von 95-105 km/h kann beobachtet werden, dass der L_{A5} des i-MiEV um 0,8 dB(A) unter dem des Verso liegt. Der gemessene Medianpegel liegt damit in vergleichbarer Höhe. Die höchste Differenz beträgt 4,4 dB(A) und kann zwischen Verso und Fluence festgestellt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der gemessene Medianpegel ($L_{A,50}$) der E-Kfz am Fahrersitz im Bereich von 0-25 km/h merklich unter dem Pegel des betrachteten V-Kfz liegt. Im Bereich um 50 km/h - wo das Hybrid-Kfz näherungsweise als neues V-Kfz gesehen werden kann - liegt der Medianpegel des Mitsubishi i-MiEV (E-Kfz) in vergleichbarer Höhe mit dem Toyota Prius (Hybrid-Kfz). Ab dem Bereich von 55-65 km/h ist der Wert des E-Kfz sogar höher als jener des Hybrid-Kfz. Dieser Trend kann mit dem zunehmenden Einfluss des Windgeräusches sowie Vibrationen im Fahrzeuginnenraum erklärt werden. Die Bauart des i-MiEV begünstigt das Auftreten der beiden oben genannten Effekte. Der Renault Fluence kann durchgehend als Fahrzeug mit niedrigstem Innengeräusch betrachtet werden. An dieser Stelle soll nicht unerwähnt bleiben, dass kein V-Kfz der Luxusklasse untersucht wurde. Durch die höhere Schalldämmung der Karosserie (jedoch modellabhängig) würden nach Ansicht der Autoren die Messwerte in einem ähnlichen Bereich wie der der E-Kfz liegen.

Die Messergebnisse zu den einzelnen Fahrern sowie die zugrundeliegenden Geschwindigkeitsverteilungen können aus Anhang X entnommen werden.

Median (L_{A50}) des Schalldruckpegels in Abhängigkeit der Geschwindigkeit am Fahrersitz - rechtes Ohr



Geschwindigkeit [km/h]

Abbildung 34: Median des Schalldruckpegels in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Neben dem Vergleich der Innenraumakustik in Abhängigkeit der Geschwindigkeit soll an dieser Stelle noch das akustische Feedback bei einem Beschleunigungsvorgang untersucht werden. Dazu zeigen Abbildung 35 (E-Kfz) und Abbildung 36 (V-Kfz) die zeitlich A-bewertete Frequenzzusammensetzung beispielhafter Beschleunigungsvorgänge aus dem Stand, gemessen am rechten Ohr des Fahrers / der Fahrerin. Beide Beschleunigungen wurden dabei von der gleichen Person an derselben Stelle in einer vergleichbaren Verkehrssituation durchgeführt. Die Beschleunigungsvorgänge fanden aus einer Seitengasse im Stadtgebiet nach rechts abbiegend auf eine Vorrangstraße mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h statt.

Man erkennt dabei in Abbildung 35 deutlich das Geräusch durch die Erhöhung der Motordrehzahl des Elektromotors des Renault Fluence anhand der sich verändernden Frequenzkomponente von 50 Hz zu 500 Hz (Bereich A). Ebenfalls erkennt man hochfrequent immer wieder kurzzeitig zu Beginn der Analyse deutlich die akustische Rückmeldung des zu diesem Zeitpunkt aktivierten Fahrtrichtungsanzeigers (Bereich B).

Im Vergleich dazu bietet sich für die Beschleunigung des Toyota Verso ein völlig anderes Bild. Schon im Stand vor dem Beschleunigungsvorgang sind deutlich tieffrequente Motorkomponenten zu sehen. Der eigentliche Beschleunigungsvorgang findet im Bereich C statt. Auch hier kann man sehr deutlich den unter Last stehenden Motor inklusive der sich durch die sich steigende Drehzahl erhöhenden Frequenzkomponenten sehen. Ebenfalls klar sichtbar ist der Schaltvorgang von erstem in den zweiten Gang (Zeitpunkt 3784 der Messfahrt). Dieser Gangwechsel ist naturgemäß beim hier gezeigten E-Kfz Renault Fluence nicht vorhanden.

Der Toyota Prius als Hybridfahrzeug zeigt während der Beschleunigung ein dem Verso vergleichbares Frequenzspektrum. Sowohl die Motorkomponente der Beschleunigung wie auch der hier automatisch erfolgende Schaltvorgang sind im Spektrogramm gut sichtbar (Bereich D). Die Gesamtpegel im Innenraum sind allerdings wesentlich geringer als bei dem älteren V-Kfz, die Schaltpunkte erfolgen wie aus der Frequenzanalyse sichtbar bei niedrigerer Tourenzahl.

Der Mitsubishi i-MiEV liefert in dieser Analyse ein dem Renault Fluence vergleichbares Innenraumgeräusch. Der vom Elektromotor emittierte Schall ist im Vergleich zur Grundordnung der V-Kfz wesentlich hochfrequenter (Bereich E). Wie auch schon beim Fluence ist hier das durch den Fahrtrichtungsanzeiger erzeugte Geräusch gut erkennbar (Bereich F).

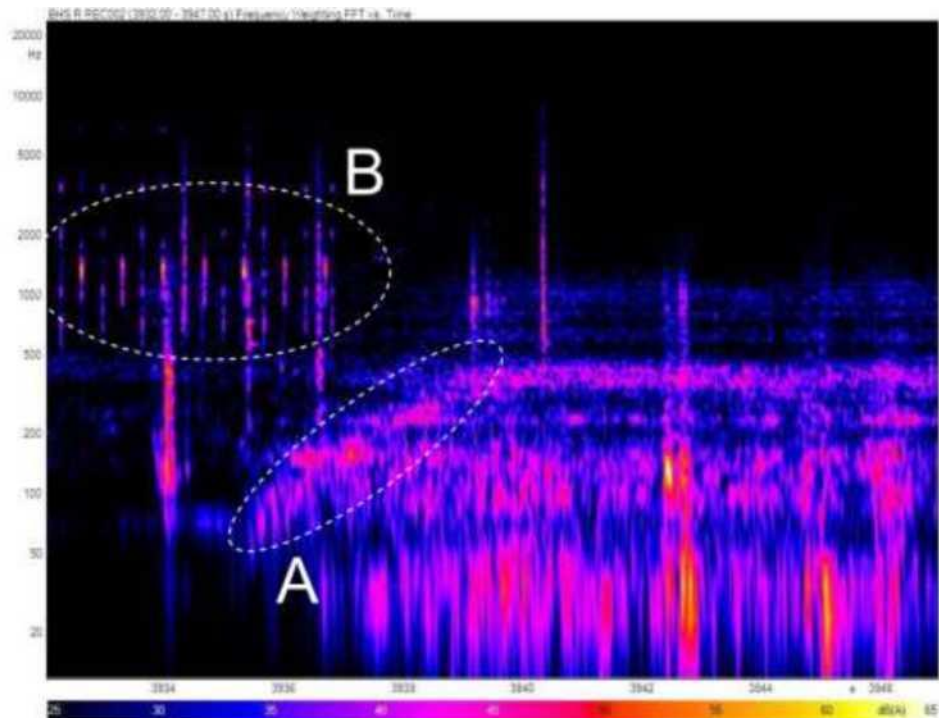


Abbildung 35: Beschleunigung von 0 auf ca. 50 km/h mit dem Renault Fluence

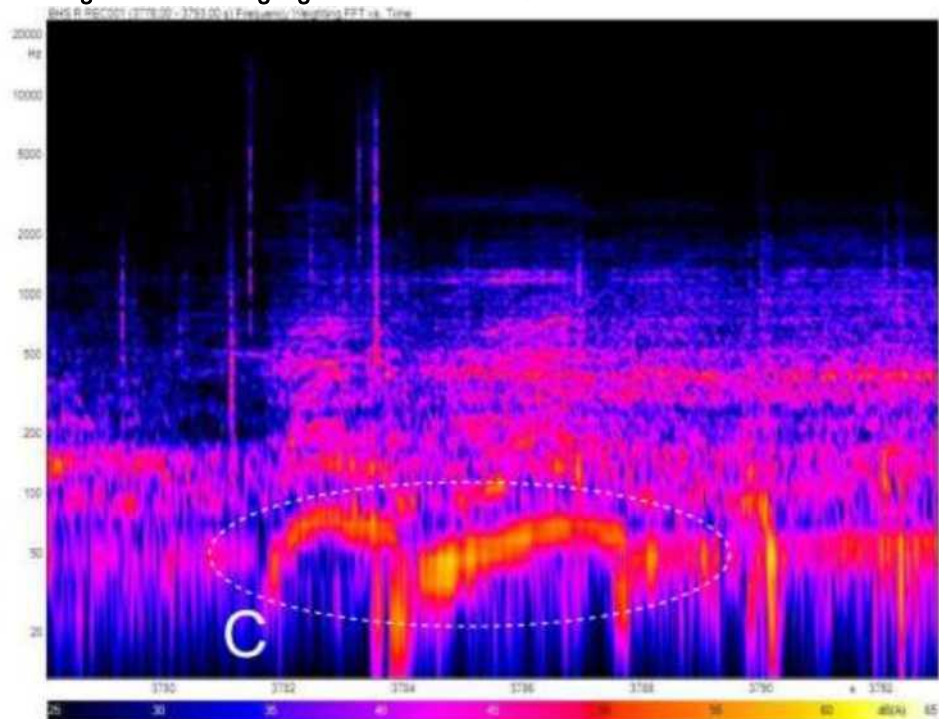


Abbildung 36: Beschleunigung von 0 auf ca. 50 km/h mit dem Toyota Verso

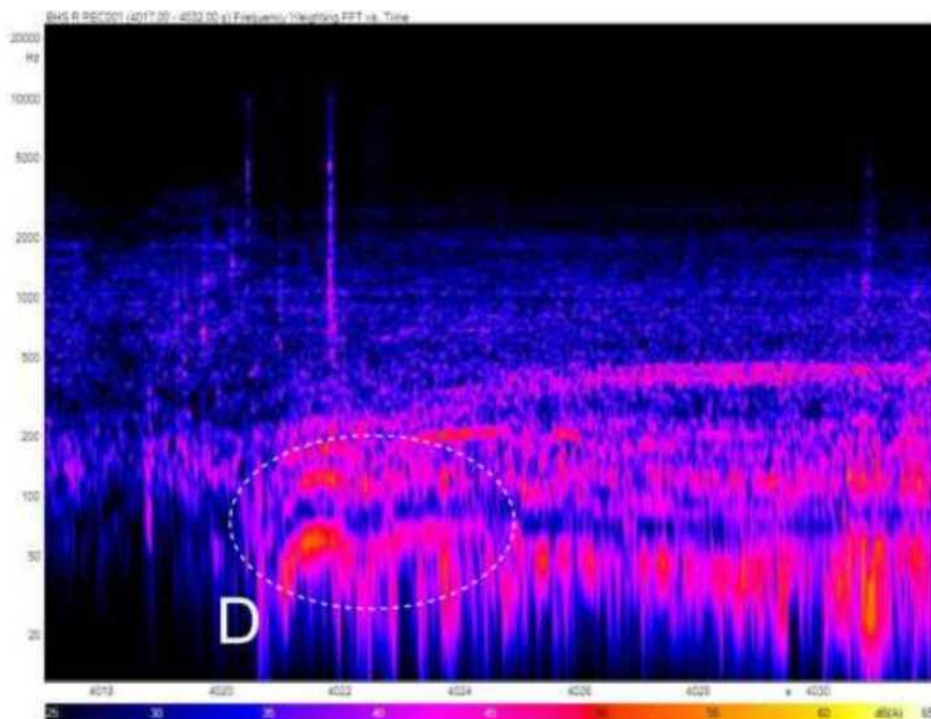


Abbildung 37: Beschleunigung von 0 auf ca. 50 km/h mit dem Toyota Prius

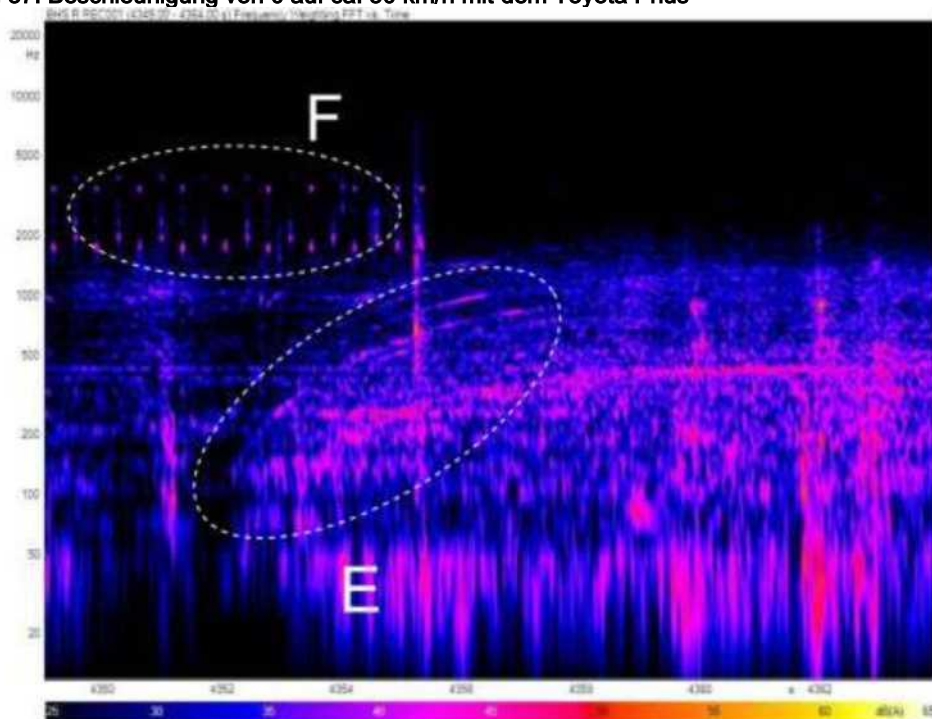


Abbildung 38: Beschleunigung von 0 auf ca. 50 km/h mit dem Mitsubishi i-Miev

Die nächste Analyse soll den Zusammenhang zwischen der Innenraumakustik und der Longitudinalbeschleunigung der verschiedenen Fahrzeuge untersuchen. Dazu sind in Abbildung 39 bis Abbildung 42 die Häufigkeitsverteilungen der „fast“- und A-bewerteten Schalldruckpegel gegen die mit dem pdrive-System erfassten Longitudinalbeschleunigungen für die vier Messfahrzeuge dargestellt. Die gezeigten Fahrten wurden dabei von der selben Testperson durchgeführt. Allen dargestellten Häufigkeitsverteilungen zu eigen ist selbstverständlich das verstärkte Auftreten an Datenpunkten bei niedrigen Beschleunigungswerten. Diese Punkte bilden dabei den normalen Fahrzustand ohne bewusste Beschleunigungs- bzw. Bremsvorgänge ab und ergeben sich z. B. aus Variationen der Gaspedalstellung, verschiedenen Steigungen bzw. dem Nachfahren eines vor dem Testfahrzeugs befindlichen Kfz.

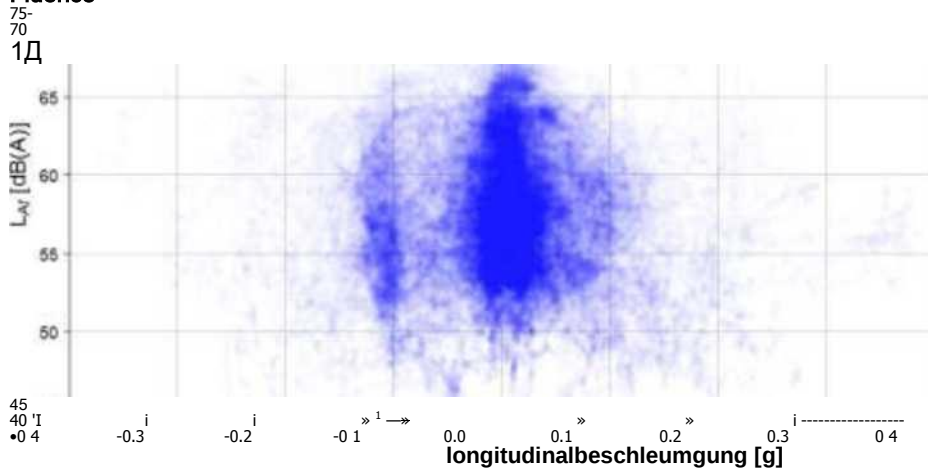
Ebenfalls klar ersichtlich aus der vertikalen Verteilung der Datenpunkte in den Abbildungen ist das

Fehlen von Schalldruckpegelereignissen beim Toyota Verso und Mitsubishi i-MiEV. Die Gründe für dieses Nichtauftreten haben allerdings verschiedene Ursachen: während beim Verso das Standgeräusch des Motors ein Absinken der Innenraumakustik unter einen Schalldruckpegel von ca. 50 dB(A) verhinderte, kam es im i-MiEV aufgrund der schlechten Schalldämmung des Fahrzeuges und der damit einhergehenden Eintragung von Geräuschen aus dem Außenraum zu dem Fehlen vergleichsweise niedriger Innenraumgeräuschpegel. Auf der anderen Seite zeigen alle betrachteten Messfahrzeuge das Auftreten derselben Maximalpegel während der betrachteten Testfahrt. Auffällig aus den Abbildungen ist das erhöhte Auftreten von Datenpunkten beim Renault Fluence sowie beim Mitsubishi i-MiEV bei Beschleunigungen von $-0,1$ g. Diese überproportional häufig vorkommende Bremsbeschleunigung weist auf den Rekuperationsvorgang der untersuchten E-Kfz hin. Bei genauem Studium der Graphik des Toyota Prius kann diese Häufung ebenfalls bei ca. $-0,04$ g erkannt werden. Die

Rekuperationsvorgänge verteilen sich in allen drei Abbildungen über einen weiten Bereich an Schalldruckpegeln, eine klare Erhöhung des Innenraumgeräusches kann daher durch das Rekuperieren nicht belegt werden.

Schlussendlich soll hier die Symmetrie der Beschleunigungs- bzw. Abbremsvorgänge untersucht werden. Wo man - bis auf die Häufungen durch das Rekuperieren - eine Symmetrie zwischen Beschleunigungs- und Bremsvorgängen bei dem Renault Fluence, dem Toyota Prius und dem Mitsubishi i-MiEV sieht, zeigt sich für den Toyota Verso ein völlig anderes Bild. Durch den erhöhten Motorlärm beim Beschleunigen kommt es in der Häufigkeitsverteilung zu einem deutlich sichtbaren Fehlen von Datenpunkten bei positiven Beschleunigungen und niedrigen Innenraumpegeln.

Abbildung 39: Zusammenhang zwischen Longitudinalbeschleunigung und Innenraumgeräusch - Renault Fluence



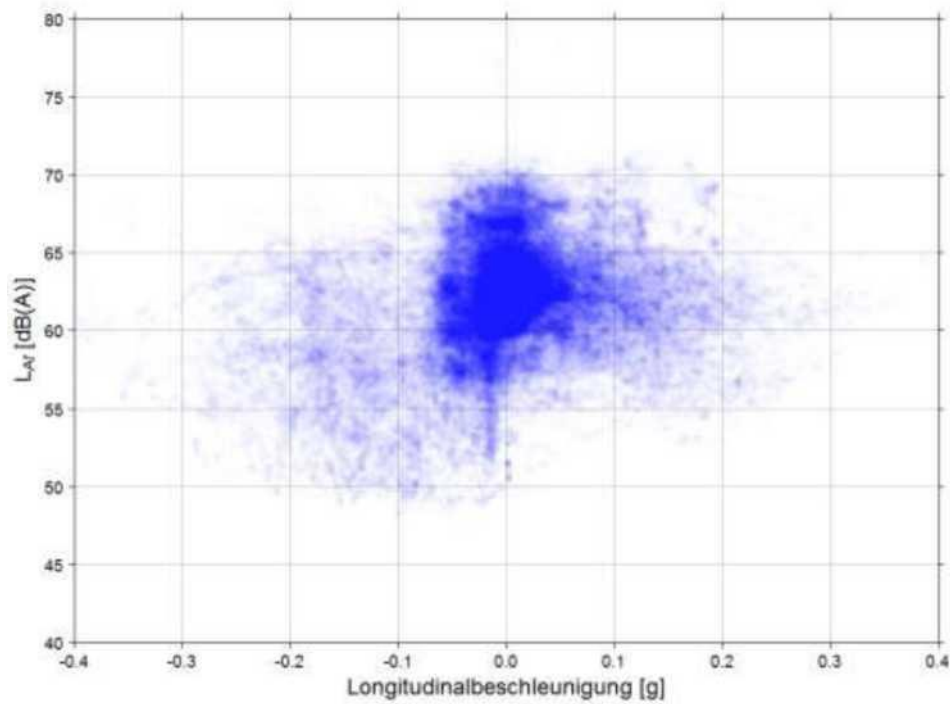


Abbildung 40: Zusammenhang zwischen Longitudinalbeschleunigung und Innenraumgeräusch - Toyota Verso

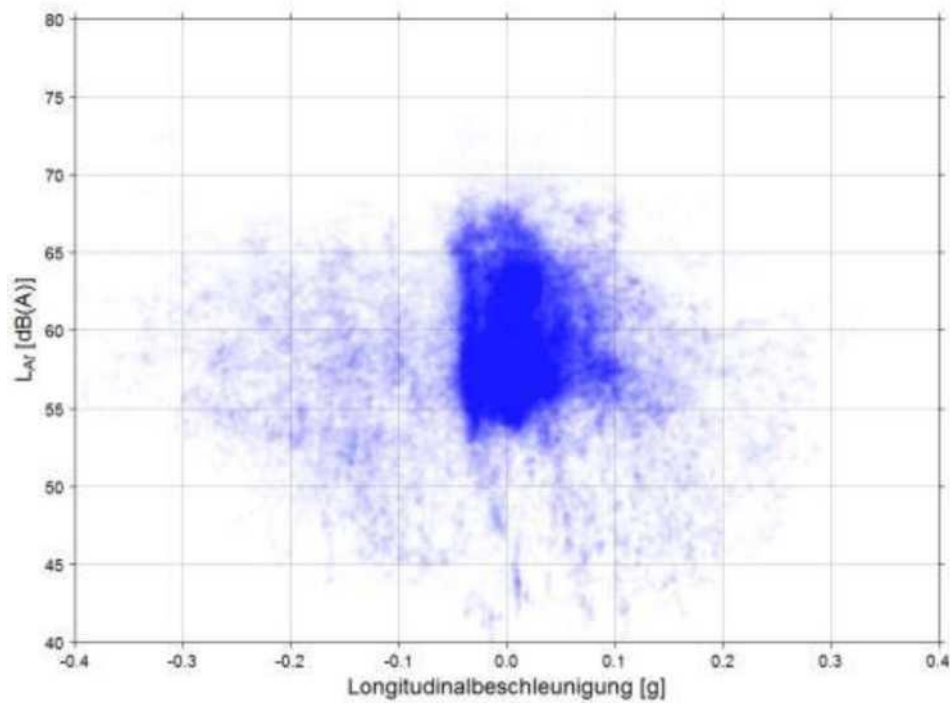


Abbildung 41: Zusammenhang zwischen Longitudinalbeschleunigung und Innenraumgeräusch - Toyota Prius

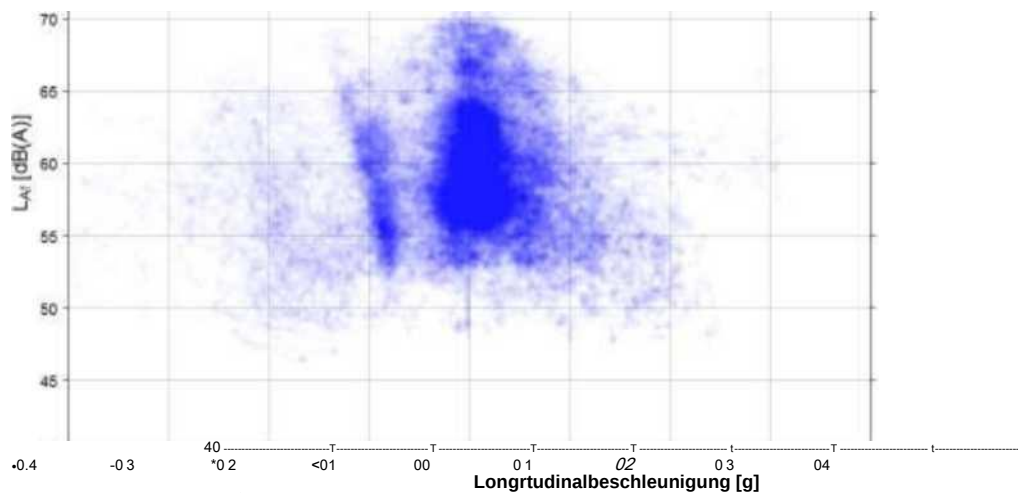


Abbildung 42: Zusammenhang zwischen Longitudinalbeschleunigung und Innenraumgeräusch - Mitsubishi i-Miev

2.4.3 Subjektives Feedback der ProbandInnen

Die subjektiven Beurteilungen der FahrerInnen wurden in der Tabelle im Anhang XI zusammengefasst. Aus diesen subjektiven Rückmeldungen konnten folgendes festgehalten werden:

1. Einige Versuchspersonen erwähnten, dass das Fehlen des akustischen Feedbacks des Motors es schwieriger machte, die vorgeschriebenen Geschwindigkeitsbegrenzungen einzuhalten.
2. Gerade das klare akustische Feedback während Beschleunigungsvorgängen bei V-Kfz hat potentiell einen Einfluss auf das Fahrverhalten der Lenker. Diese Tatsache wurde durch das Fehlen von Schaltzeitpunkten bei den E-Kfz noch zusätzlich verstärkt.
3. Es wurde durchgehend angemerkt, dass ein wesentlicher Unterschied in der Innenraumakustik zwischen den beiden E-Kfz (Mitsubishi i-MiEV u. Renault Fluence) besteht, verursacht durch die unterschiedliche Bauweise bzw. Schalldämmung der Karosserie.

Die subjektiven Rückmeldungen der ProbandInnen zeigen zwar Tendenzen, dass sich die Einschätzung der gefahrenen Geschwindigkeit bei E-Kfz schwieriger gestaltet - inwieweit dies eine Umgewöhnung auf das Fahren mit E-Kfz nach sich zieht, kann zu diesem Zeitpunkt aufgrund des Fehlens von Langzeitdaten und der geringer Anzahl der ProbandInnen nicht beantwortet werden.

2.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen AP4

In AP4 wurde untersucht, ob es Unterschiede in der Innenraumakustik zwischen Elektrofahrzeugen (E-Kfz) und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (V-Kfz) gibt und welche Auswirkungen diese allenfalls auf das Fahrverhalten haben.

Die Ergebnisse der messtechnischen Analyse können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Es konnten klare Unterschiede in der Innenraumakustik von E-Kfz (Mitsubishi i-MiEV u. Renault Fluence) und V-Kfz (BMW X3 u. Toyota Verso) nachgewiesen werden. Allerdings zeigte sich ebenfalls ein deutlicher Einfluss der Bauweise des betrachteten Fahrzeuges auf die akustische Innenraumgestaltung. Ein undifferenziertes Betrachten von E-Kfz als im Innenraum leise Fahrzeuge kann daher nicht vollzogen werden.
2. Betrachtet man die im Mittel auftretenden Schalldruckpegel im Fahrzeug, so erkennt man bei den E-Kfz sowie beim Hybrid-Kfz deutlich niedrigere Pegel bei niedrigen Geschwindigkeiten. Dieses Verhalten wurde jedoch nicht bis zu hohen Geschwindigkeiten beibehalten, bei höheren Geschwindigkeiten (im Bereich um 100 km/h) kommt es durch den Fahrtwind fahrzeugbauweisebedingt zu zusätzlichen Geräuschkomponenten durch Strömungen um das Fahrzeug.
3. Bei der Untersuchung spezieller Beschleunigungsvorgänge konnte das klare Auftreten von akustischem Feedback der Motordrehzahl des V-Kfz beobachtet werden. Dieses tritt bei den untersuchten E-Kfz bedingt durch den Elektromotor lediglich in wesentlich geringerem Ausmaß auf, ist aber nichtsdestotrotz beobachtbar.

4. Die Analyse des Zusammenhanges der Longitudinalbeschleunigung mit dem auftretenden Innenraumgeräuschpegel zeigte ebenfalls sichtbare Unterschiede zwischen den betrachteten Fahrzeugklassen. Das Abbremsen mittels Rekuperation ist deutlich sichtbar, hat aber auf den Gesamtschalldruckpegel keinen merklichen Einfluss.
5. Bei dem gut gedämmten E-Kfz (Renault Fluence) - wie auch beim Hybridfahrzeug (Toyota Prius) - sieht man das Fehlen des Motorengeräusches bei niedrigen Geschwindigkeiten des Fahrzeuges deutlich. Auch offensichtlich ist der sofortige Anstieg des Innenraumgeräuschpegels durch die auftretende Motorenbelastung bei dem untersuchten V-Kfz.

Zusätzlich wurden die Probanden nach den Testfahrten nach ihren Eindrücken befragt. Aus deren subjektiven Rückmeldungen konnte folgendes festgehalten werden:

1. Einige Versuchspersonen erwähnten, dass das Fehlen des akustischen Feedbacks des Motors es schwieriger machte, die vorgeschriebenen Geschwindigkeitsbegrenzungen einzuhalten.
2. Gerade das klare akustische Feedback während Beschleunigungsvorgängen bei V- Kfz hat potentiell einen Einfluss auf das Fahrverhalten der Lenker. Diese Tatsache wurde durch das Fehlen von Schaltzeitpunkten bei den E-Kfz noch zusätzlich verstärkt.
3. Es wurde durchgehend angemerkt, dass ein wesentlicher Unterschied in der Innenraumakustik zwischen den beiden E-Kfz (Mitsubishi i-MiEV u. Renault Fluence) besteht, verursacht durch die unterschiedliche Bauweise bzw. Schalldämmung der Karosserie.

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass sich die Innenraumakustik der untersuchten E- Kfz deutlich von der der V-Kfz unterscheidet. Dies konnte sowohl messtechnisch als auch im subjektiven Feedback der ProbandInnen festgestellt werden.

Ein Zusammenhang zwischen veränderter Innenraumakustik und Fahrverhalten konnte aus messtechnischer Sicht nicht nachgewiesen werden. Die subjektiven Rückmeldungen der ProbandInnen zeigen zwar Tendenzen, dass sich die Einschätzung der gefahrenen Geschwindigkeit bei E-Kfz schwieriger gestaltet - inwieweit dies eine Umgewöhnung auf das Fahren mit E-Kfz nach sich zieht, kann zu diesem Zeitpunkt aufgrund des Fehlens von Langzeitdaten und der geringer Anzahl der ProbandInnen nicht beantwortet werden.

Literaturverzeichnis

- [1] JASIC; A study on approach warning systems for hybrid vehicle noise in motor mode; 2009; abgerufen am 02.12.2011 unter:
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2009/wp29grb/ECE-TRANS-WP29-GRB-49-inf10e.pdf>
- [2] NHTSA; Quieter cars and the safety of blind pedestrians: Phase I; 2010, abgerufen am 05.12.2011 unter
<http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NVS/Crash%20Avoidance/Technical%20Publications/2010/811304rev.pdf>
- [3] Morgan, Miller; TRL Project Report PPR525
- [4] BASt, Glaeser, Schmidt, Geräuschwahrnehmung von Elektrofahrzeugen durch Blinde und Sehbehinderte
- [5] Bech S., Zacharov N.; Perceptual Audio Evaluation; 2006
- [6] ISO 362-1:2007 - Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles — Engineering method —Part 1: M and N categories
- [7] Sandberg, Ulf / Ejsmont, Jerzy A.: Tyre/Road Noise Reference Book. Informex (www.informex.info), Kisa 2002
- [8] <http://www.head-acoustics.de>

Anhang I: Auflistung der Stimuli für den Hörversuch

Stimulus Nr.	Stimulusdauer [s]	Hintergrundgeräusch/Umgebung	Fahrzeug	Verkehrssituation/ Geschwindigkeit [km/h]
--------------	-------------------	------------------------------	----------	---

1	15	Durchzugsstraße im städtischen Gebiet	V-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 30 km/h
2	15	Durchzugsstraße im städtischen Gebiet	V-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 40 km/h
3	15	Durchzugsstraße im städtischen Gebiet	V-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 50 km/h
4	15	Durchzugsstraße im städtischen Gebiet	V-Kfz	Beschleunigen / 0 - 50 aus 100m Entfernung
5	15	Durchzugsstraße im städtischen Gebiet	E-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 30 km/h
6	15	Durchzugsstraße im städtischen Gebiet	E-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 40 km/h
7	15	Durchzugsstraße im städtischen Gebiet	E-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 50 km/h
8	15	Durchzugsstraße im städtischen Gebiet	E-Kfz	Beschleunigen / 0 - 50 aus 100m Entfernung
9	20	Seitenstraße im innerstädtischen Gebiet	V-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 10 km/h
10	15	Seitenstraße im innerstädtischen Gebiet	V-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 20 km/h
11	15	Seitenstraße im innerstädtischen Gebiet	V-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 30 km/h
12	15	Seitenstraße im innerstädtischen Gebiet	V-Kfz	Beschleunigen / 0 - 50 aus 100m Entfernung
13	20	Seitenstraße im innerstädtischen Gebiet	E-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 10 km/h
14	15	Seitenstraße im innerstädtischen Gebiet	E-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 20 km/h
Stimulus Nr.	Stimulusdauer [s]	Hintergrundgeräusch/Umgebung	Fahrzeug	Verkehrssituation/ Geschwindigkeit [km/h]
15	15	Seitenstraße im innerstädtischen Gebiet	E-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 30 km/h
16	15	Seitenstraße im innerstädtischen Gebiet	E-Kfz	Beschleunigen / 0 - 50 aus 100m Entfernung
17	20	Seitenstraße im städtischen Bereich	V-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 10 km/h

18	15	Seitenstraße im städtischen Bereich	V-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 20 km/h
19	15	Seitenstraße im städtischen Bereich	V-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 30 km/h
20	15	Seitenstraße im städtischen Bereich	V-Kfz	Beschleunigen / 0 - 50 aus 100m Entfernung
21	20	Seitenstraße im städtischen Bereich	E-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 10 km/h
22	15	Seitenstraße im städtischen Bereich	E-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 20 km/h
23	15	Seitenstraße im städtischen Bereich	E-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 30 km/h
24	15	Seitenstraße im städtischen Bereich	E-Kfz	Beschleunigen / 0 - 50 aus 100m Entfernung
25	20	ländliche Gegend	V-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 10 km/h
26	15	ländliche Gegend	V-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 20 km/h
27	15	ländliche Gegend	V-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 30 km/h
28	15	ländliche Gegend	V-Kfz	Beschleunigen / 0 - 50 aus 100m Entfernung
29	20	ländliche Gegend	E-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 10 km/h
Stimulus Nr.	Stimulusdauer [s]	Hintergrundgeräusch/Umgebung	Fahrzeug	Verkehrssituation/ Geschwindigkeit [km/h]
30	15	ländliche Gegend	E-Kfz	konstante Geschwindigkeit /
31	15	ländliche Gegend	E-Kfz	konstante Geschwindigkeit / 30 km/h
32	15	ländliche Gegend	E-Kfz	Beschleunigen / 0 - 50 aus 100m Entfernung
33	20	Parkplatz in verkehrsberuhigtem Gebiet	V-Kfz	Parksituation - rückwärts ausparken mit Motorstart
34	23,5	Parkplatz in verkehrsberuhigtem Gebiet	E-Kfz	Parksituation - rückwärts ausparken mit Motorstart
35	20	Parkplatz neben Durchzugstrasse	V-Kfz	Parksituation - rückwärts ausparken mit Motorstart

36	23,5	Parkplatz neben Durchzugstrasse	E-Kfz	Parksituation - rückwärts ausparken mit Motorstart
----	------	---------------------------------	-------	---

Anhang II: Schalldruckpegelverlauf und Frequenzspektren bei konstanten Vorbeifahrten mit 20 km/h aus 1,8 m Entfernung

Auf den nächsten Seiten befindet sich eine graphische Repräsentation der Messergebnisse für die Vorbeifahrten mit 20 km/h. Die Spektrogramme der restlichen Geschwindigkeiten sind in Zusammenhang mit der messtechnischen Auswertung der Hörversuchsaufnahmen in Anhang VIII zu finden. Für jedes untersuchte Fahrzeug gibt es ein Set aus drei Diagrammen. Alle zeigen den Verlauf in Abhängigkeit des Abstandes zwischen Fahrzeugvorderkante und Kunstkopf über die horizontale Achse an.

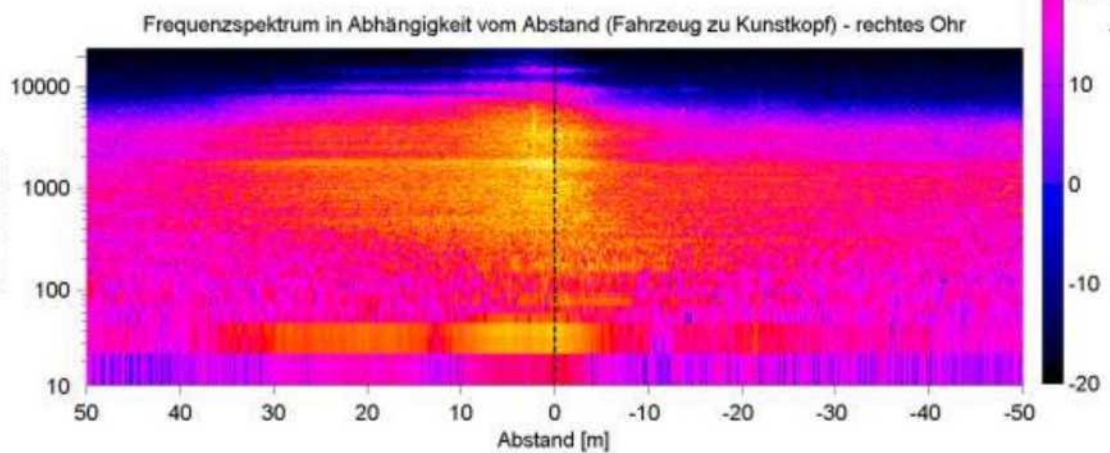
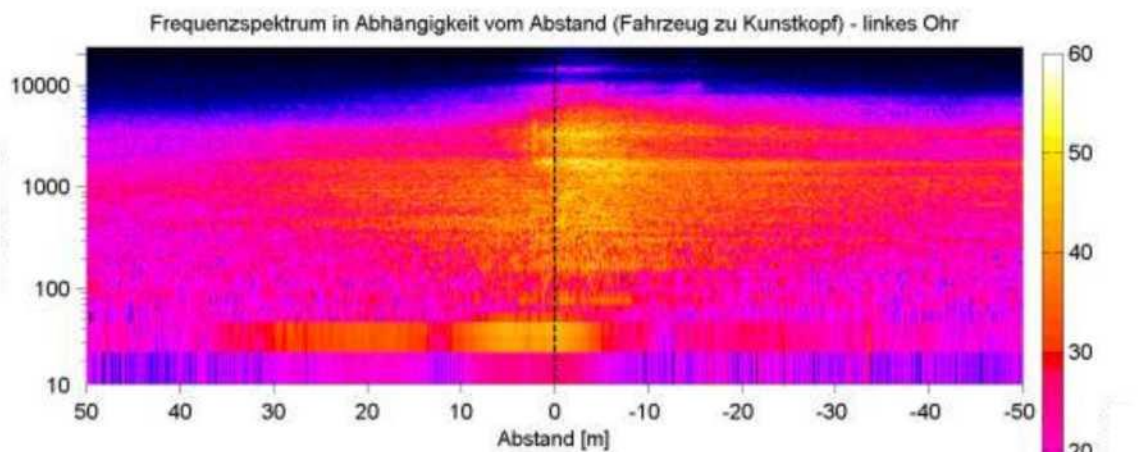
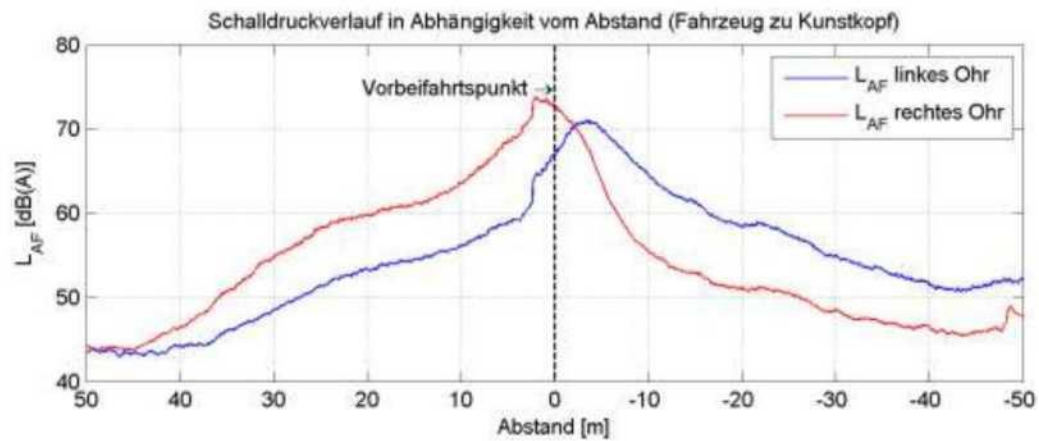
Über die vertikale Achse des ersten Diagramms ist der A-frequenzbewertete¹⁵, fast-zeitbewertete¹⁶ Schalldruckpegel in dB(A) aufgetragen. Die Signale stammen vom linken und rechten Ohr des Kunstkopfes. Im zweiten und dritten Diagramm ist der Verlauf des Frequenzspektrums dargestellt. Die Einfärbung eines Frequenzbereiches steht für eine bestimmte Intensität (siehe Farbbalken rechts der Grafiken). Ein Beispiel zum Lesen der Diagramme: betrachtet man den Frequenzverlauf, so lässt bei ungefähr 30 Hz eine hohe Intensität (gelber Bereich) erkennen. Als Vergleich - die Grundfrequenz eines Kontra-E am Klavier besitzt eine Frequenz von 41,2 Hz.

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

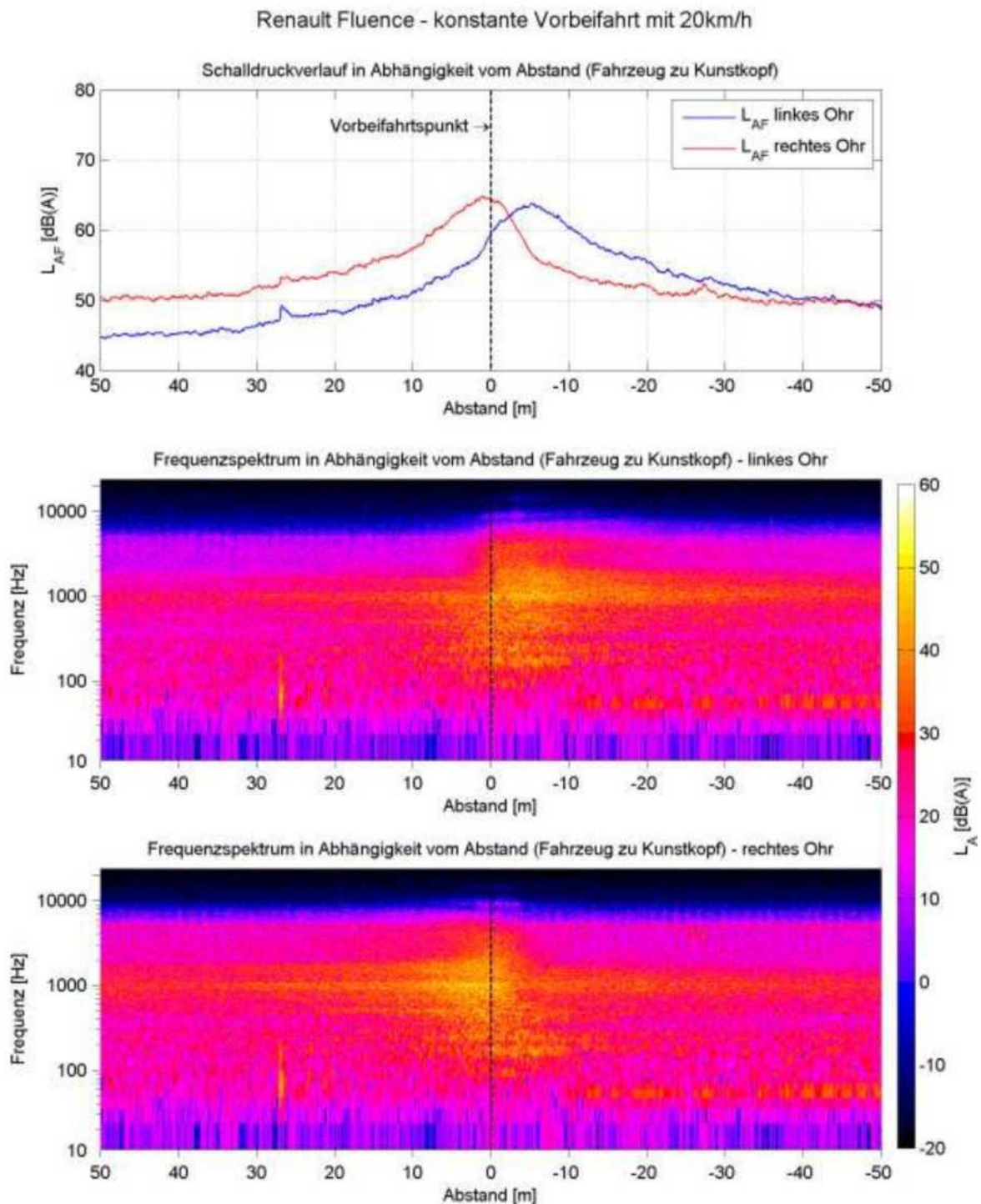
¹⁵ berücksichtigt näherungsweise die frequenzabhängige Eigenschaften des Gehörs bei der Lautstärkenabbildung

¹⁶ berücksichtigt näherungsweise die zeitliche Eigenschaften des Gehörs bei der Lautstärkenabbildung

Toyota Verso - konstante Vorbeifahrt mit 20km/h

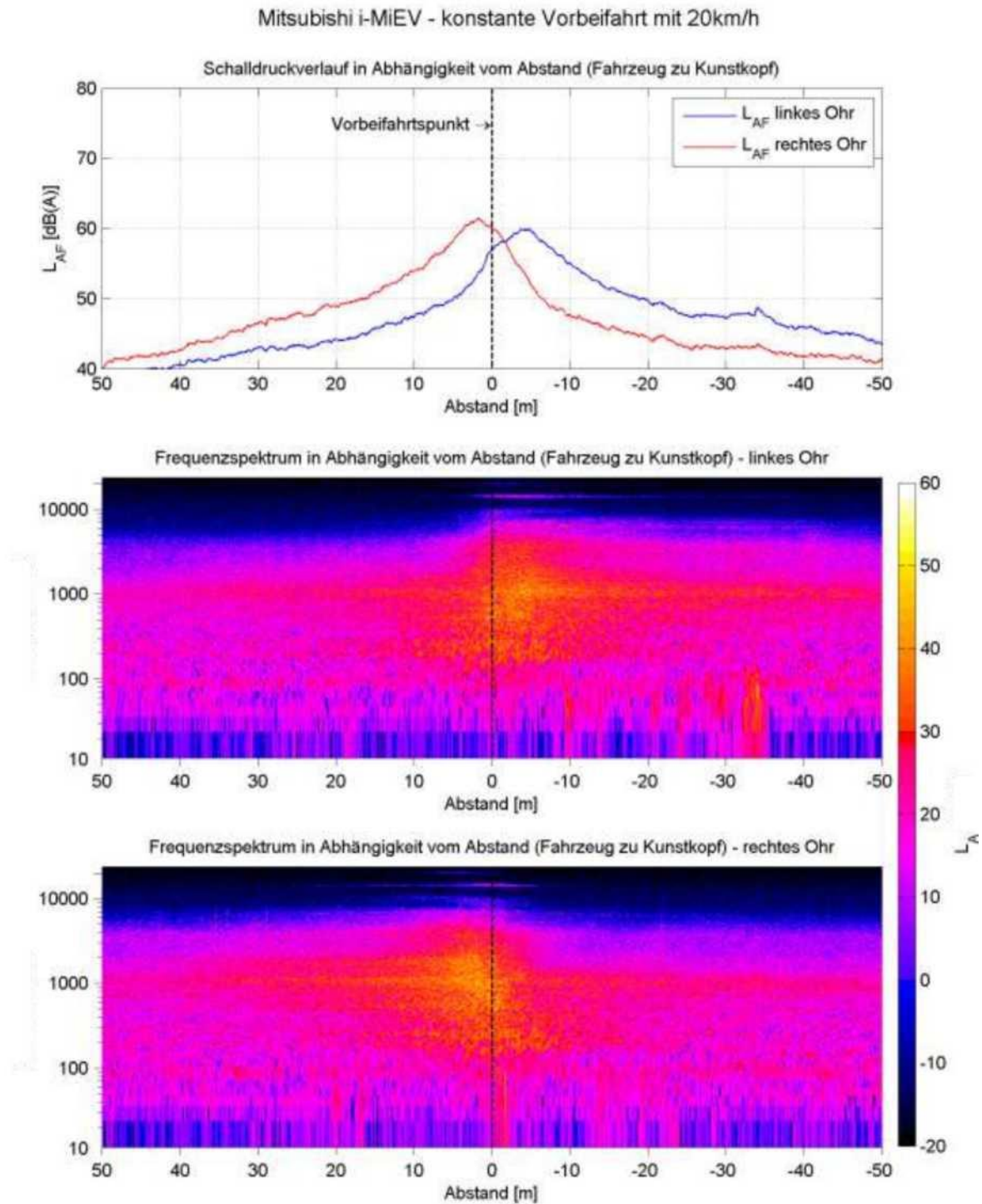


[dEKA]



Anmerkung: Während der Aufnahme des Renault Fluence war das Geräusch einer Industriemaschine deutlich wahrnehmbar. Dies zeigt sich auch in den Messergebnissen durch einen erhöhten Grundgeräuschpegel als im Frequenzspektrum. Bei der Interpretation dieser Grafiken ist daher Vorsicht geboten.

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]



JdB{A}

Anhang III: Fragebogen Hörversuch

1. Diagnostizierte Einschränkungen des Hörvermögens:

Ja	Links	rechts
Teilweise		
Ganz		

korrigiert:

☐ nein

☐ nein

☐ teilweise

☐ ganz

2. Diagnostizierte Einschränkungen des Sehvermögens:

Ja	Links	rechts
- Kurzsichtigkeit		
- Weitsichtigkeit		

☐ **nein** korrigiert durch ☐ **teilweise** ☐ **ganz**
☐ Brille ☐ Kontaktlinsen ☐ gar nicht

3. An welcher Stelle bevorzugen Sie es die Straße zu queren? (Mehrfachnennungen möglich)

- ☐ Wo immer ich bin
- ☐ Zebrastreifen
- ☐ Kreuzung
- ☐ Ampel (mit akustischem Signal)
- ☐ Ampel (ohne akustischem Signal)

4. Was stellt für Sie die größte Gefahr beim Überqueren der Straße dar? (Bitte nur 1 Antwort)

- ☐ Auto
- ☐ Bus
- ☐ Lkw
- ☐ Taxi
- ☐ Hintergrundgeräusche
- ☐ RadfahrerInnen
- ☐ Sonstiges:

5. Haben Sie in Ihrem beruflichen Umfeld eine hohe Lärmbelastung?

- ☐ ja ☐ nein
- ☐ wenn ja, welche:

6. Geschlecht
☐ weiblich ☐ männlich

7. Alter
☐ bis 30 ☐ 31 bis 45 ☐ 46 bis 60 ☐ über 60

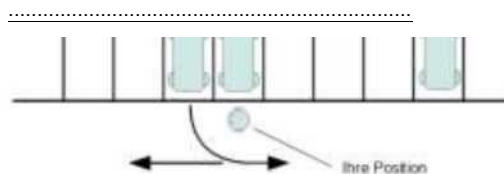
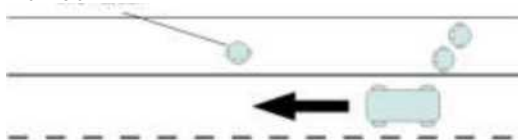
Anhang IV: Leitfaden Hörversuch

1. VOR dem Versuch: Vorlesen der Aufgabenstellung (alles im blau FÜR den Versuchsleiter)

Sehr geehrte Versuchsperson!

Sie werden in den nächsten 20 Minuten eine Reihe von Audioaufnahmen über Kopfhörer vorgespielt bekommen. Auf den Aufnahmen sind Autos, Hintergrundlärm, vorbeigehende Passanten etc. zu hören. Bei all diesen Hörbeispielen handelt es sich um akustische Nachbildungen von realen Orten aus dem Straßenverkehr - zur Veranschaulichung dienen die folgenden Abbildungen:

Szenario Parkplatz
 Szenario: Gehsteigkante bei einer Straße
 Ihre Position



T

Stellen Sie sich nun vor Sie befinden sich an diesen beiden Positionen im Straßenverkehr und warten, bis sie die Straße überqueren können (Bild 1) bzw. stehen an diesem Ort (Bild 2). Ihre Aufgabe ist es nun, uns jenen Zeitpunkt mitzuteilen, an dem Sie ein herannahendes Auto hören. Dies können Sie über die Leertaste an der Tastatur machen. Zum Eingewöhnen werden wir Ihnen vor dem Start des Versuches 3 Beispiele vorspielen. Folgendes noch sagen, wenn Bedarf besteht:

- Während des Hörversuchs sollten Sie am besten den Kopf nicht drehen
- Ihre Augen sollten zu sein.

- Proband sollte keine Brille tragen!!
- Proband soll stehen und nicht sitzen!!

2. Vorspiele der 3 Probestimuli

Stimulus1: Sie befinden sich an einer Gehsteigkante in einer ruhigen Gegend und möchten die Straße überqueren. **(ohne Hintergrundgeräusch mit 30km/h, Verso)**

Stimulus2: Sie befinden sich an einem Parkplatz in einer ruhigen Gegend wie im Bild 2. **(ohne Hintergrundgeräusch!)**

Stimulus3: Sie befinden sich an einer Gehsteigkante auf einer Seitengasse und möchten die Straße überqueren. **(mit Hintergrundgeräusch Seitenstraße! 30km/h)**

3. Beantwortung der möglichen Fragen

Eine Anmerkung noch bevor es losgeht: Drücken Sie die Leertaste bitte nur dann, wenn Sie das herannahende Auto auch wirklich wahrnehmen (ganz so als würden Sie ein Auto im Straßenverkehr so hören, dass Sie die Straße z.B. nicht mehr überqueren würden).

4. Start des Aufgabenblockes Nr. 1

Stimulus 0: Vorspielen des Hintergrundgeräusches und vorlesen aus Tabelle unten Vorspielen der Stimuli

5. Start des Aufgabenblockes Nr. 2

Stimulus 0: Vorspielen des Hintergrundgeräusches und vorlesen aus Tabelle unten Vorspielen der Stimuli

6. Start des Aufgabenblockes Nr. 3

Stimulus 0: Vorspielen des Hintergrundgeräusches und vorlesen aus Tabelle unten Vorspielen der Stimuli

7. Start des Aufgabenblockes Nr. 4

Stimulus 0: Vorspielen des Hintergrundgeräusches und vorlesen aus Tabelle unten Vorspielen der Stimuli

8. Start des Aufgabenblockes Nr. 5

Stimulus 0: Vorspielen des Hintergrundgeräusches und vorlesen aus Tabelle unten Vorspielen der Stimuli

9. Start des Aufgabenblockes Nr. 6

Stimulus 0: Vorspielen des Hintergrundgeräusches und vorlesen aus Tabelle unten Vorspielen der Stimuli

10. Fragebogen ausfüllen

11. Einverständniserklärung + Entschädigung Bargeld Tabelle

Parkplatz leise	A	Sie befinden sich an einem Parkplatz in einer ruhigen Gegend wie im Bild 2
Parkplatz laut	B	Sie befinden sich an einem Parkplatz in einer stark befahrenen Gegend
Vorbeifahrt leise	C	Sie befinden sich an einer Gehsteigkante in einer ruhigen Gegend und möchten die Straße überqueren.
Vorbeifahrt Seitenstraße	D	Sie befinden sich an einer Gehsteigkante in einer ruhigen Seitenstraße und möchten die Straße überqueren.
Vorbeifahrt Innenstadt	E	Sie befinden sich an einer Gehsteigkante in einer Seitenstraße im Stadtzentrum und möchten die Straße überqueren.
Vorbeifahrt Durchzugstrasse	F	Sie befinden sich an einer Gehsteigkante in einer stark befahrenen Straße und möchten die Straße überqueren.

Anhang V: Ergebnisse des Hörversuchs -

Wahrnehmungszeitpunkte / Wahrnehmungsentfernungen

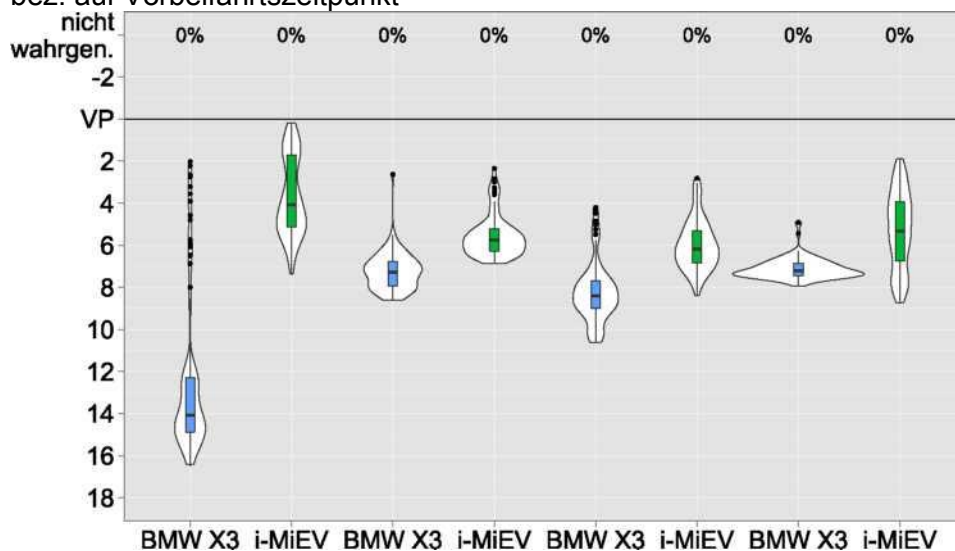
Dieser Anhang beinhaltet die graphische Repräsentation aller Ergebnisse des Hörversuchs für alle verwendeten Hintergrundgeräusche. Die Wahrnehmungszeitpunkte sind dafür auf zwei verschiedenen Varianten angegeben. Die Angabe als verbleibende Zeit in Sekunden, bis das Fahrzeug die Versuchsperson erreicht hat (Wahrnehmungszeitpunkt), ist für ungeschützten Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer (Fußgänger am Straßenrand) relevant. Aus Sicht der Fahrzeuglenkerin oder des Fahrzeuglenkers ist die Angabe des verbleibenden Abstands zur Versuchsperson zum

Wahrnehmungszeitpunkt (Wahrnehmungsentfernung) sinnvoller, da so bei einer bestimmten Geschwindigkeit auch der Bremsweg berücksichtigt werden kann.

Die nachfolgenden Grafiken zeigen die Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte / Wahrnehmungsentfernungen, an denen die Personen den Auslöser betätigt haben. Die Darstellung erfolgt dabei auf zwei verschiedene Arten - zum einen als Boxplot in dem sich 50% aller Wahrnehmungszeitpunkte / Wahrnehmungsentfernungen (grün bzw. blau eingerahmte Fläche) befinden. Ausreißer sind als schwarze Punkte außerhalb der Box eingezeichnet. Zudem wurde jeder Boxplot von einem sogenannten Violinenplot (weiße Fläche) umrahmt. Dieser zeigt eine geschätzte Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der Wahrnehmungszeitpunkte / Wahrnehmungsentfernungen, die um eine vertikale Linie aufgetragen und gespiegelt ist. Eine ausgeprägter „Berg“ in einem Violinenplot steht also für ein begrenztes Zeitintervall (oder ein Entfernungsbereich), in dem verhältnismäßig viele Versuchspersonen den Auslöser betätigt haben. Der Median der Verteilung ist als dicker horizontaler Strich eingetragen.

Je nach Diagrammtyp wurde über die vertikale Achse der Wahrnehmungspunkt / die Wahrnehmungsentfernung bezogen auf die verbleibende Zeit oder die verbleibende Entfernung zum Vorbeifahrtspunkt (=Vorderkante des Fahrzeugs erreicht die an der Gehsteigkante stehende Person) aufgetragen. Am oberen Ende der Achse ist jene Anzahl von Personen in Prozent angeführt, die den Auslöser überhaupt nicht betätigt haben. An jedem diskreten Punkt der horizontalen Achse befindet sich die Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte / Wahrnehmungsentfernungen für ein bestimmtes Szenario/Stimulus.

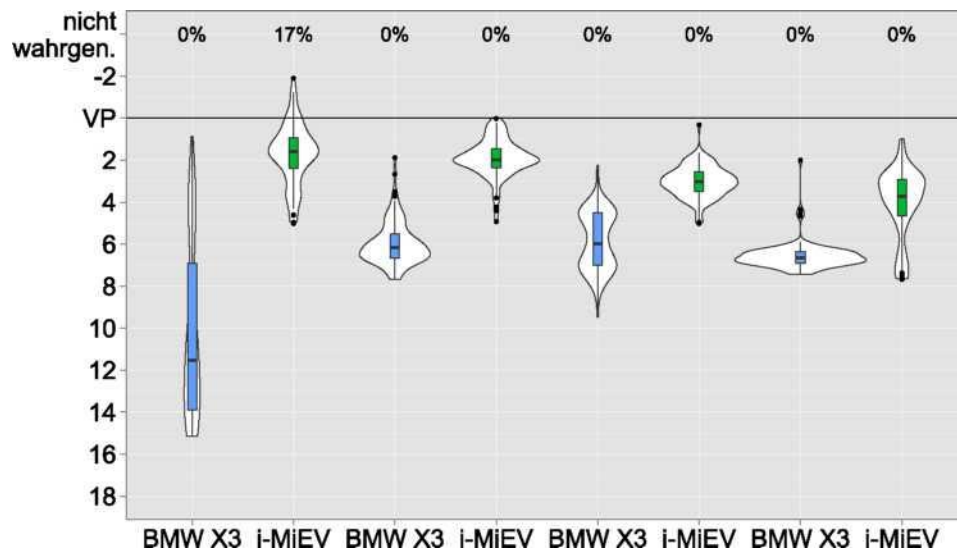
Vorbeifahrt Seitenstraße ländliche Gegend - verbleibende Zeit zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtszeitpunkt



V-Kfz Φ E-Kfz

10km/h 10km/h 20km/h 20km/h 30km/h 30km/h beschl. beschl.
Zeit in Sek. Zeit in Sek.

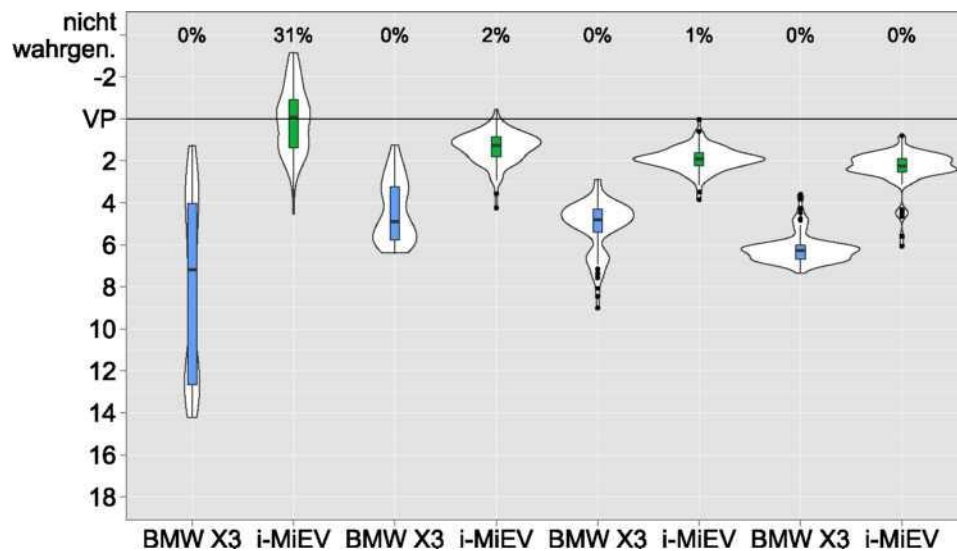
Vorbeifahrt Seitenstraße Außenbezirk - verbleibende Zeit zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtszeitpunkt



^ V-Kfz ϕ E-Kfz

10km/h 10km/h 20km/h 20km/h 30km/h 30km/h beschl. beschl.

Vorbeifahrt Seitenstraße Innenstadt - verbleibende Zeit zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtszeitpunkt

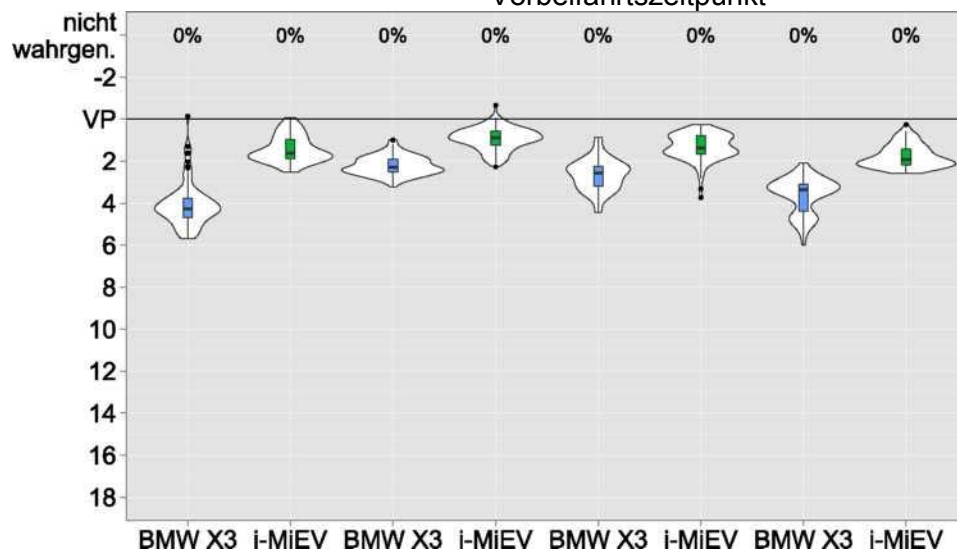


^ V-Kfz ϕ E-Kfz

10km/h 10km/h 20km/h 20km/h 30km/h 30km/h beschl. beschl.

Zeit in Sek. Zeit in Sek.

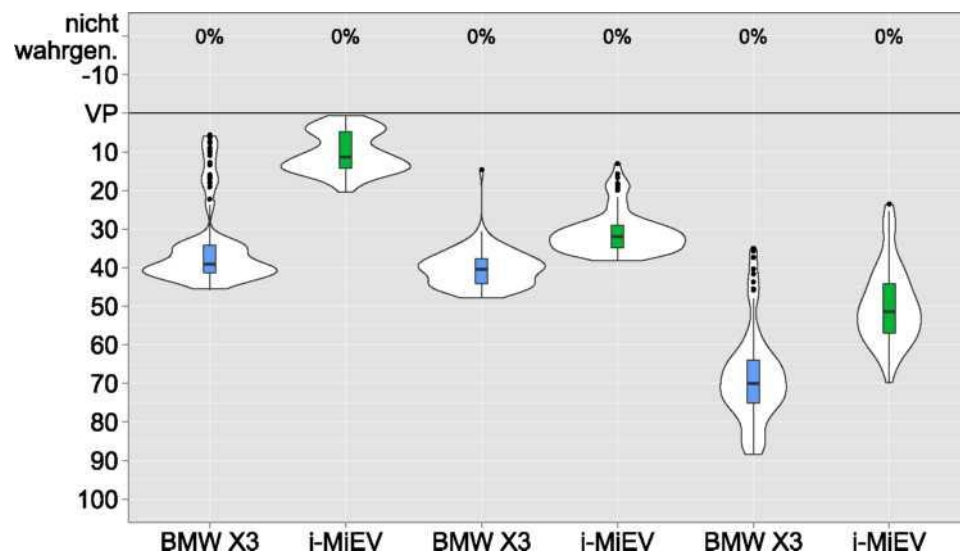
Vorbeifahrt Durchzugsstraße - verbleibende Zeit zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtszeitpunkt



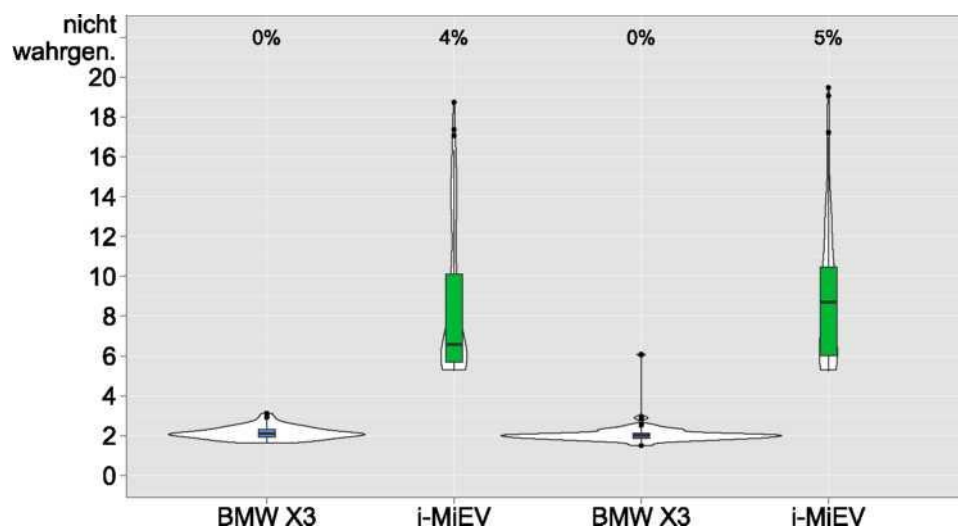
^ V-Kfz ϕ E-Kfz

30km/h 30km/h 40km/h 40km/h 50km/h 50km/h beschl. beschl.

Ausparken Parkplatz Wahrnehmungszeitpunkte
Anhang A Ergebnisbericht AP1 + AP4



^ V-Kfz Φ E-Kfz
 10km/h
 10km/h 20km/h 20km/h 30km/h
 30km/h
 Distanz in Meter Zeit in Sek.



^ V-Kfz Φ E-Kfz

ländliche

Gegend

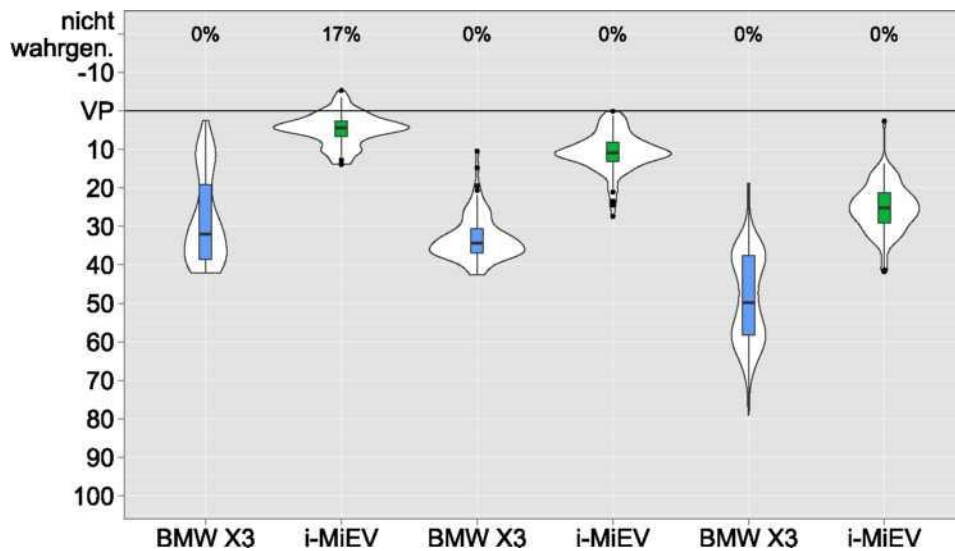
ländliche

Gegend

Durchzugsstr. Durchzugsstr.

Vorbeifahrt Seitenstraße ländliche Gegend - verbleibender Abstand zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtspunkt

Vorbeifahrt Seitenstraße Außenbezirk - verbleibender Abstand zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtspunkt



^ V-Kfz Φ E-Kfz

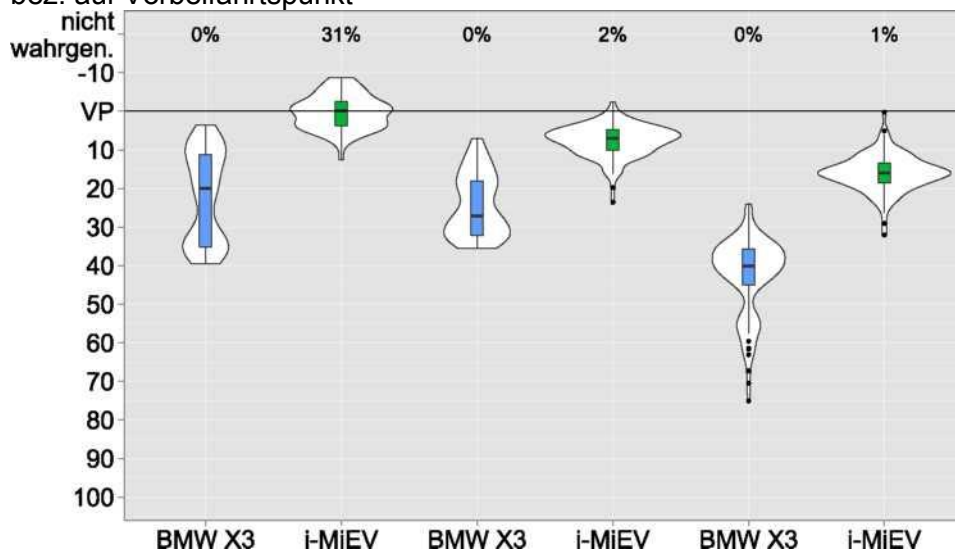
10km/h

10km/h 20km/h 20km/h 30km/h

30km/h

Distanz in Meter Distanz in Meter

Vorbeifahrt Seitenstraße Innenstadt - verbleibender Abstand zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtspunkt



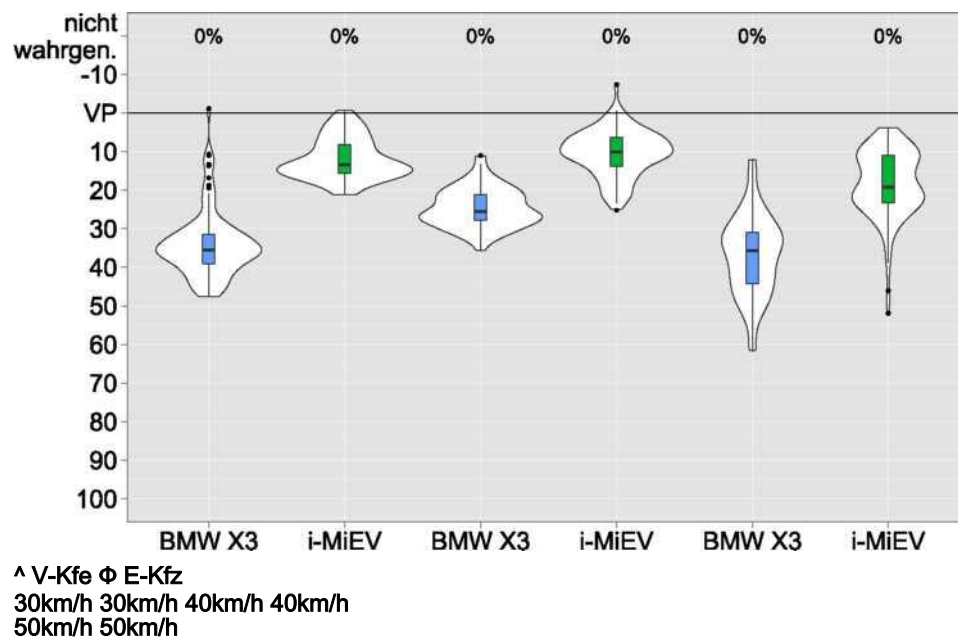
^ V-Kfz Φ E-Kfz

10km/h

10km/h 20km/h 20km/h 30km/h

30km/h

Vorbeifahrt Durchzugsstraße - verbleibender Abstand zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtspunkt
Distanz in Meter

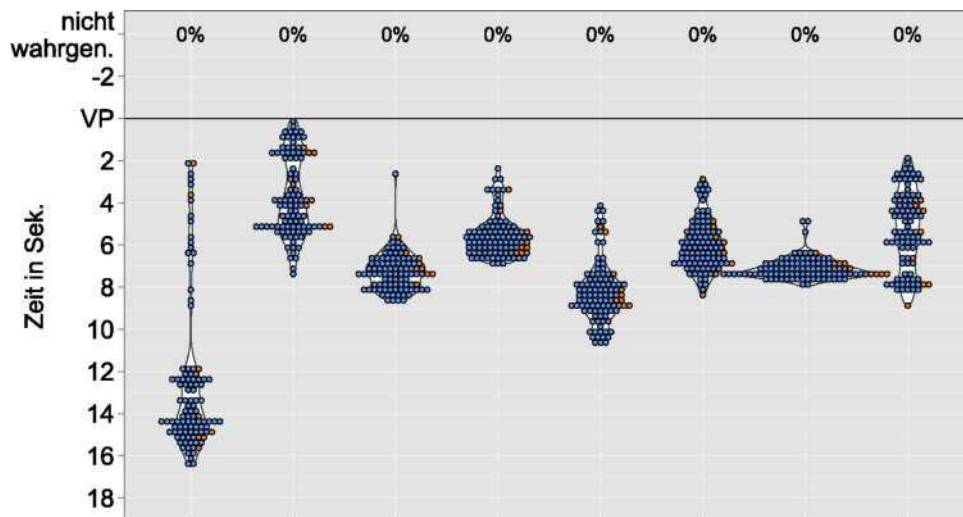


Anhang VI: Ergebnisse des Hörversuchs - Vergleich der Wahrnehmungsentfernungen / Wahrnehmungszeitpunkte zwischen Sehenden und Menschen mit Sehbehinderungen bzw. blinden Menschen

Dieser Anhang beinhaltet die graphischen Vergleiche der Ergebnisse des Hörversuchs zwischen Personen ohne eingeschränkter visueller Wahrnehmung und Personen mit sehr schwacher oder keiner visuellen Wahrnehmungsfähigkeit, für alle Hintergrundgeräusche. Die Wahrnehmungszeitpunkte sind dafür auf zwei verschiedenen Varianten angegeben. Die Angabe als verbleibende Zeit in Sekunden, bis das Fahrzeug die Versuchsperson erreicht hat (Wahrnehmungszeitpunkt), ist für ungeschützten Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer (Fußgänger am Straßenrand) relevant. Aus Sicht der Fahrzeuglenkerin oder des Fahrzeuglenkers ist die Angabe des verbleibenden Abstands zur Versuchsperson zum Wahrnehmungszeitpunkt (Wahrnehmungsentfernung) sinnvoller, da so bei einer bestimmten Geschwindigkeit auch der Bremsweg berücksichtigt werden kann.

Die folgenden Grafiken zeigen die Verteilung der Wahrnehmungsentfernungen / Wahrnehmungszeitpunkte, an denen die Personen den Auslöser betätigt haben. Die Darstellung erfolgt dabei auf zwei verschiedene Arten - zum einen als Dotplot, bei dem die Wahrnehmungsentfernung / der Wahrnehmungszeitpunkt jeder Person als Punkt eingezeichnet ist. Zudem wurde jeder Dotplot von einem sogenannten Violinenplot (weiße Fläche) umrahmt. Dieser zeigt eine geschätzte Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der Wahrnehmungsentfernungen / der Wahrnehmungszeitpunkte, die um eine vertikale Linie aufgetragen und gespiegelt ist. Eine ausgeprägter „Berg“ in einem Violinenplot steht also für einen Bereich, in dem verhältnismäßig viele Versuchspersonen den Auslöser betätigt haben. Der Median der Verteilung ist als dicker horizontaler Strich eingetragen.

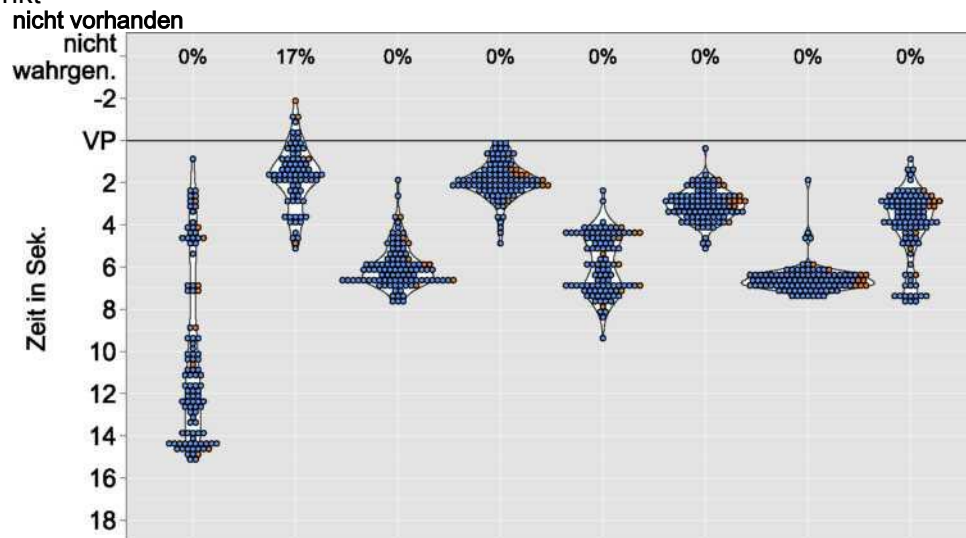
Die Wahrnehmungsentfernungen / Wahrnehmungszeitpunkte beziehen sich immer auf den Vorbeifahrtspunkt (Vorderkante des Fahrzeugs erreicht die an der Gehsteigkante stehende Person - im Diagramm als VP bezeichnet). Am oberen Ende der vertikalen Achse ist jene Anzahl von Personen in Prozent angeführt, die den Auslöser überhaupt nicht betätigt haben. An jedem diskreten Punkt der horizontalen Achse befindet sich die Verteilung der Wahrnehmungsentfernungen / Wahrnehmungszeitpunkte für ein bestimmtes Szenario/Stimulus.



10km/h 10km/h 20km/h 20km/h 30km/h 30km/h beschl. beschl.
visuelle Wahrnehmung keine
Beeinträchtigung sehr schwach / nicht vorhanden

○
○

Vorbeifahrt Seitenstraße ländliche Gegend Wahrnehmungszeitpunkte bez. auf
Vorbeifahrtspunkt



BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV
visuelle Wahrnehmung keine
Beeinträchtigung sehr schwach /

○
○

10km/h 10km/h 20km/h 20km/h 30km/h 30km/h beschl. beschl.

Vorbeifahrt Seitenstraße Außenbezirk

Wahrnehmungszeitpunkte bez. auf Vorbeifahrtspunkt

Vorbeifahrt Seitenstraße Innenstadt

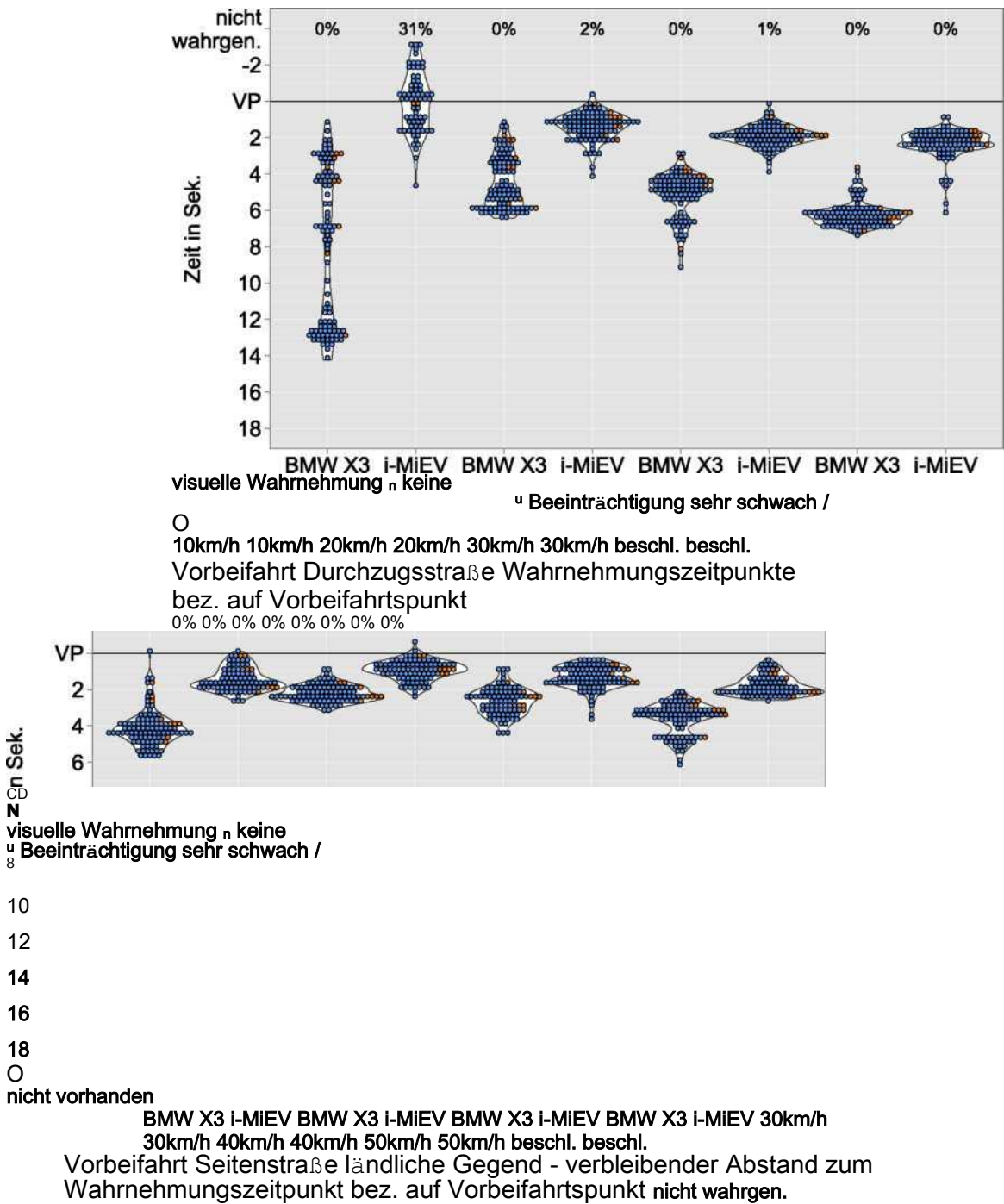
Wahrnehmungszeitpunkte bez. auf Vorbeifahrtspunkt

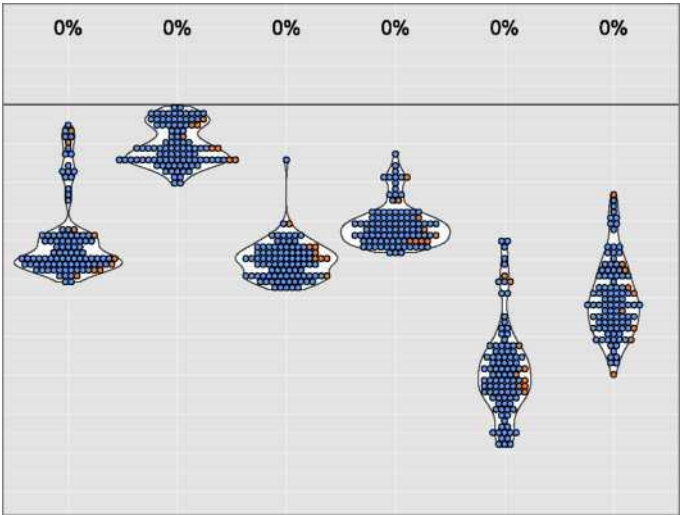
nicht

wahrgen.

-2|

nicht vorhanden





visuelle Wahrnehmung

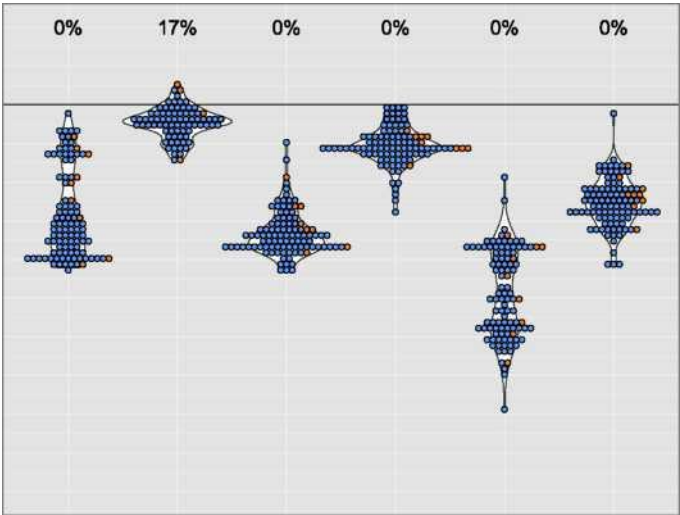
O keine Beeinträchtigung Q sehr schwach/ nicht vorhanden

BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV 10km/h 10km/h 20km/h 20km/h
30km/h 30km/h

10.

Distanz in Meter Distanz in Meter

VP- 10 20 3040 50 60 70 80 90100



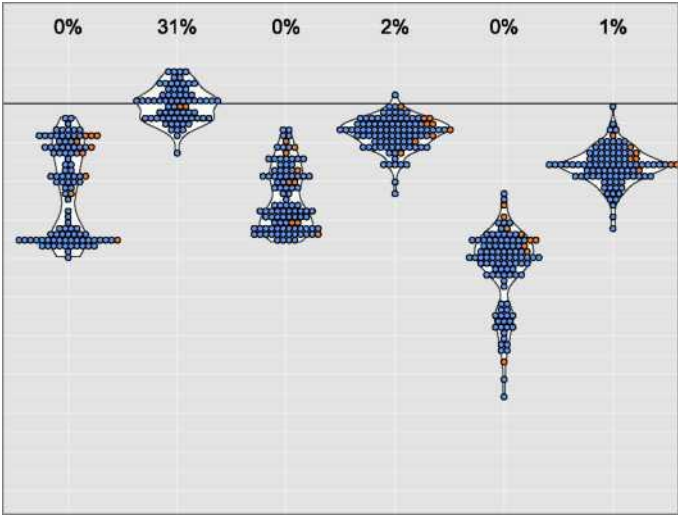
visuelle Wahrnehmung

O keine Beeinträchtigung Q sehr schwach/ nicht vorhanden

BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV 10km/h 10km/h 20km/h 20km/h
30km/h 30km/h

Vorbeifahrt Seitenstraße Außenbezirk - verbleibender Abstand zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtspunkt nicht wahrgen.

10.

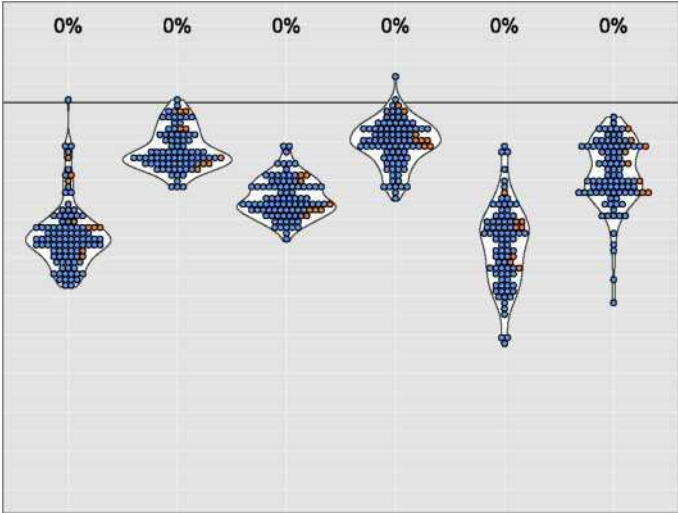


visuelle Wahrnehmung

O keine Beeinträchtigung q sehr schwach/ nicht vorhanden

BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV 10km/h 10km/h 20km/h 20km/h 30km/h 30km/h

Distanz in Meter Distanz in Meter



visuelle Wahrnehmung

O keine Beeinträchtigung sehr schwach/ nicht vorhanden

BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV BMW X3 i-MiEV 30km/h 30km/h 40km/h 40km/h 50km/h 50km/h

0

Vorbeifahrt Seitenstraße in Innenstadt - verbleibender Abstand zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtspunkt nicht wahrgen.

10.

VP- 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Vorbeifahrt Durchzugsstraße - verbleibender Abstand zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf Vorbeifahrtspunkt nicht wahrgen.

10.

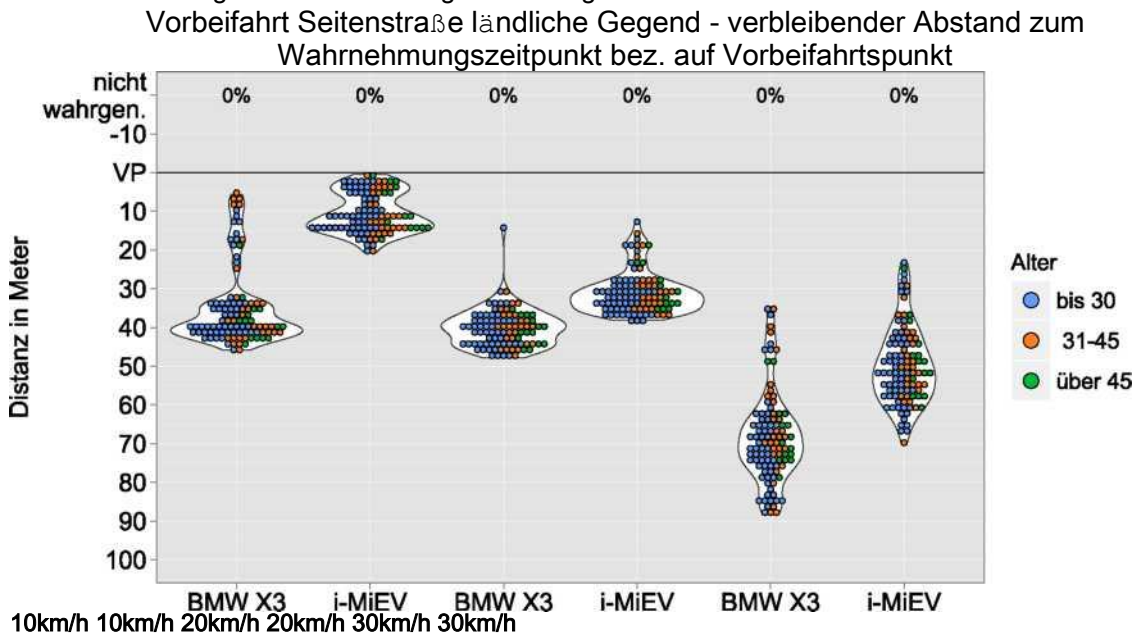
VP- 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Anhang VII: Ergebnisse des Hörversuchs - Vergleich der Wahrnehmungsentfernungen zwischen verschiedenen Altersgruppen

Dieser Anhang beinhaltet die graphischen Vergleiche der Ergebnisse des Hörversuchs zwischen verschiedenen Altersgruppen für alle Hintergrundgeräusche.

Die folgenden Grafiken zeigen die Verteilung der Wahrnehmungsentfernungen, an denen die Personen den Auslöser betätigt haben. Die Darstellung erfolgt dabei auf zwei verschiedene Arten - zum einen als Dotplot, bei dem die Wahrnehmungsentfernung jeder Person als Punkt eingezeichnet ist. Zudem wurde jeder Dotplot von einem sogenannten Violinenplot (weiße Fläche) umrahmt. Dieser zeigt eine geschätzte Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der Wahrnehmungsentfernungen, die um eine vertikale Linie aufgetragen und gespiegelt ist. Eine ausgeprägter „Berg“ in einem Violinenplot steht also für einen Bereich, in dem verhältnismäßig viele Versuchspersonen den Auslöser betätigt haben. Der Median der Verteilung ist als dicker horizontaler Strich eingetragen.

Die Wahrnehmungsentfernungen beziehen sich immer auf den Vorbeifahrtspunkt (Vorderkante des Fahrzeugs erreicht die an der Gehsteigkante stehende Person - im Diagramm als VP bezeichnet). Am oberen Ende der vertikalen Achse ist jene Anzahl von Personen in Prozent angeführt, die den Auslöser überhaupt nicht betätigt haben. An jedem diskreten Punkt der horizontalen Achse befindet sich die Verteilung der Wahrnehmungsentfernungen für ein bestimmtes Szenario/Stimulus.

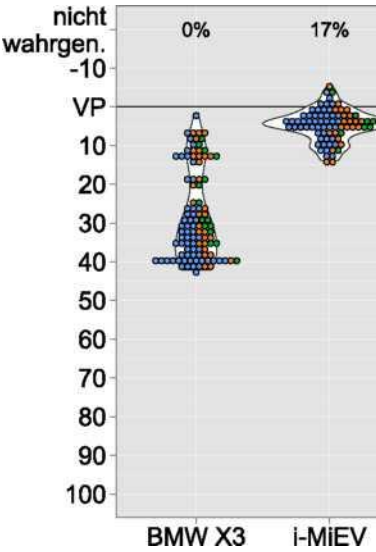


Alter
 O bis 30
 O 31-45
 • über 45
 Vorbeifahrt
 Seitenstraße
 Außenbereich

verbleibe
nder
Abstand
zum

Wahrneh
mungszei
tpunkt
bez. auf

Vorbeifah
rtspunkt



10km/h
10km/h
20km/h
20km/h
30km/h
30km/h

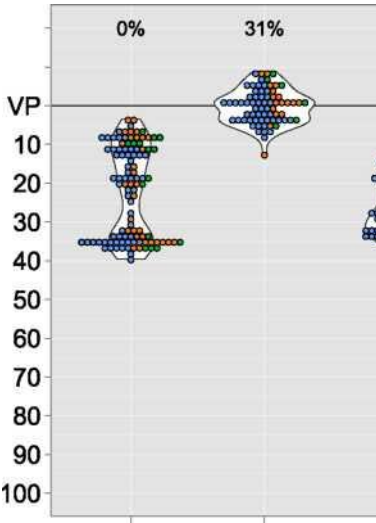
Distanz in
Meter
Distanz in
Meter
Vorbeifah

rt
Seitenstr
aße
Innenstad

t -
verbleibe
nder
Abstand

zum
Wahrneh-
mungszei-
tpunkt

bez. auf
Vorbeifah
rtspunkt
nicht

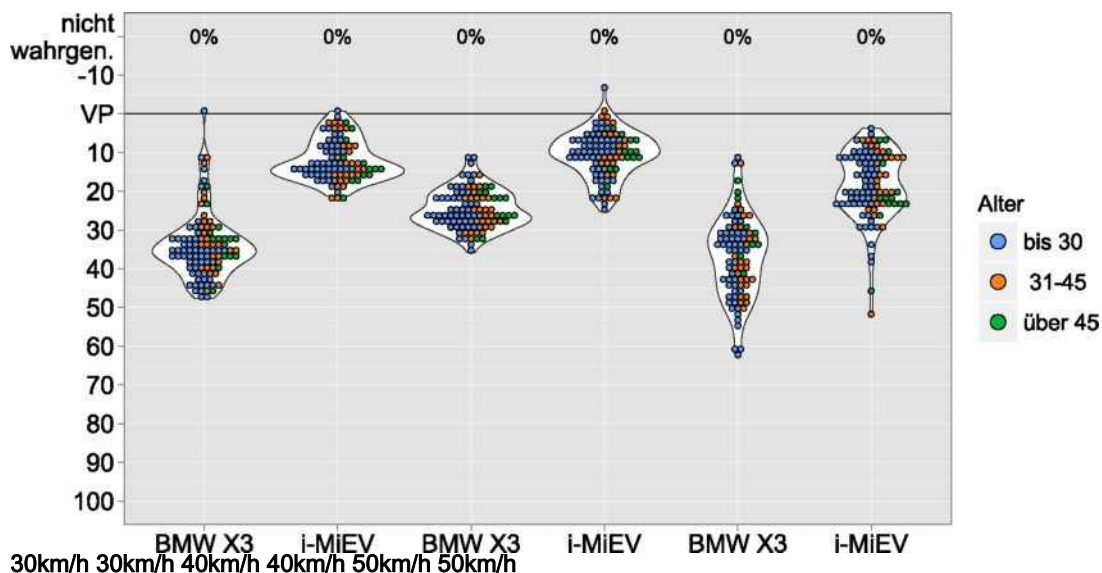


BMW X3
10km/h
i-MiEV
10km/h
BMW X3

20km/h
i-MiEV
20km/h
BMW X3
30km/h

i-MiEV
30km/h

Vorbeifahrt Durchzugsstraße - verbleibender Abstand zum Wahrnehmungszeitpunkt bez. auf
Vorbeifahrtspunkt
Distanz in Meter



Anhang VIII: Vergleich der Hörversuchsergebnisse mit der messtechnischen Analyse der Stimuli

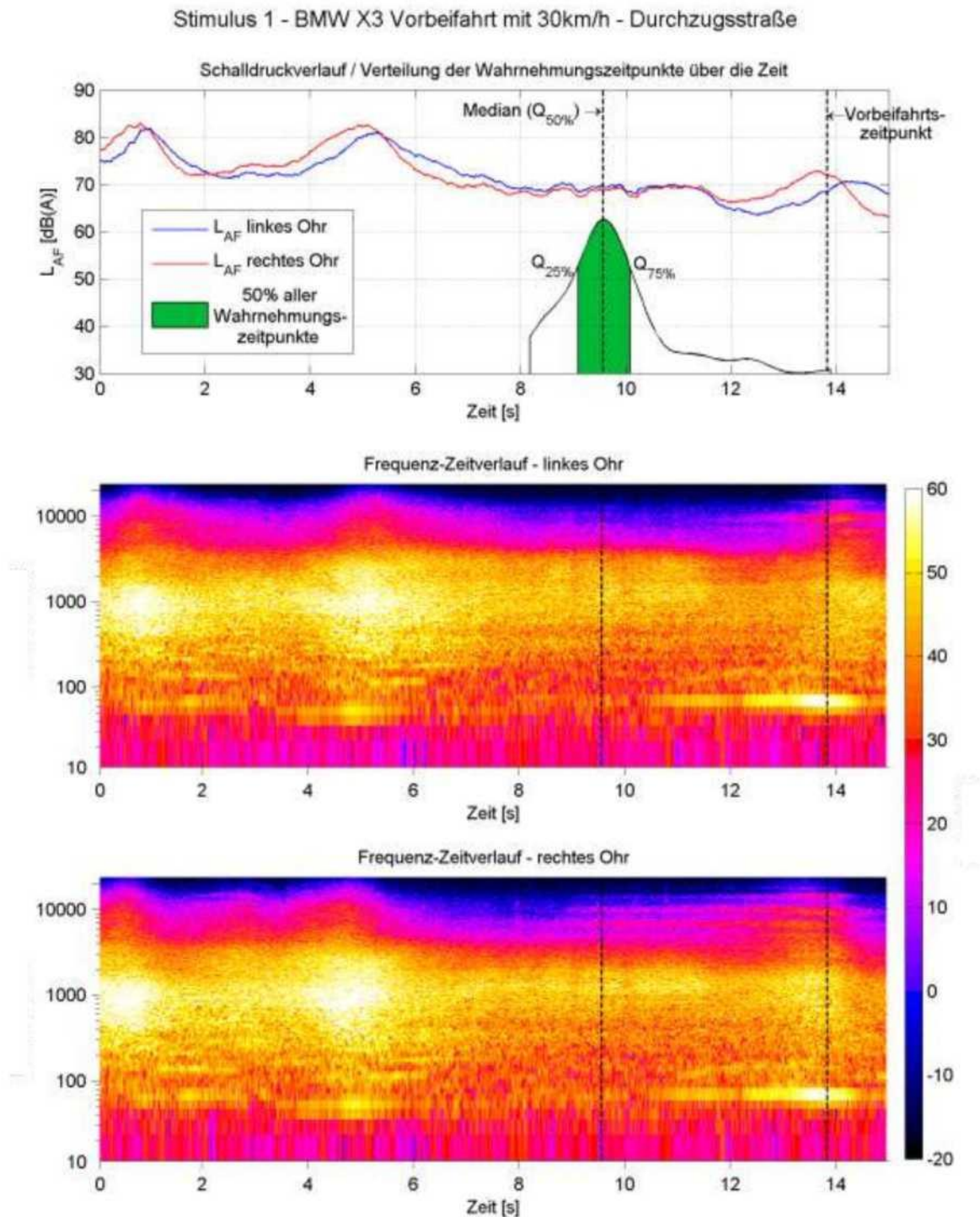
Auf den nächsten 32 Seiten befindet sich zu jedem im Hörversuch vorgespielten Stimulus ein Set aus drei Diagrammen. Alle drei zeigen den zeitlichen Verlauf der wiedergegebenen Aufnahme (blau bzw. rot) über die horizontale Achse.

Über die vertikale Achse des ersten Diagramms ist der A-frequenzbewertete¹⁰, fast-zeitbewertete¹⁷ Schalldruckpegel in dB(A) aufgetragen. Die Aufnahmen stammen von einem binauralen Messsystem und wurden nachträglich entzerrt, sodass sie mit konventionellen Mikrophonanufnahmen vergleichbar sind. Zudem enthält die Grafik eine Schätzung der Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der Wahrnehmungszeitpunkte (gleicher Inhalt wie bei Violinenplots in E.1) aller Versuchspersonen. Die beiden Enden der vertikalen Achse repräsentieren die Wahrscheinlichkeiten 0 bzw. 1. Ein Bereich verstärkter vertikaler Ausprägung steht für ein Zeitintervall, in dem verhältnismäßig viele Leute den Auslöser betätigt haben. Rund die Hälfte aller Versuchspersonen betätigte ihn innerhalb der grünen bzw. blauen Fläche. Der Median der Verteilung sowie der Vorbeifahrtspunkt sind als vertikale schwarze strichlierte Linie eingezeichnet.

Im zweiten und dritten Diagramm wurde der zeitliche Verlauf der Frequenzzusammensetzung (auch Spektrogramm genannt) dargestellt. Die Einfärbung eines Frequenzbereiches steht für eine bestimmte Intensität (siehe Farbbalken rechts der Grafiken). Ein Beispiel zum Lesen eines Spektrogramms: betrachtet man den ZeitFrequenzverlauf von Stimulus 1, so lässt sich um den Vorbeifahrtspunkt bei ungefähr 40 Hz eine hohe Intensität (gelber Bereich) erkennen. Als Vergleich - die Grundfrequenz eines Kontra-E am Klavier besitzt eine Frequenz von 41,2 Hz.

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

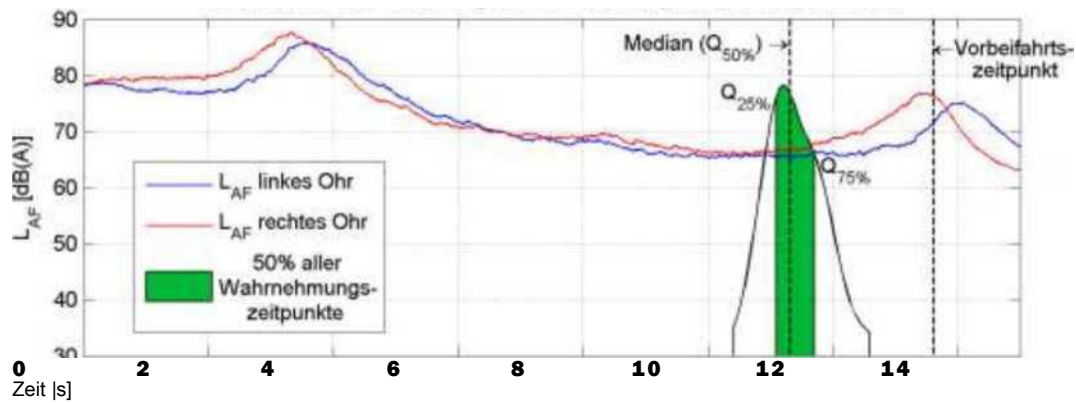
¹⁷ berücksichtigt näherungsweise die zeitliche Eigenschaften des Gehörs bei der Lautstärkenabbildung



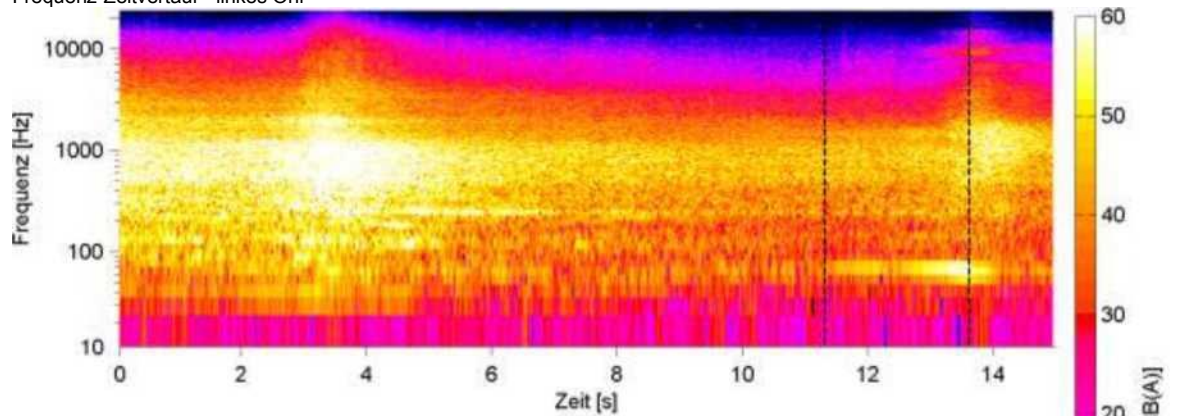
L [dB(A)]

Stimulus 2 - BMW X3 Vorbeifahrt mit 40km/h - Durchzugsstraße

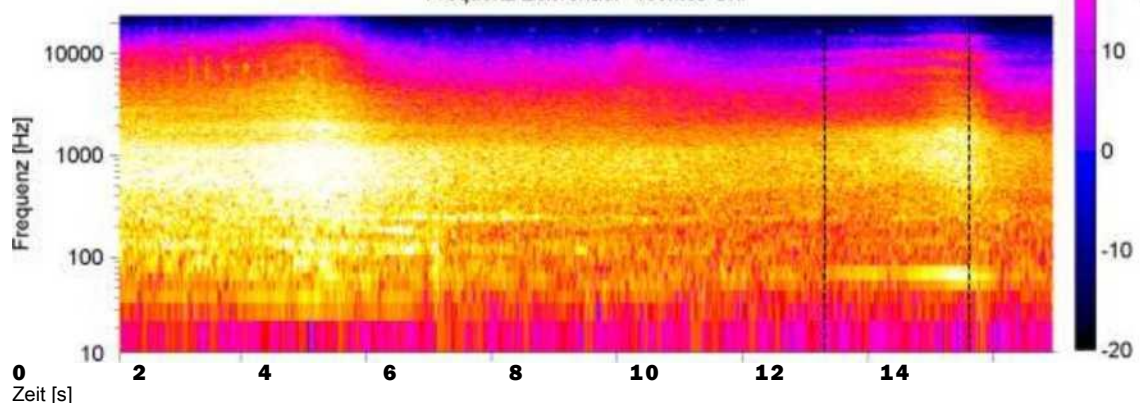
Schalldruckverlauf / Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte über die Zeit



Frequenz-Zeitverlauf - linkes Ohr

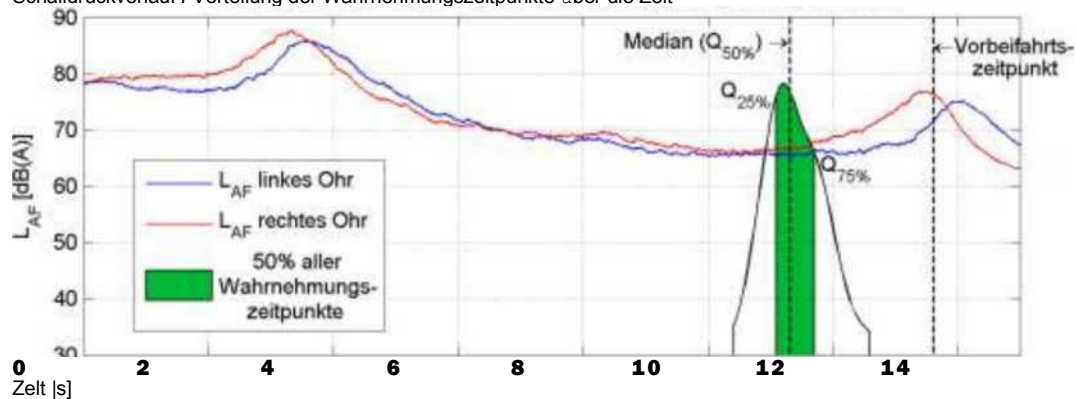


Frequenz-Zeitverlauf - rechtes Ohr

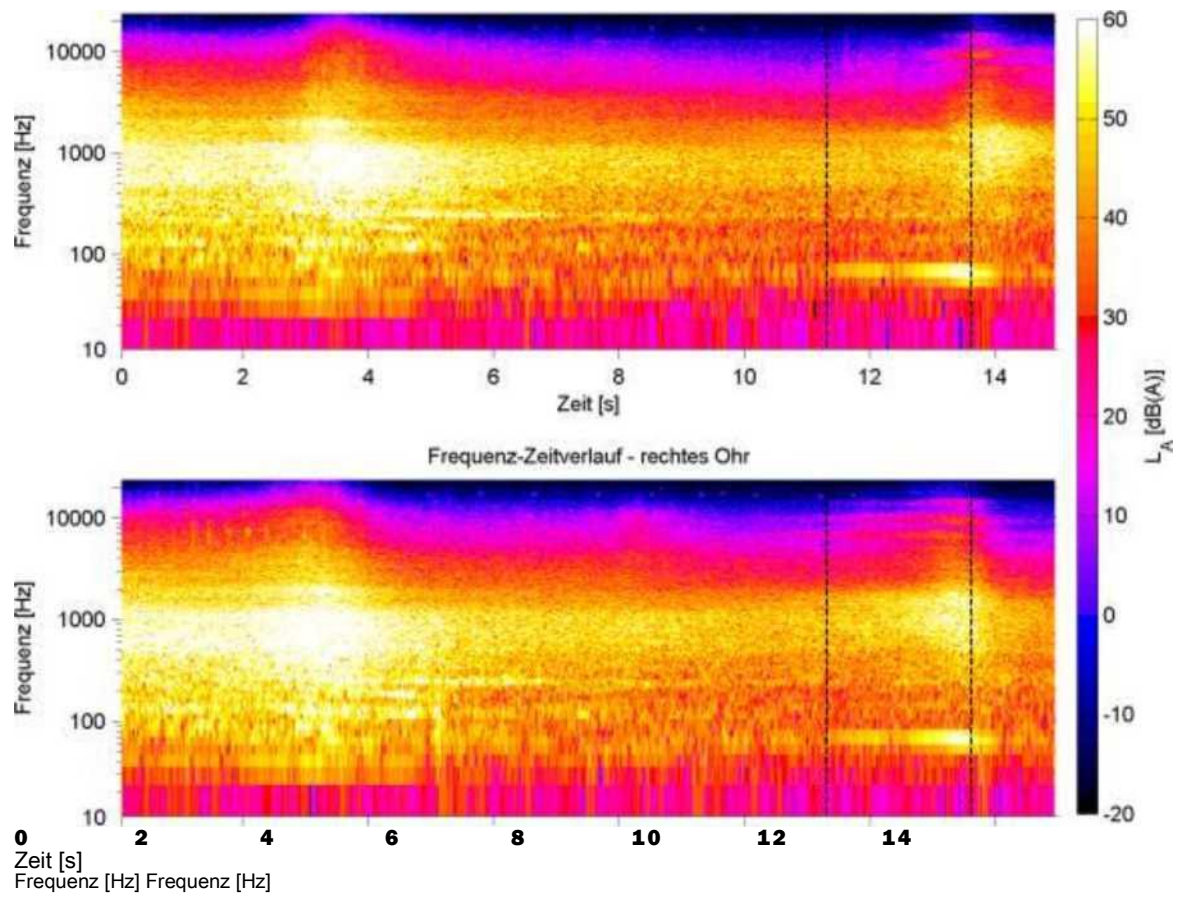


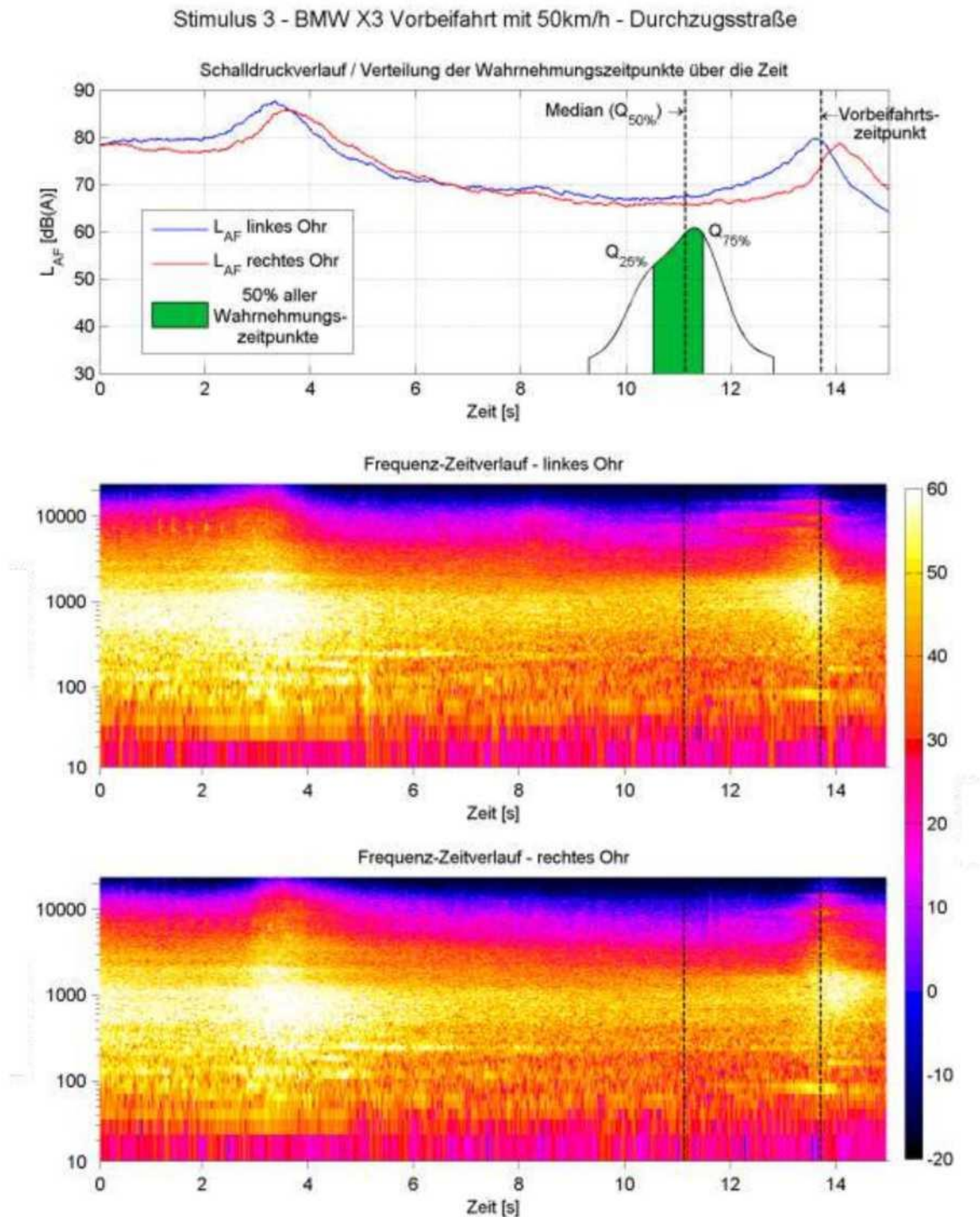
Stimulus 2 - BMW X3 Vorbeifahrt mit 40km/h - Durchzugsstraße

Schalldruckverlauf / Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte über die Zeit



Frequenz-Zeitverlauf - linkes Ohr

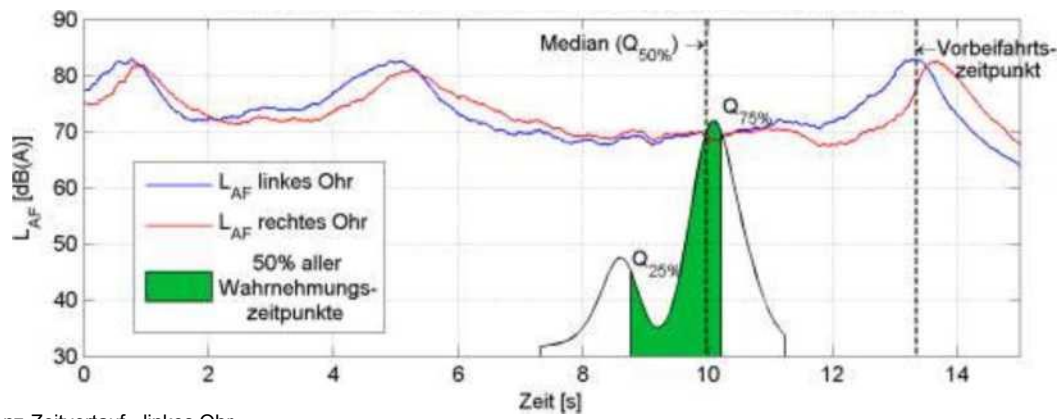




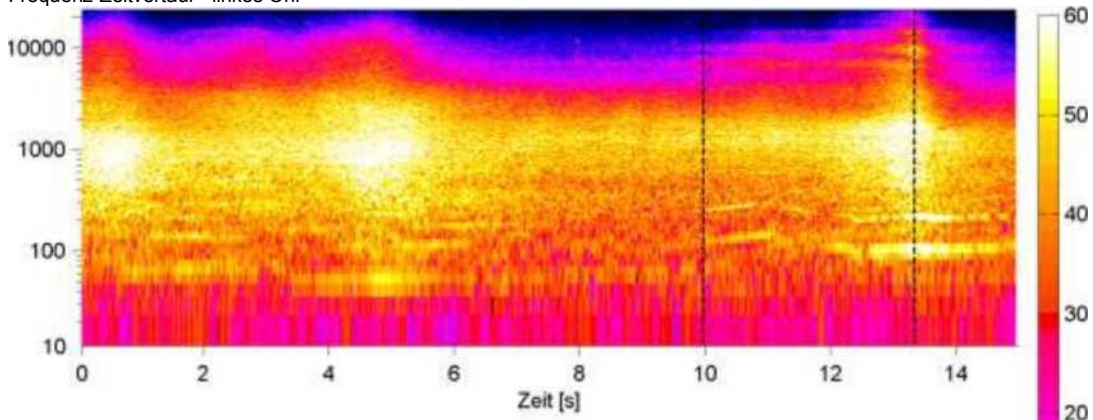
L. (dB(A))

Stimulus 4 - BMW X3 beschleunigte Vorbeifahrt - Durchzugsstraße

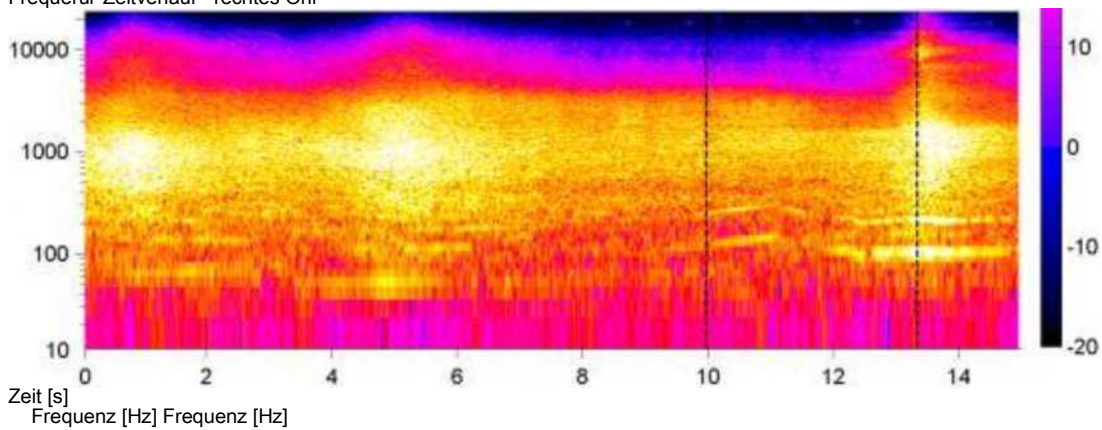
Schalldruckverlauf / Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte über die Zeit



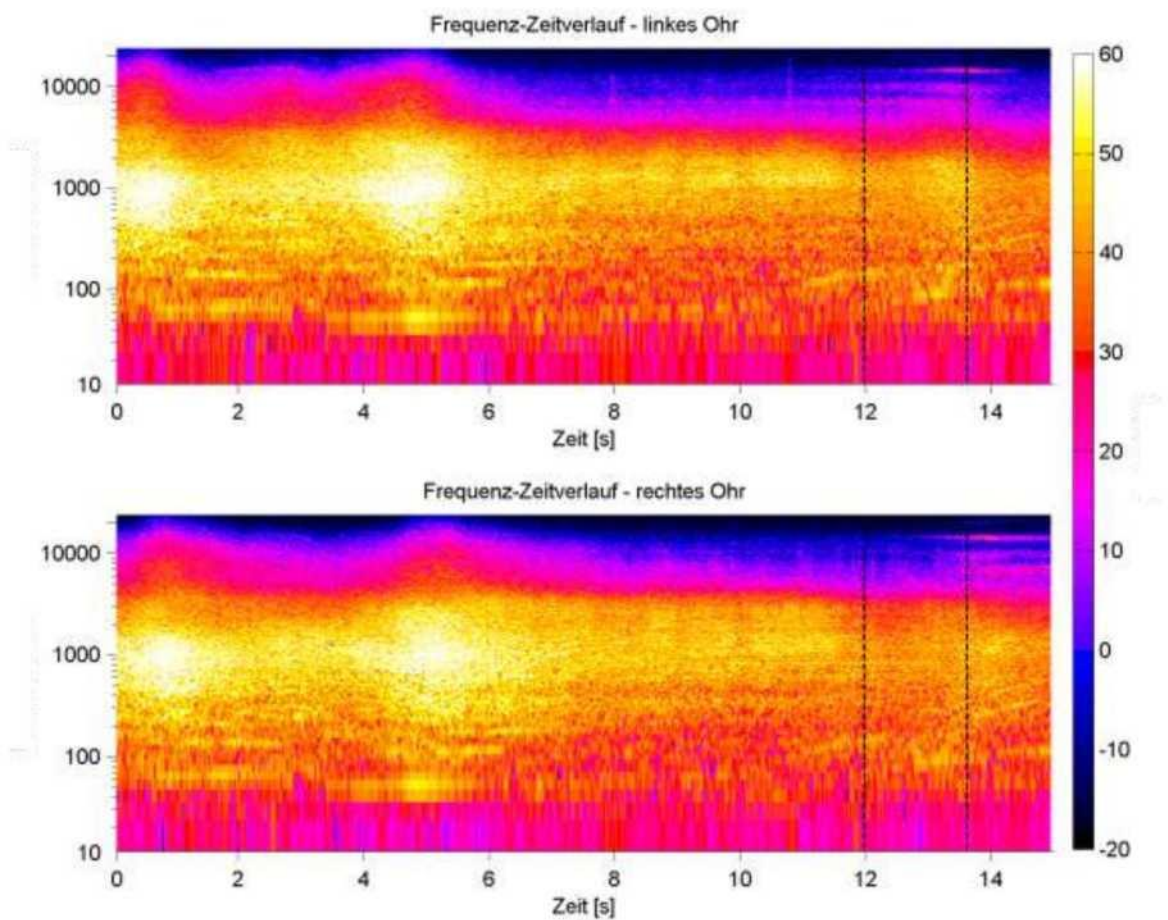
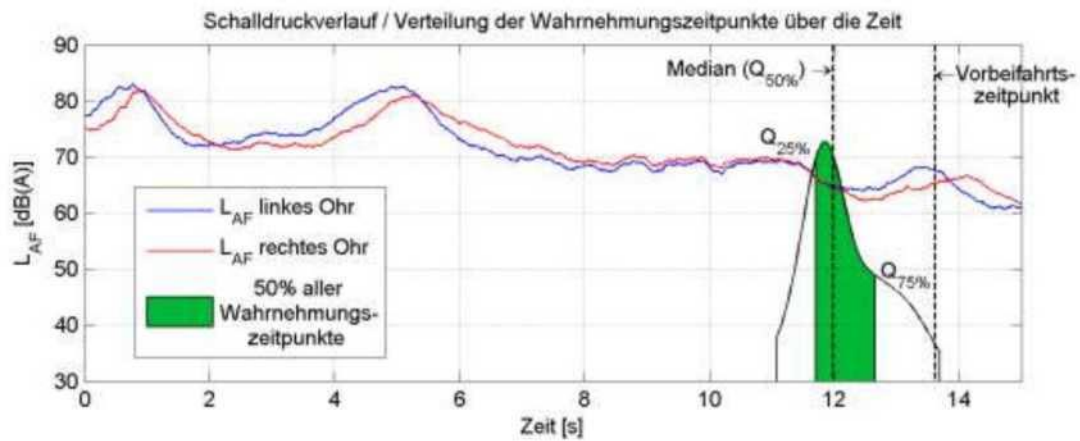
Frequenz-Zeitverlauf - linkes Ohr



Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]
 L_{AF} [dB(A)]
 Frequenz-Zeitverlauf - rechtes Ohr



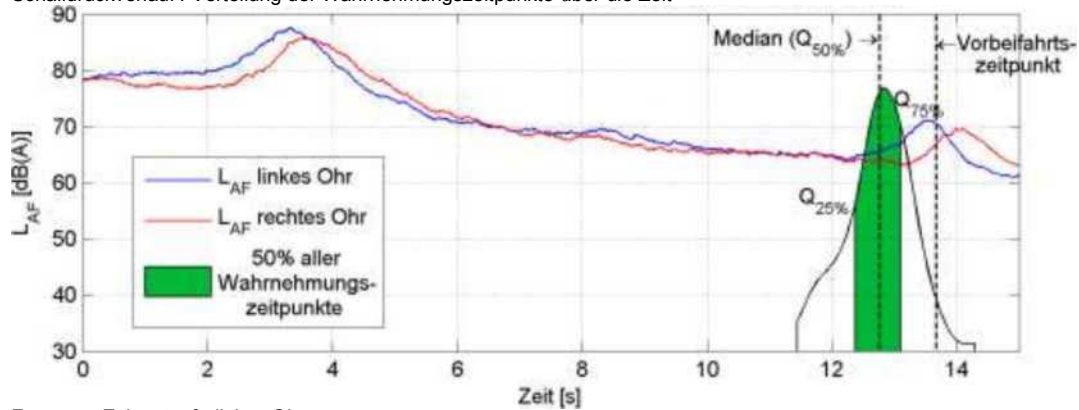
Stimulus 5 - iMIEV Vorbeifahrt mit 30km/h - Durchzugsstraße



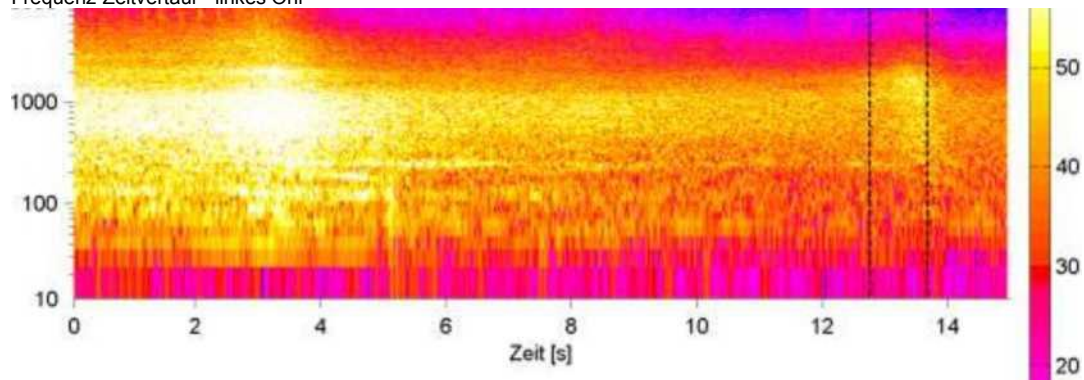
L. [dB(A)]

Stimulus 6 - iMIEV Vorbeifahrt mit 40km/h - Durchzugsstraße

Schalldruckverlauf / Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte über die Zeit



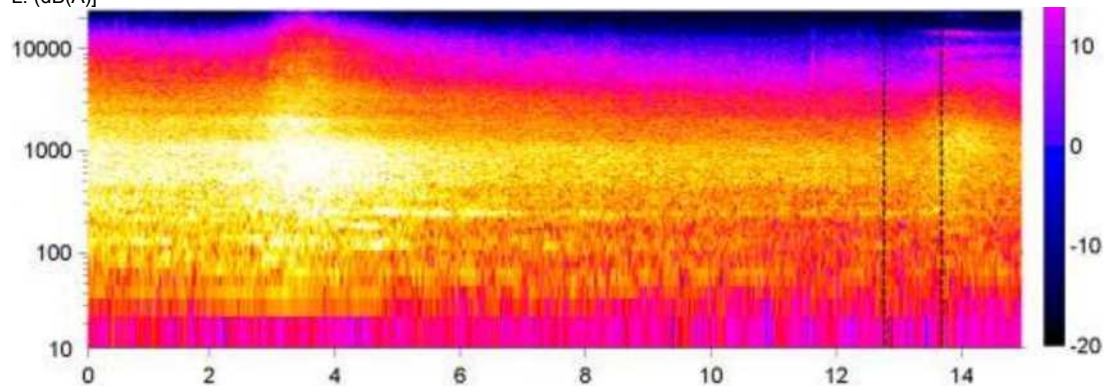
Frequenz-Zeitverlauf - linkes Ohr



Frequenz-Zeitverlauf - rechtes Ohr

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

L. [dB(A)]

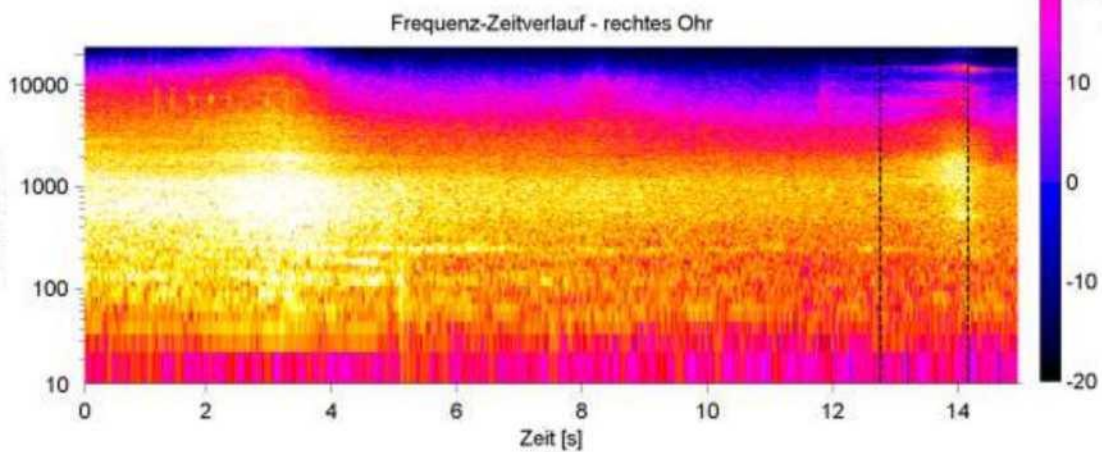
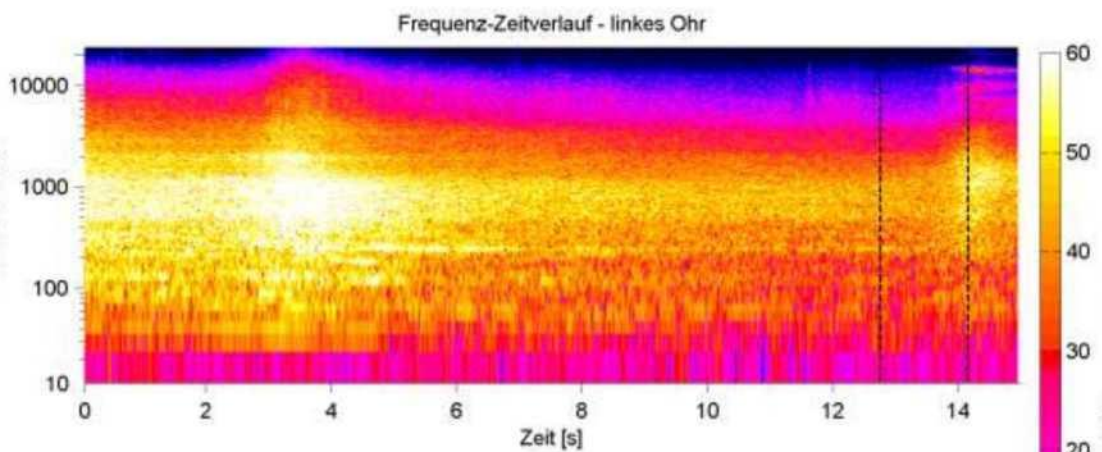
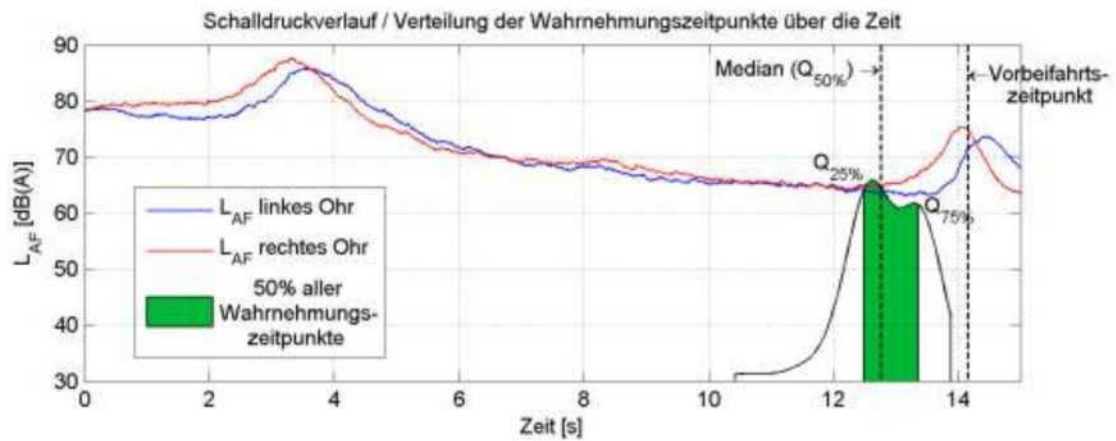


Zeit [s]

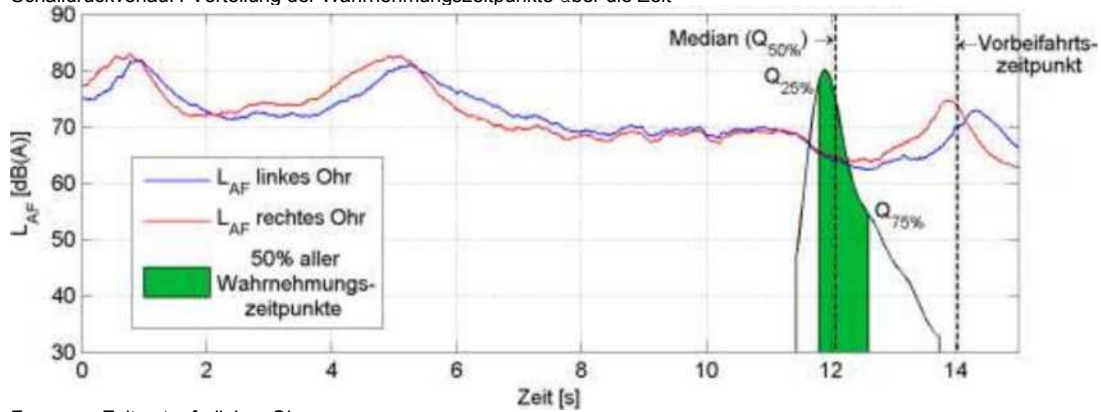
10000 I

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

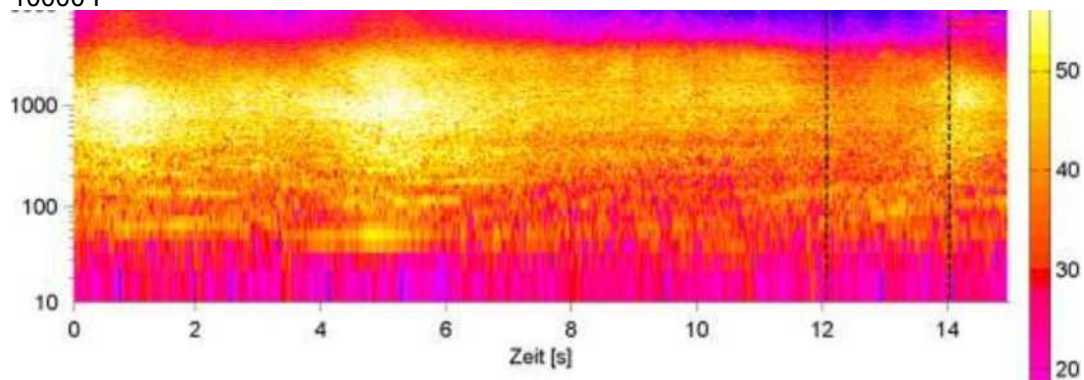
Stimulus 7 - iMIEV Vorbeifahrt mit 50km/h - Durchzugsstraße



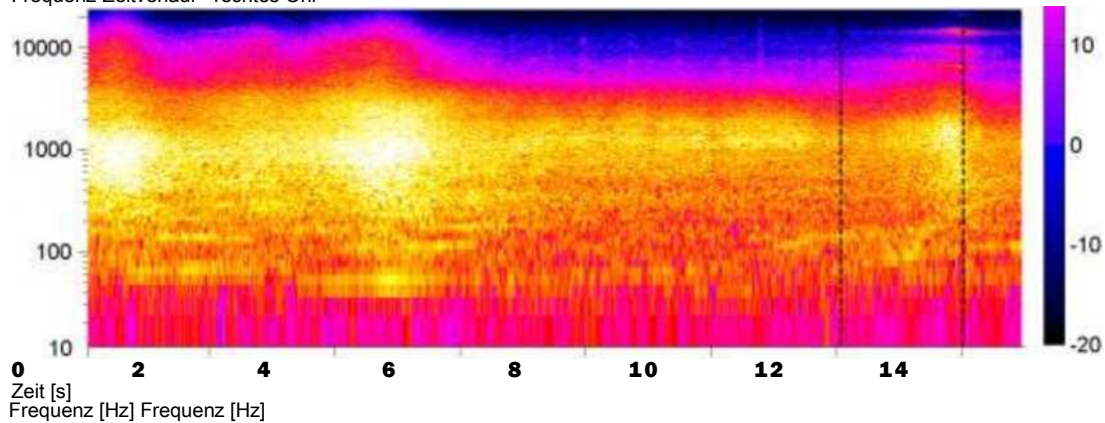
L. (dB(A))
Stimulus 8 - 1M1EV beschleunigte Vorbeifahrt - Durchzugsstraße
 Schalldruckverlauf / Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte über die Zeit

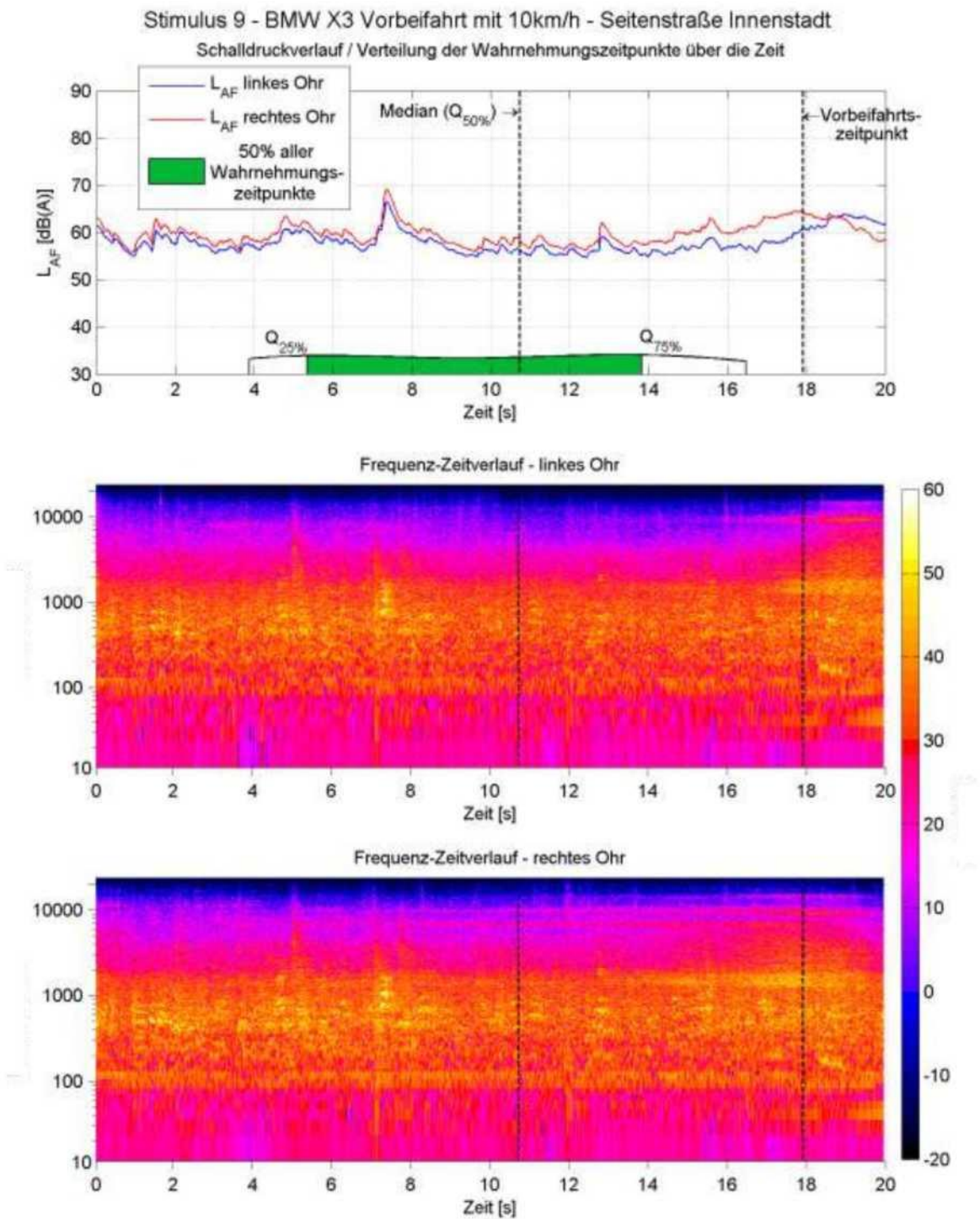


Frequenz-Zeitverlauf - linkes Ohr
 10000 I



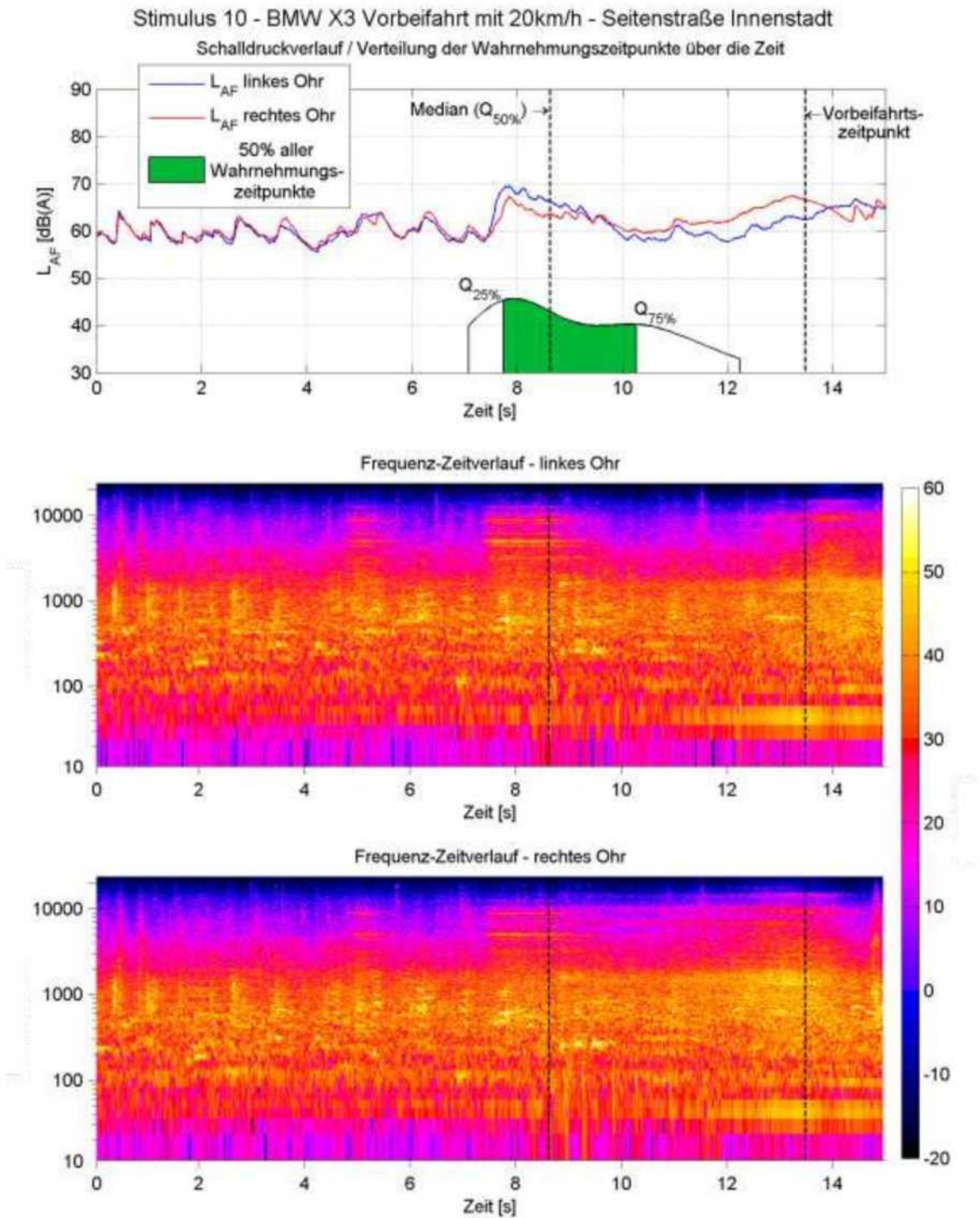
Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]
L. (dB(A))
 Frequenz-Zeitverlauf - rechtes Ohr





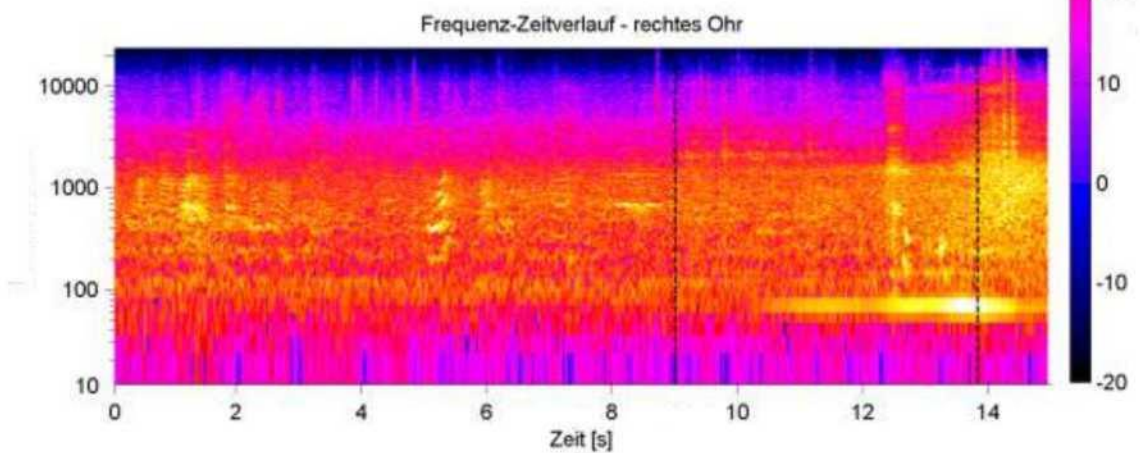
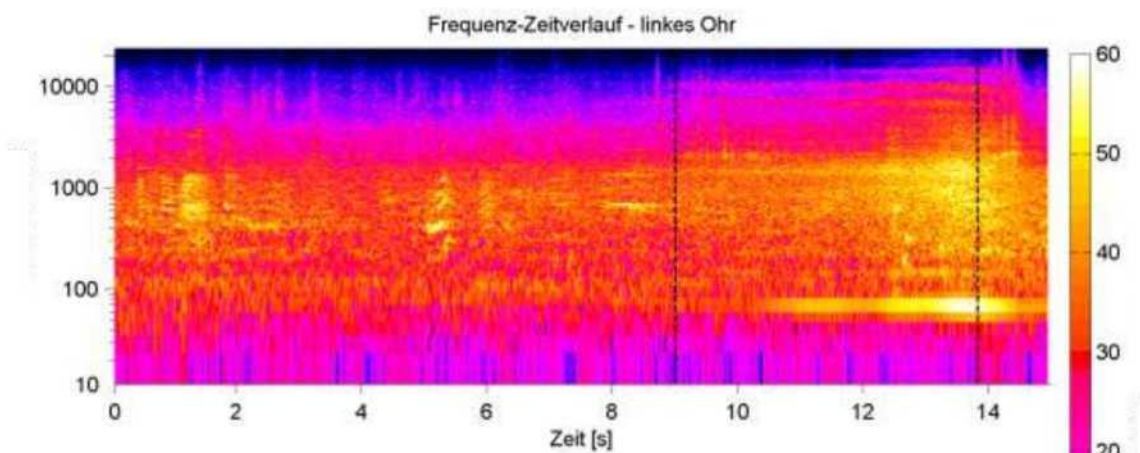
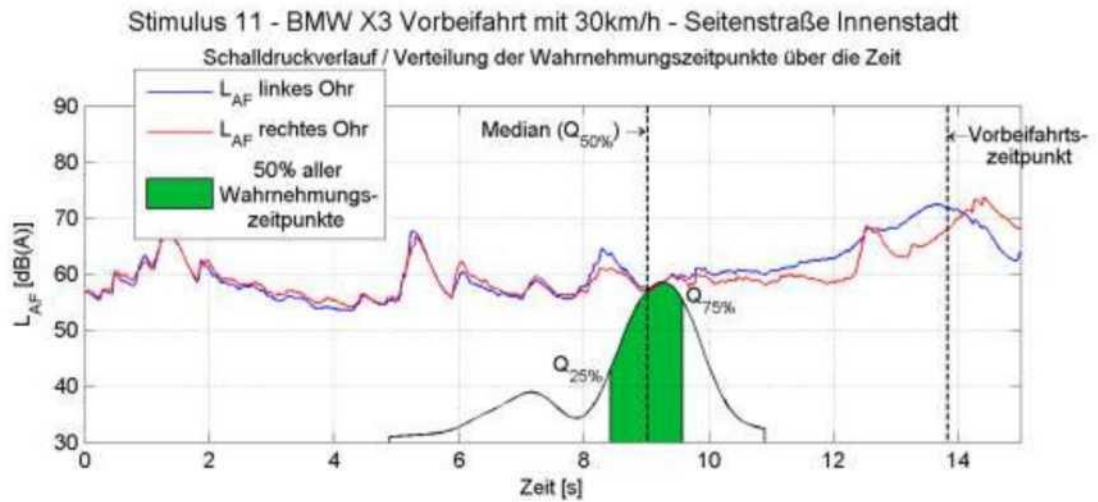
L. (dB(A))

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]



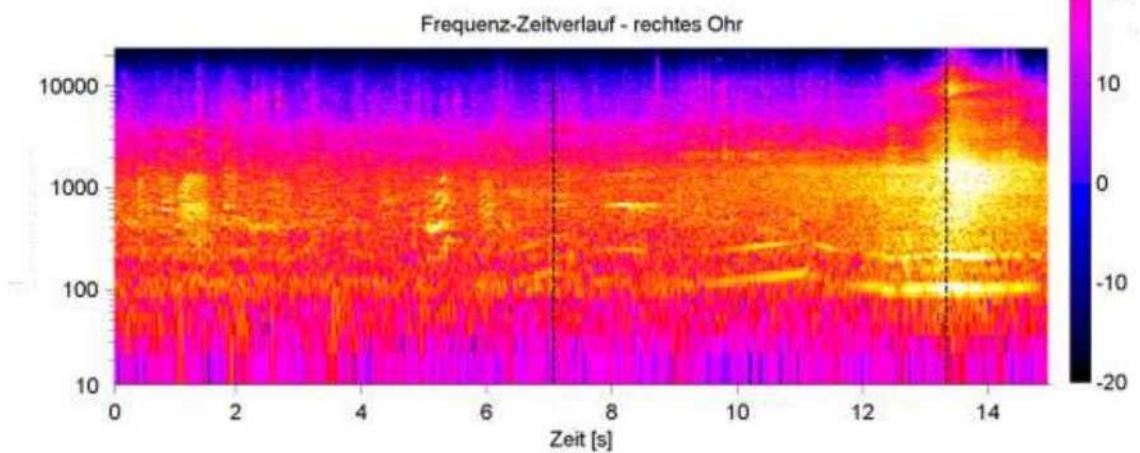
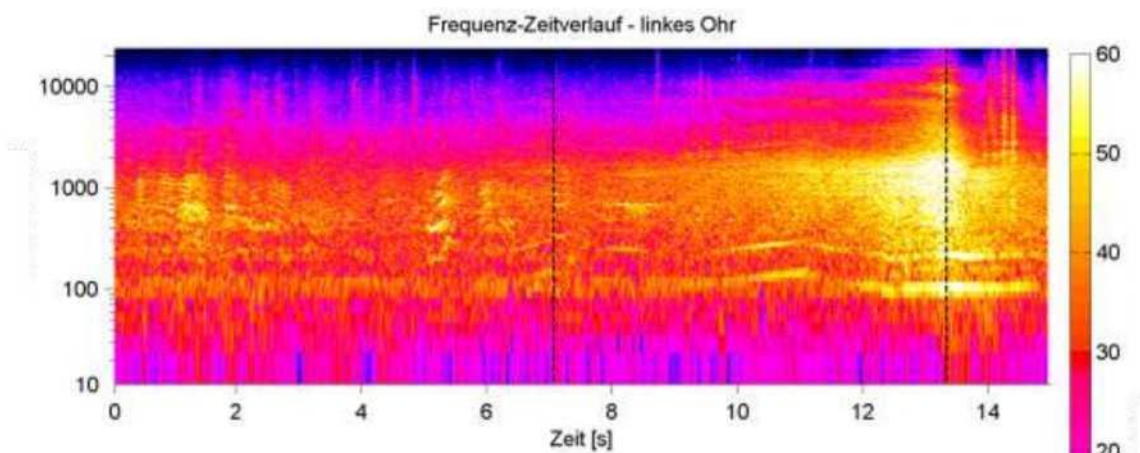
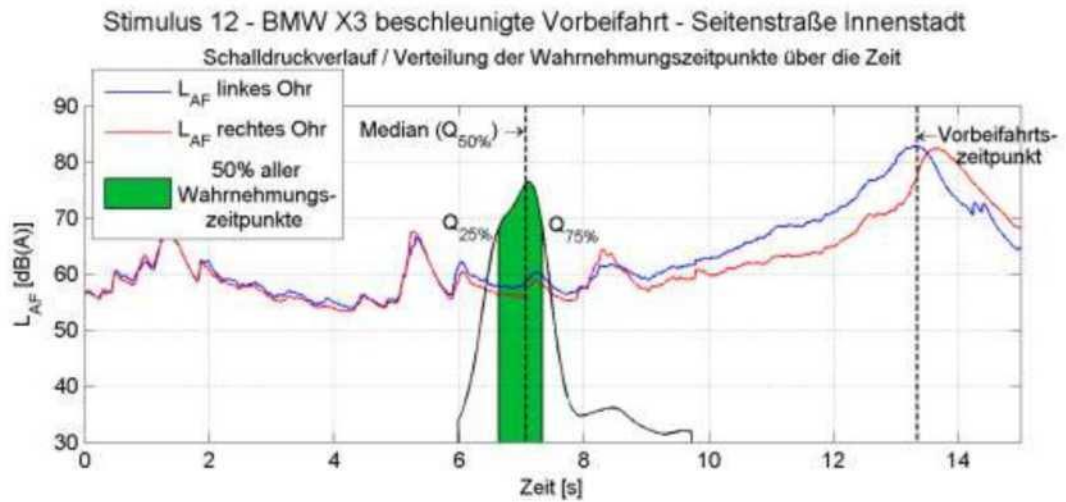
L. [dB(A)]

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]



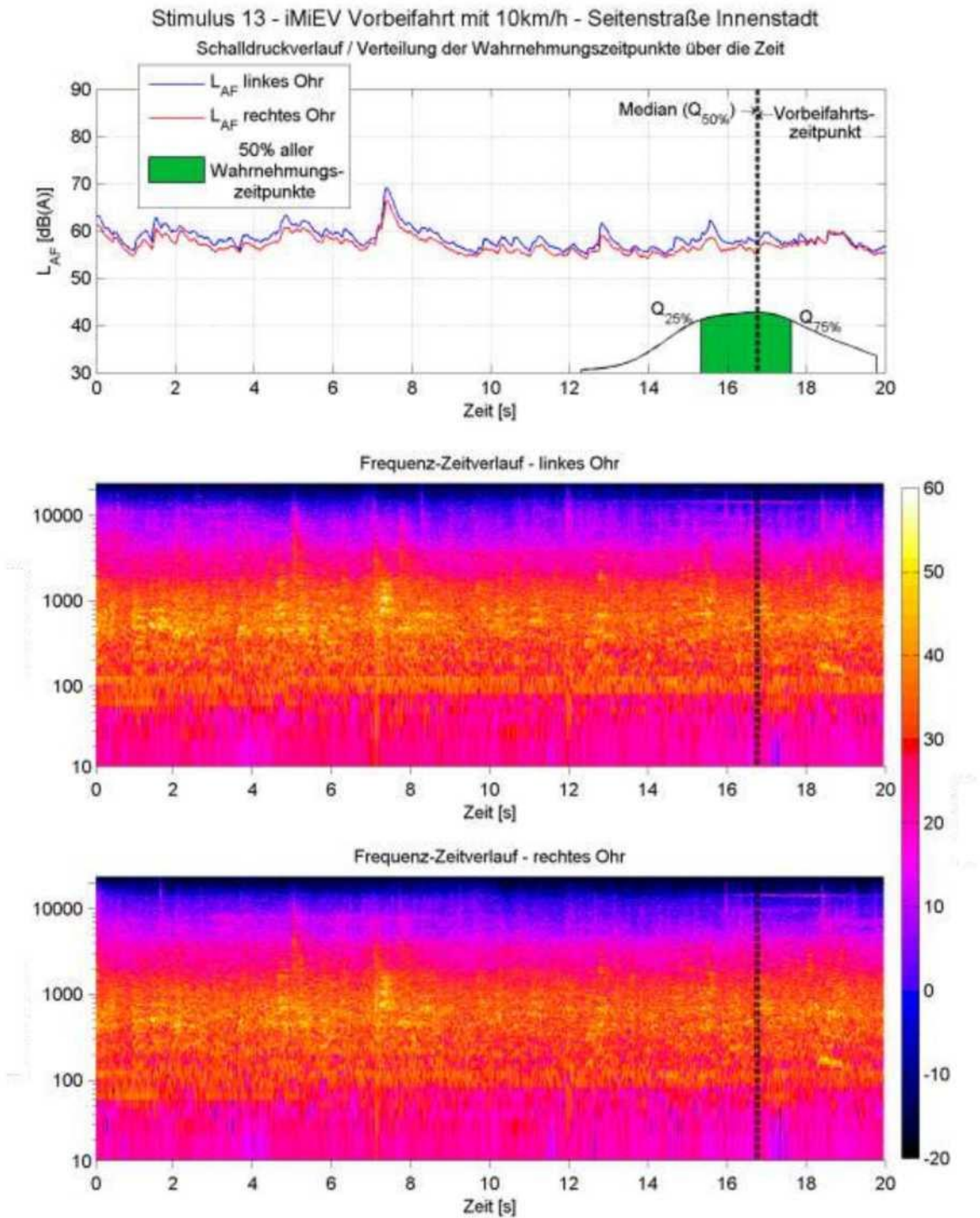
L. (dB(A))

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]



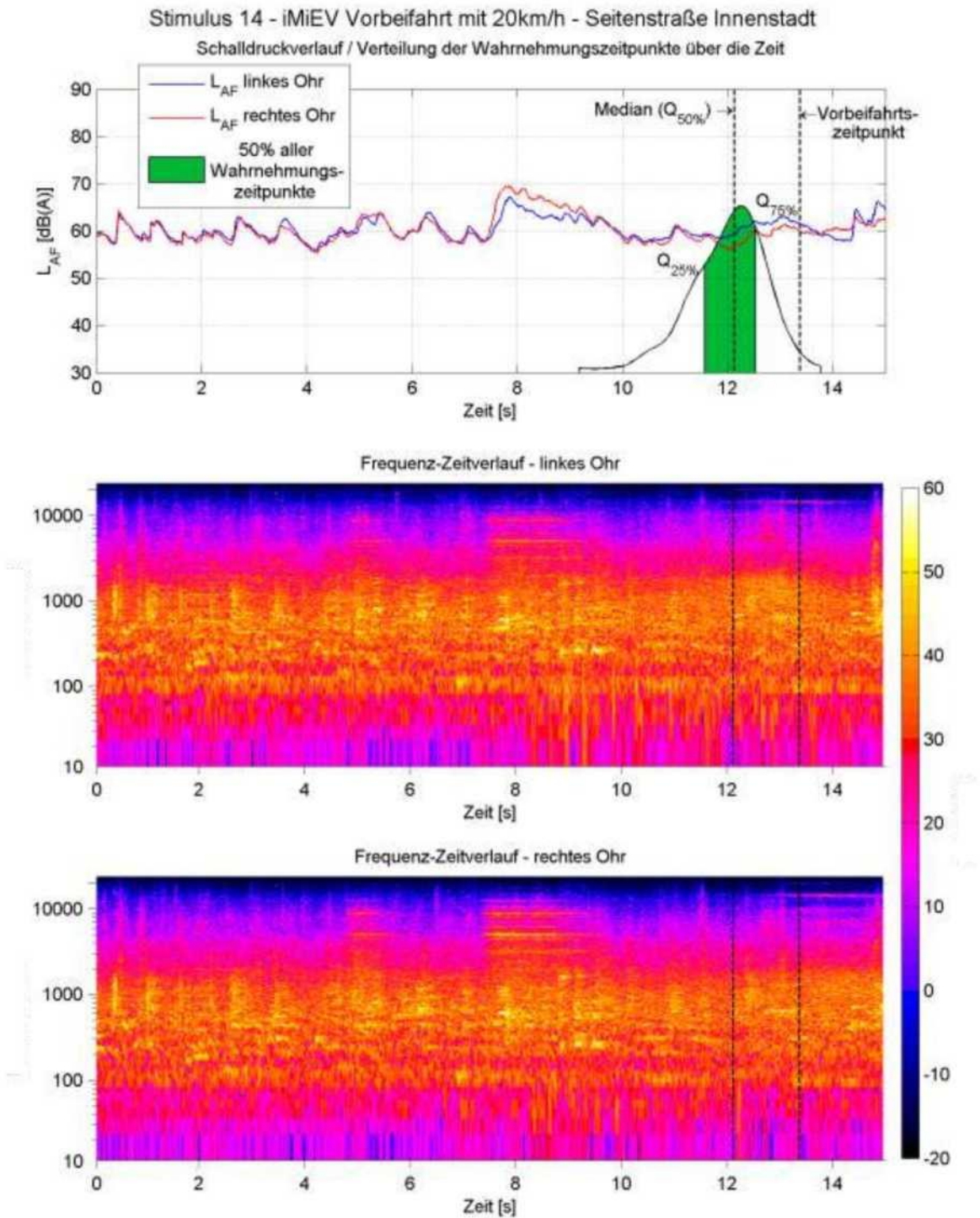
L. (dB(A))

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]



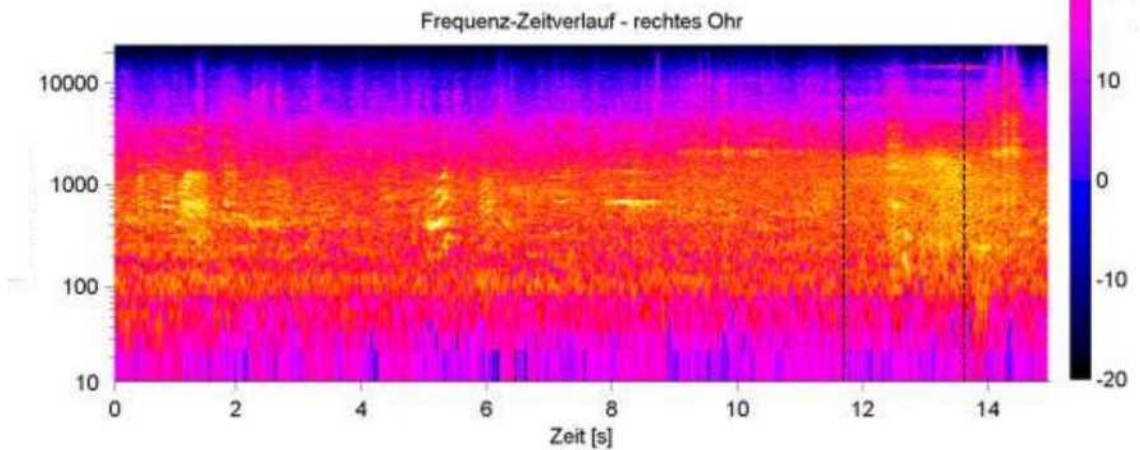
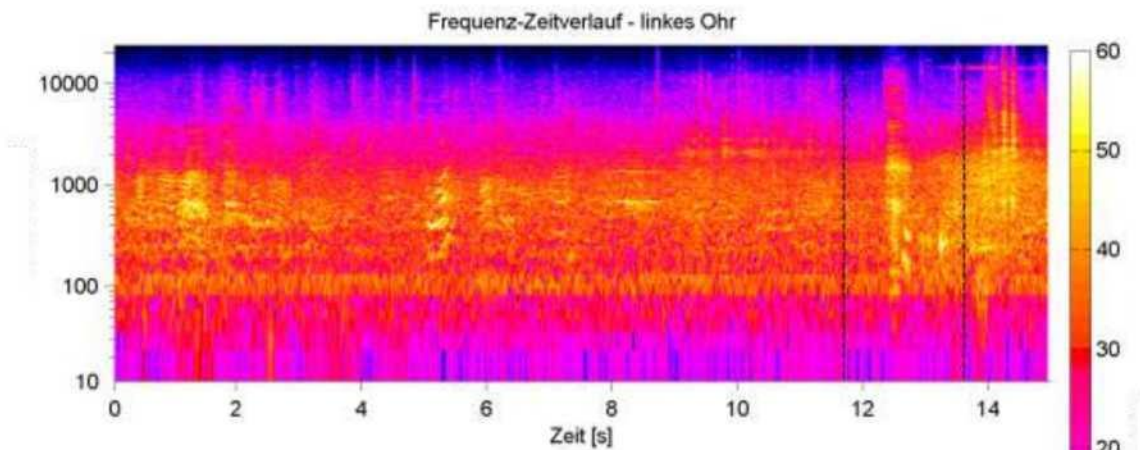
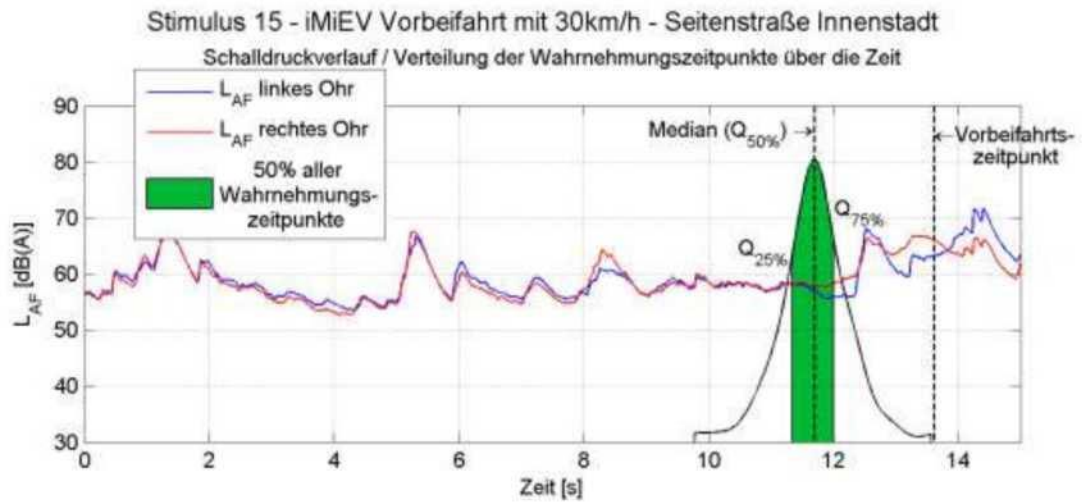
L. [dB(A)]

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]



L. (dB(A))

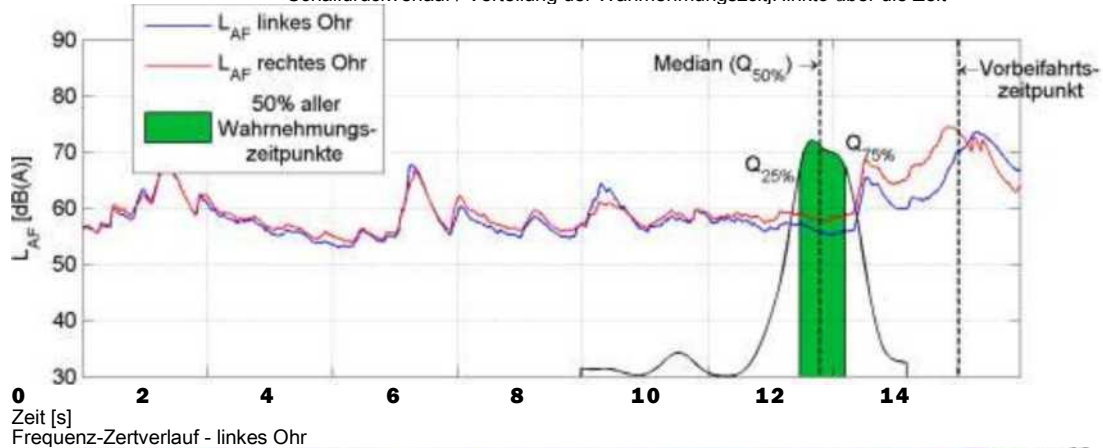
Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]



L. [dB(A)]

Stimulus 16 - iMiEV beschleunigte Vorbeifahrt - Seitenstraße Innenstadt

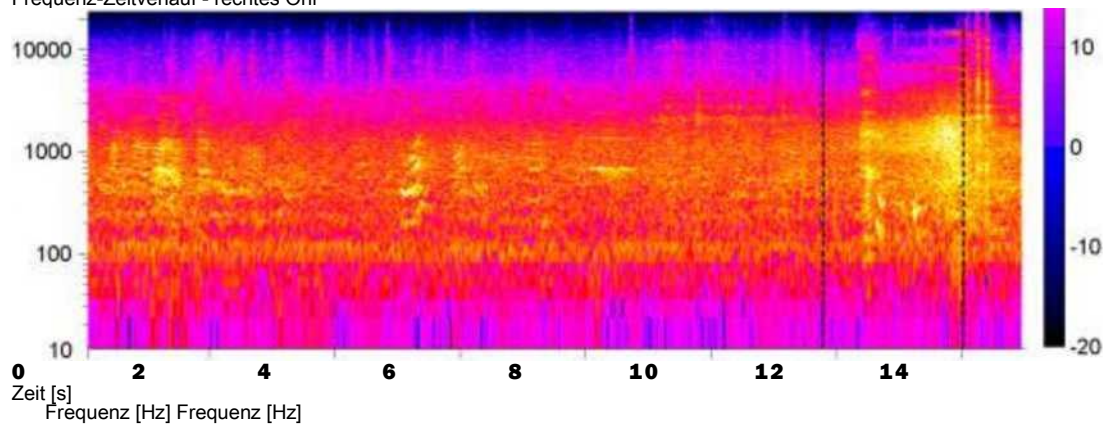
Schalldruckverlauf / Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte über die Zeit

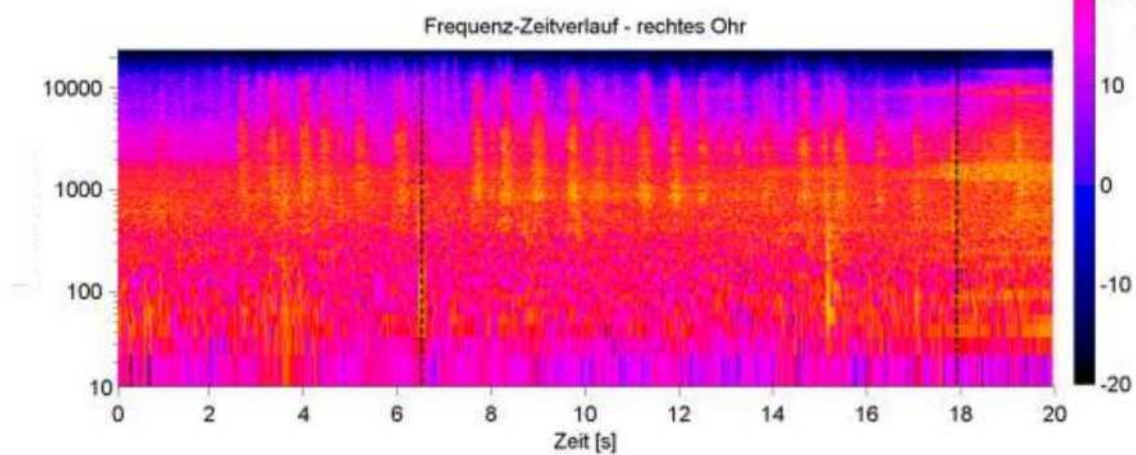
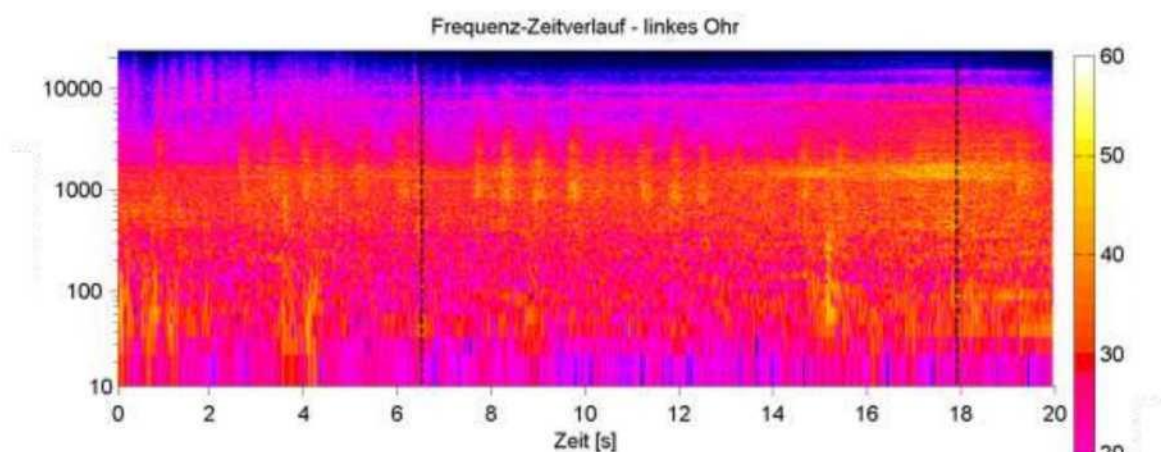
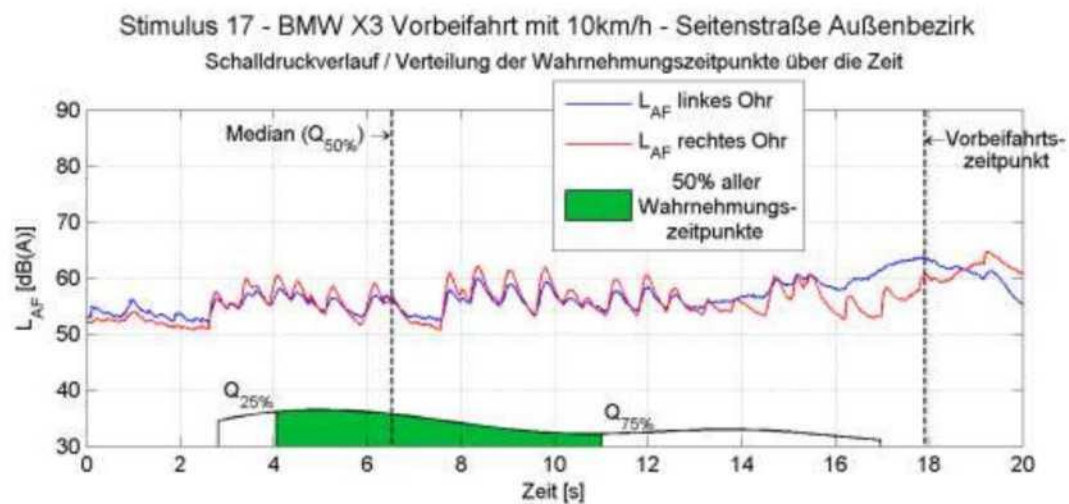


Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

L. (dB(A))

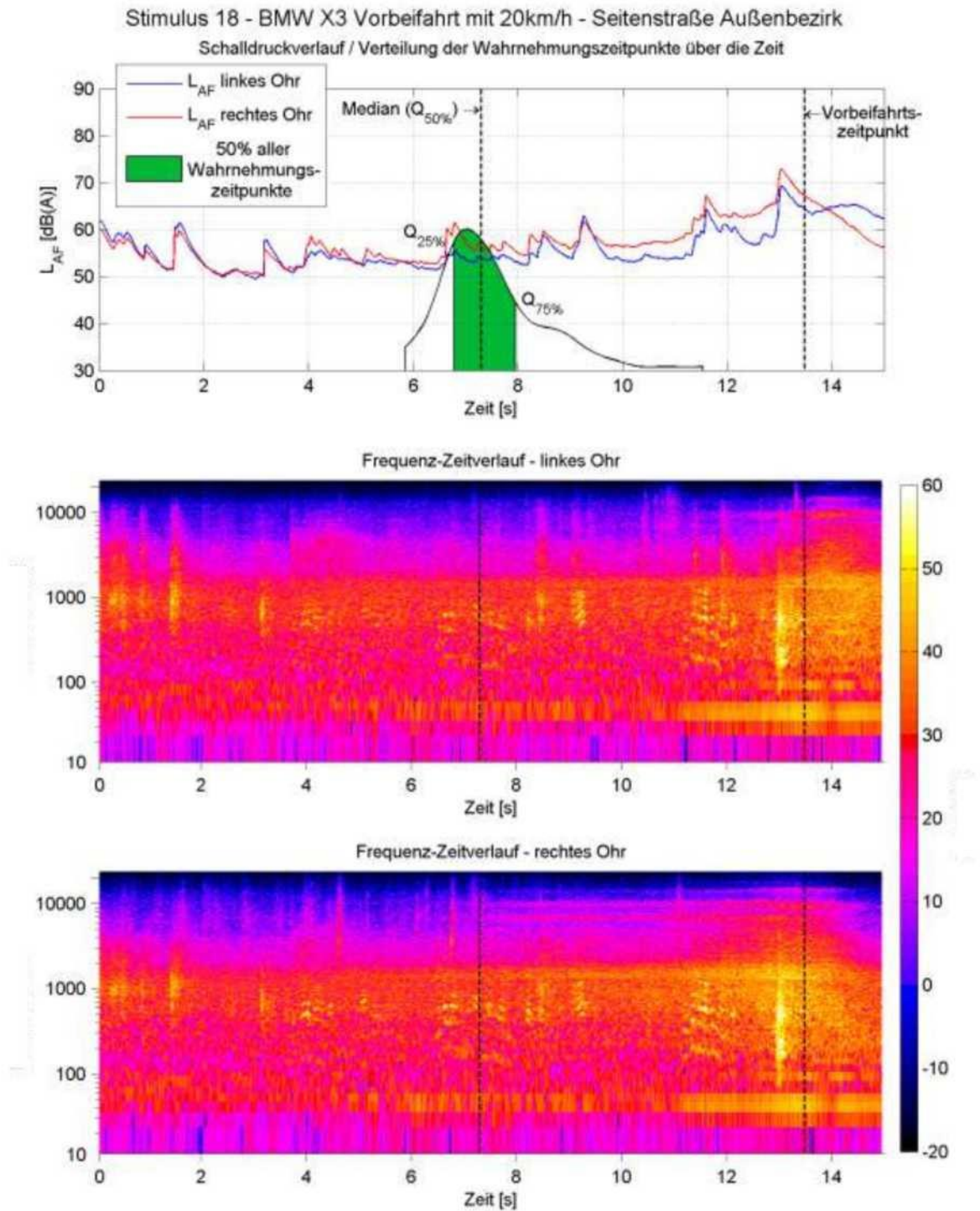
Frequenz-Zeitverlauf - rechtes Ohr



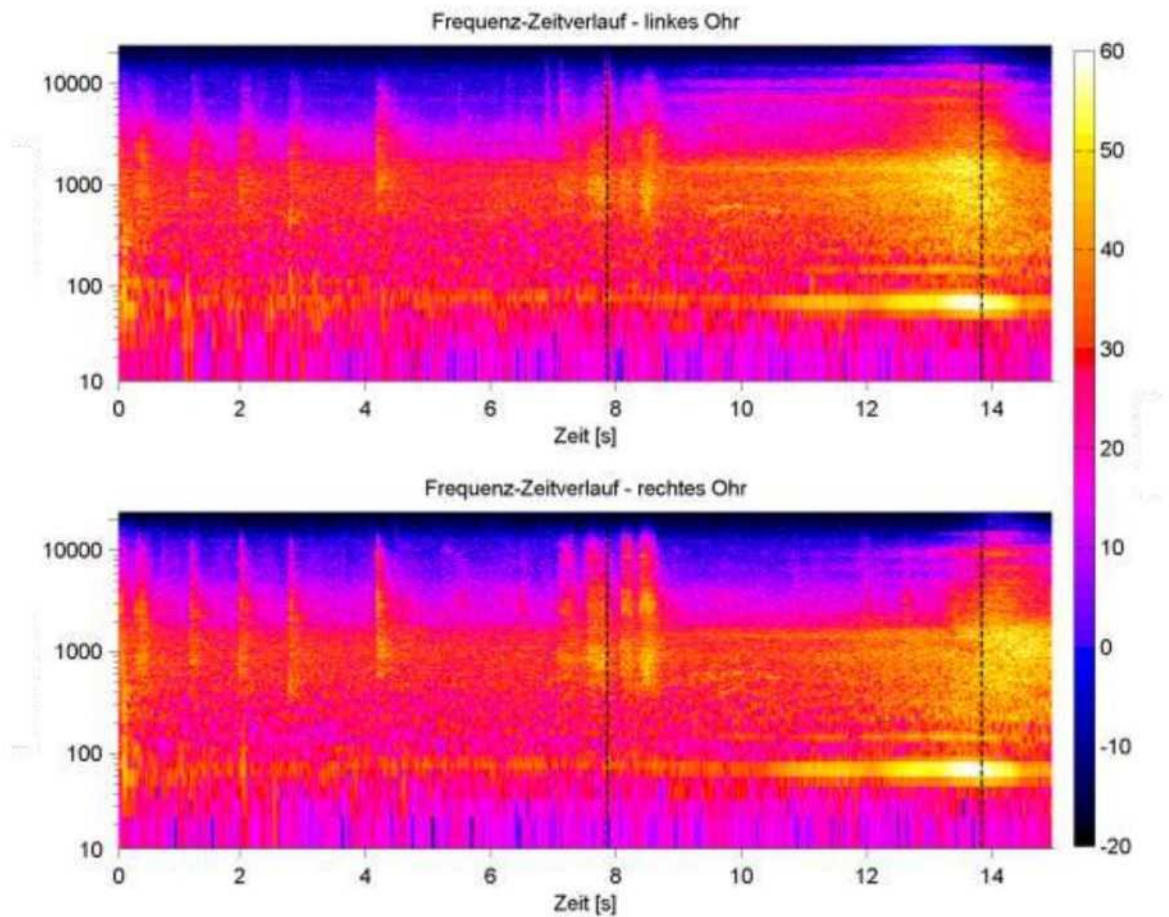
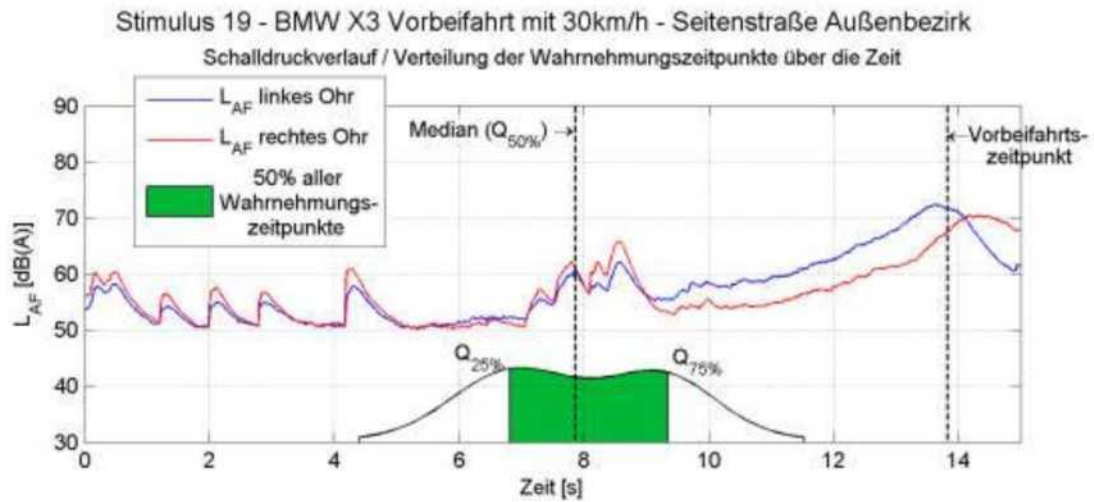


L. [dB(A)]

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

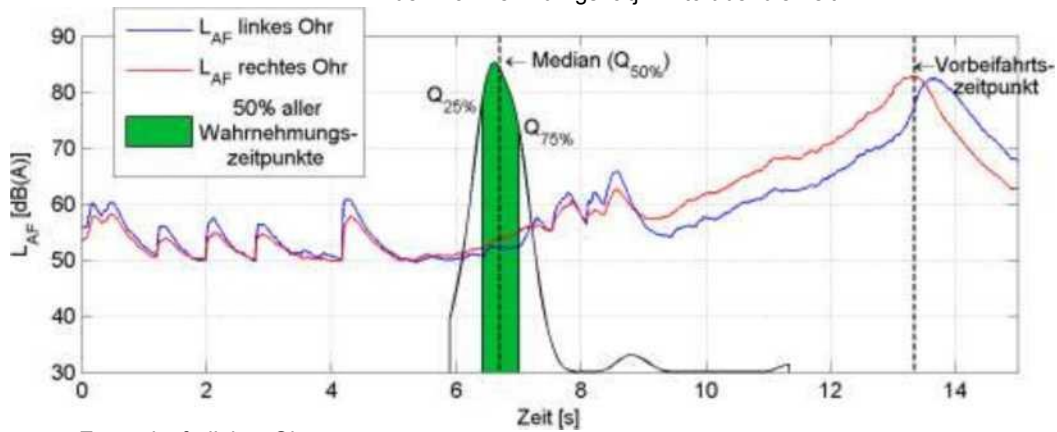


L. (dB(A))
Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

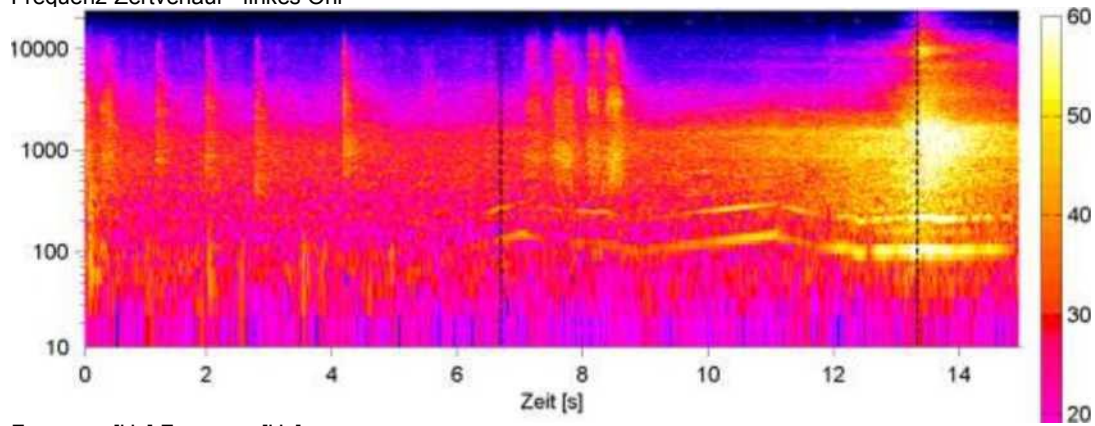


L. (dB(A))

Stimulus 20 - BMW X3 beschleunigte Vorbeifahrt - Seitenstraße Außenbezirk Schalldruckverlauf / Verteilung der Wahrnehmungszzeitpunktk über die Zeit



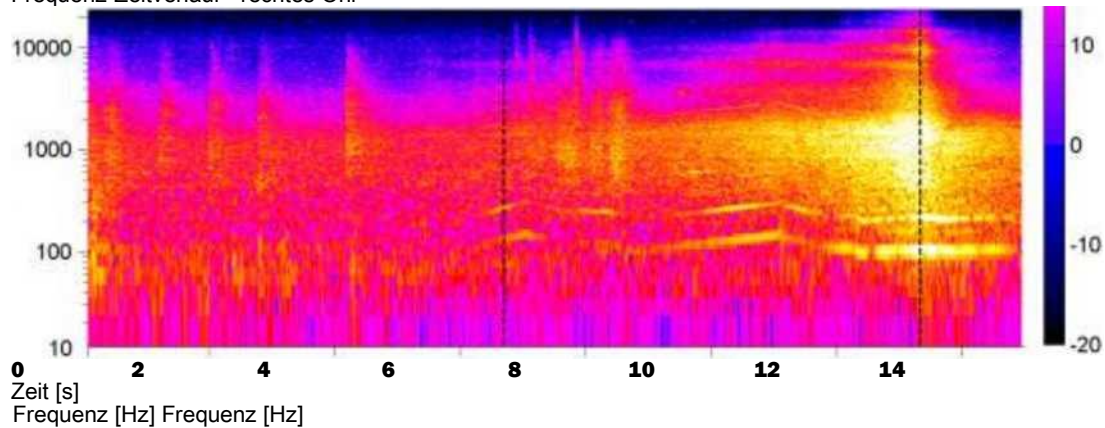
Frequenz-Zertverlauf - linkes Ohr



Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

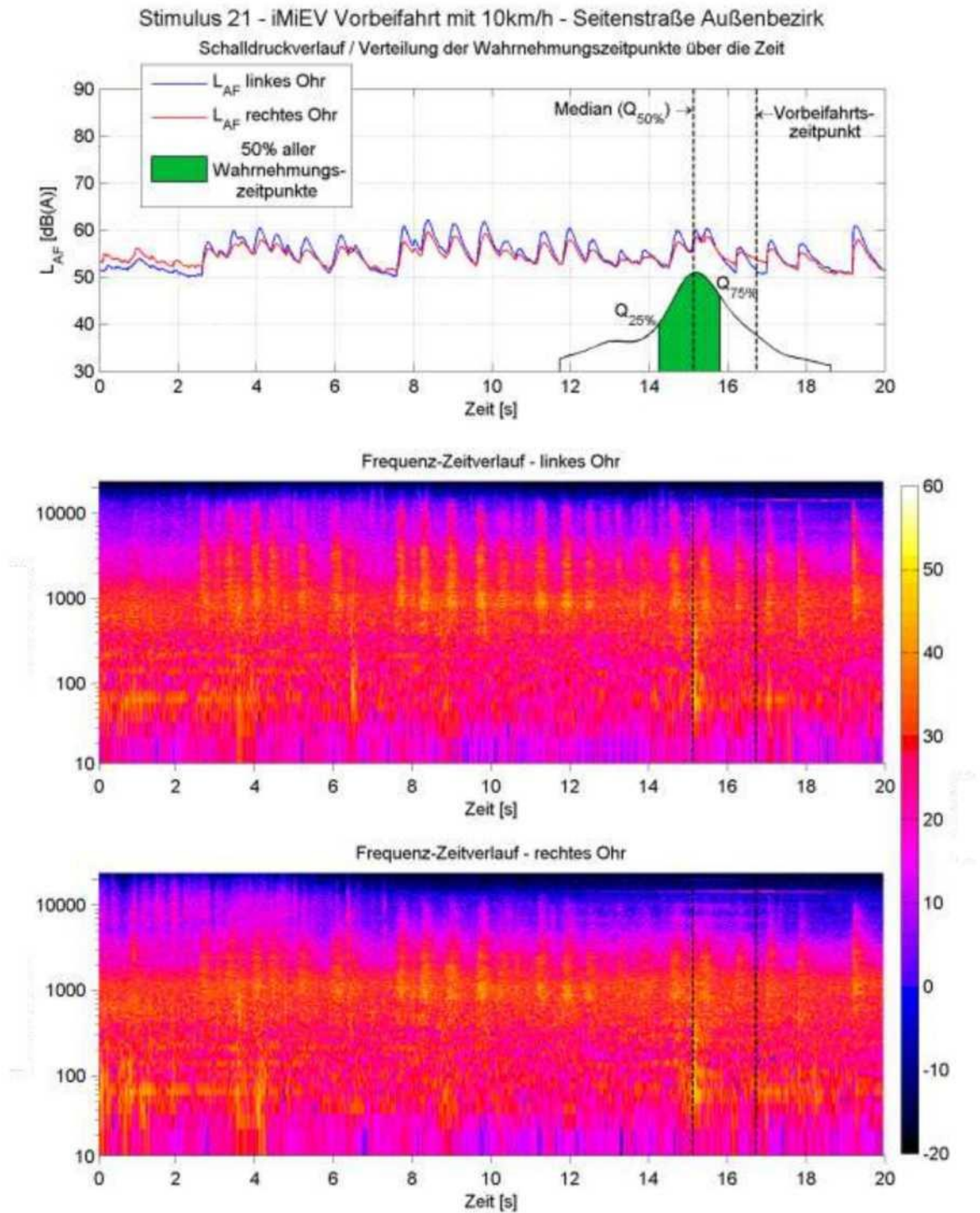
L. (dB(A))

Frequenz-Zeitverlauf - rechtes Ohr

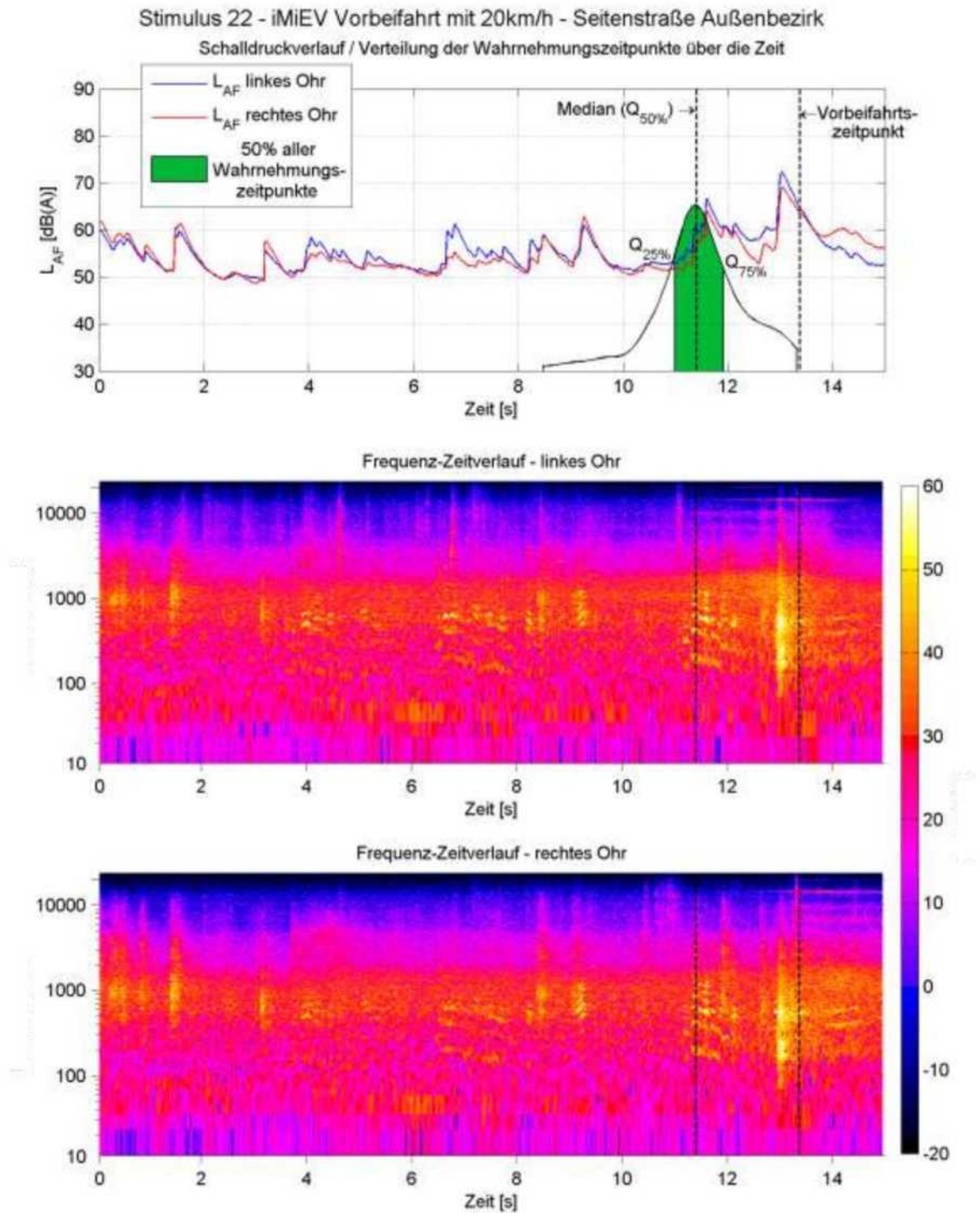


Zeit [s]

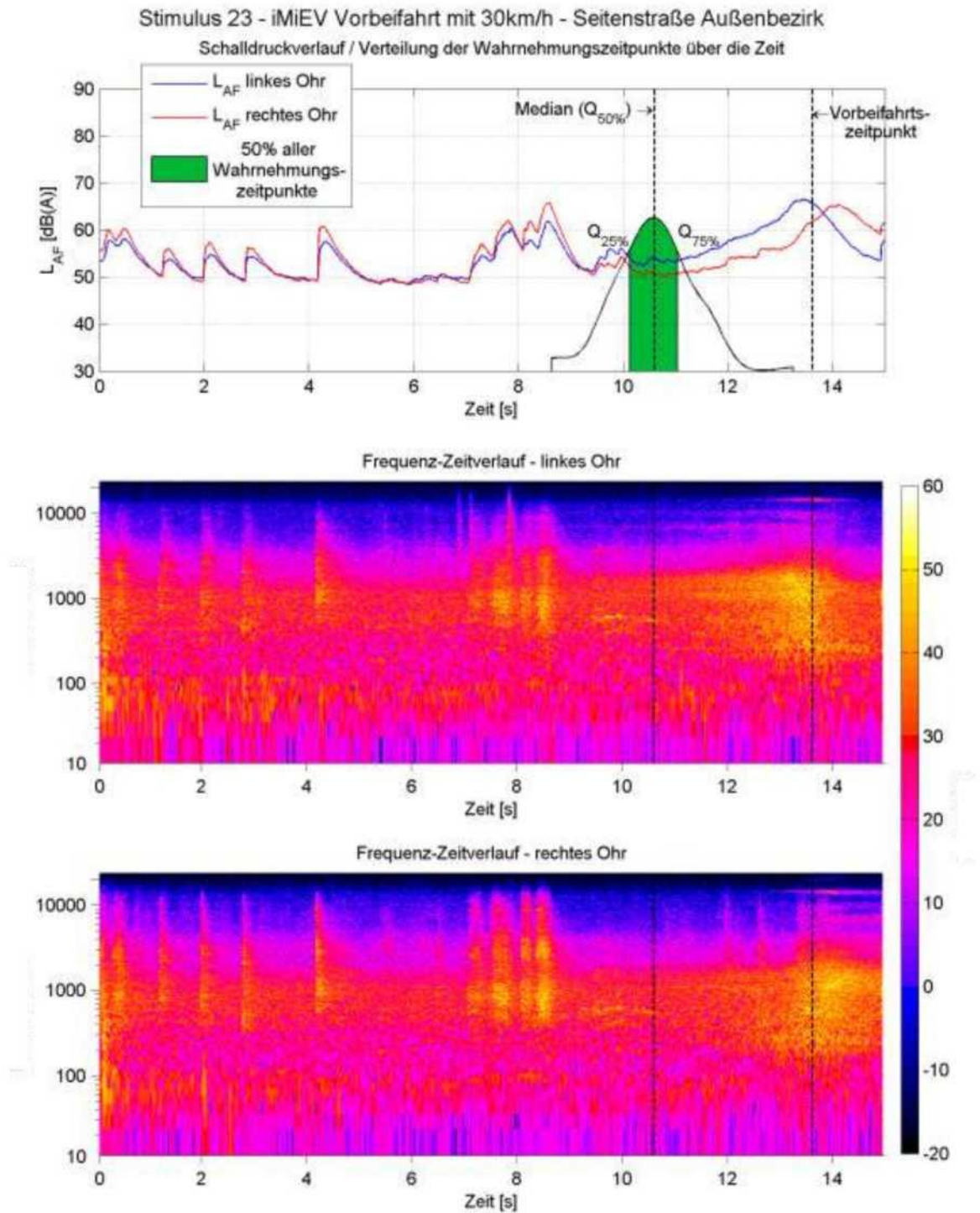
Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]



L. (dB(A))
Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

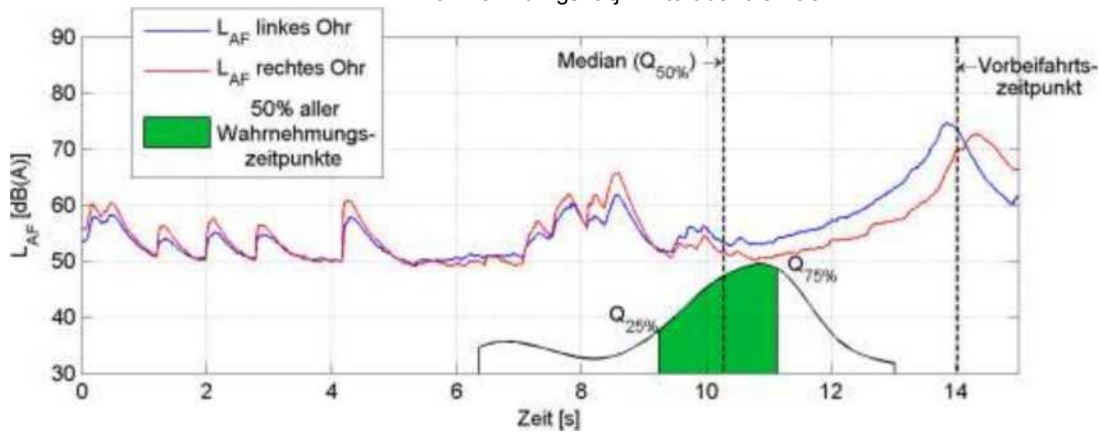


L. [dB(A)]
Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

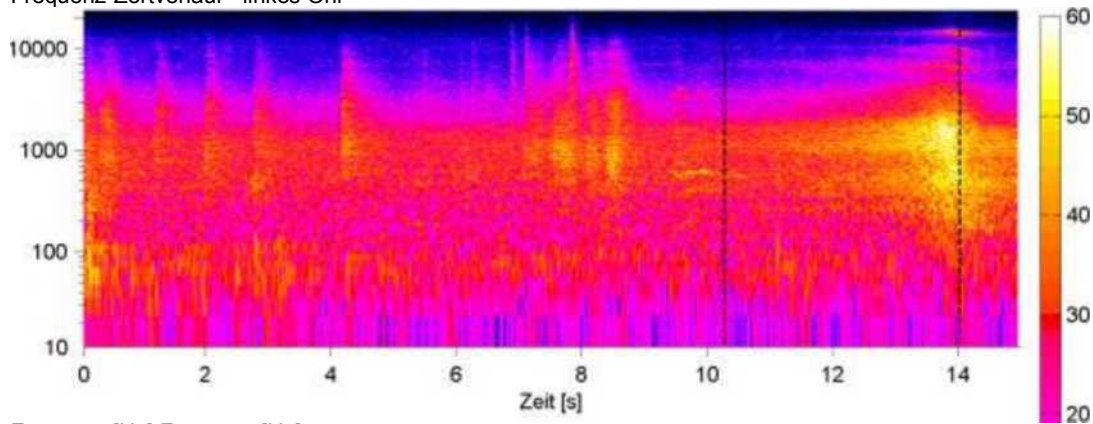


L. (dB(A))

Stimulus 24 - IMiEV beschleunigte Vorbeifahrt - Seitenstraße Außenbezirk Schalldruckverlauf / Verteilung der Wahrnehmungszzeitpunktkto über die Zeit



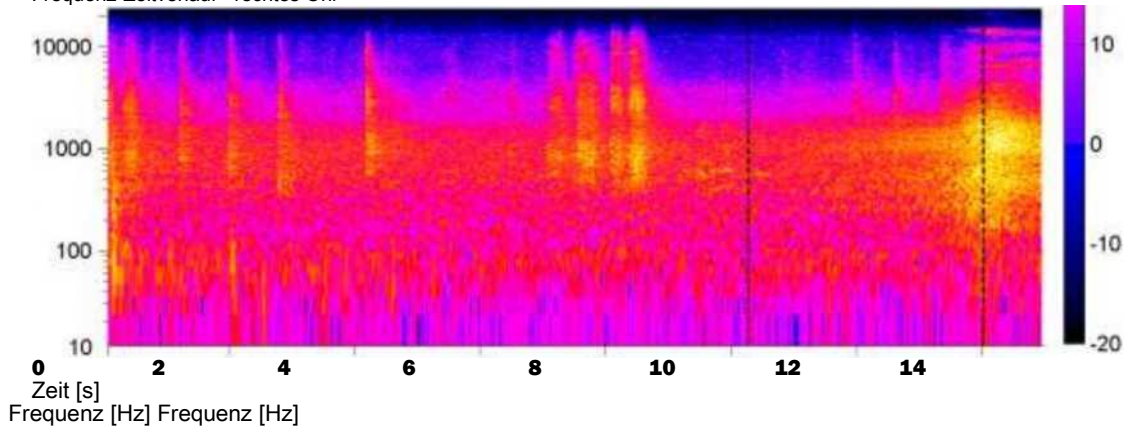
Frequenz-Zertverlauf - linkes Ohr



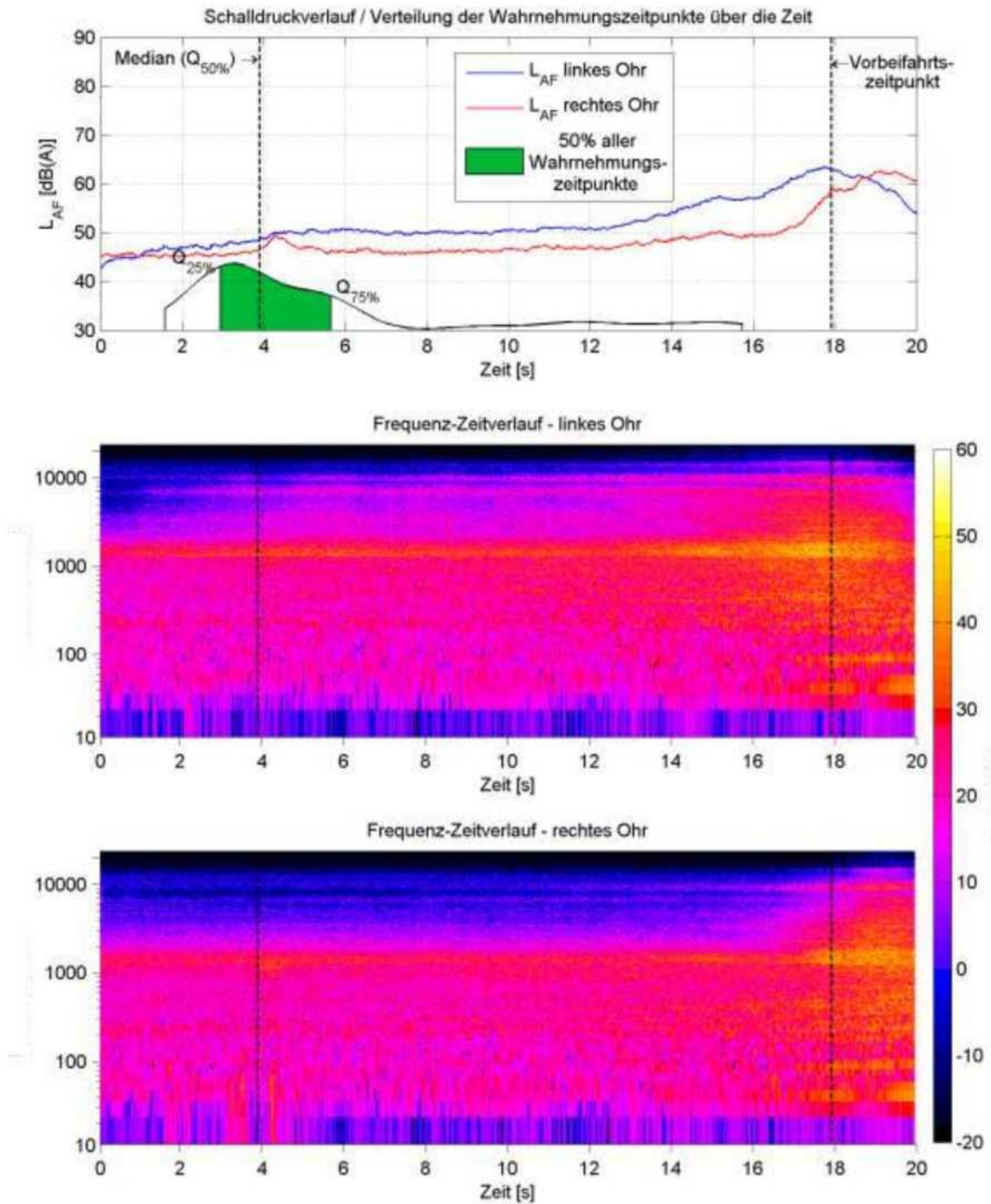
Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

L. (dB(A))

Frequenz-Zertverlauf - rechtes Ohr



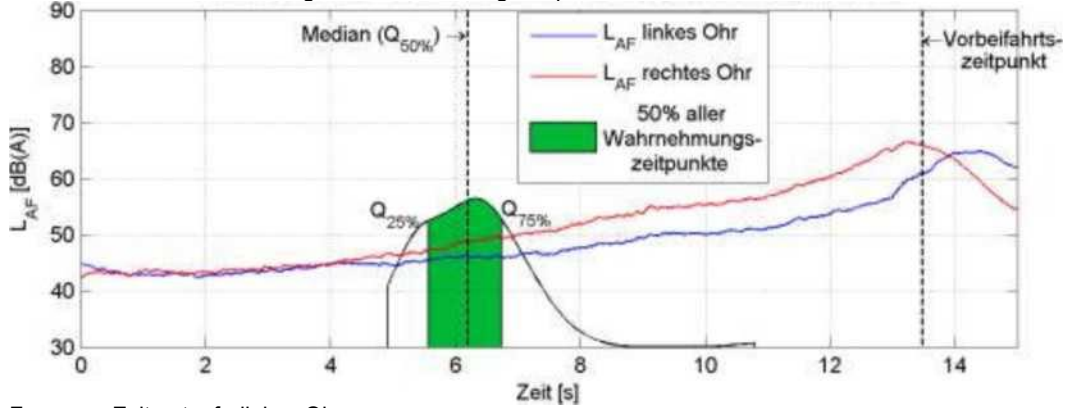
Stimulus 25 - BMW X3 Vorbeifahrt mit 10km/h - ländliche Gegend



L. [dB(A)]

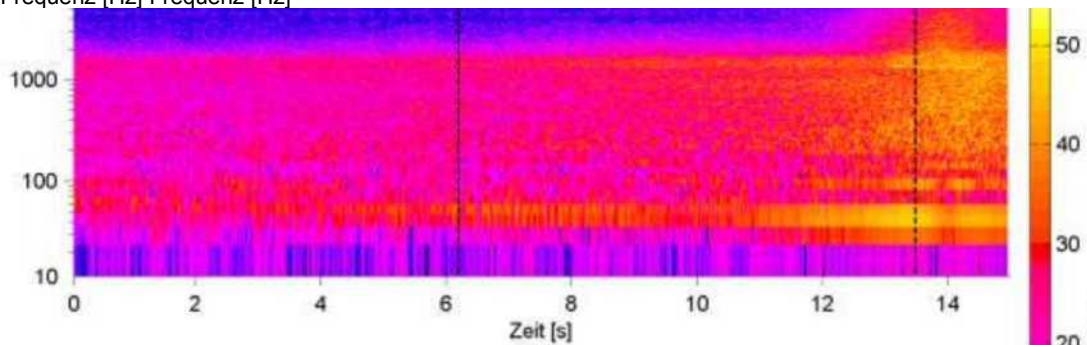
Stimulus 26 - BMW X3 Vorbeifahrt mit 20km/h - ländliche Gegend

Schalldruckverlauf / Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte über die Zeit

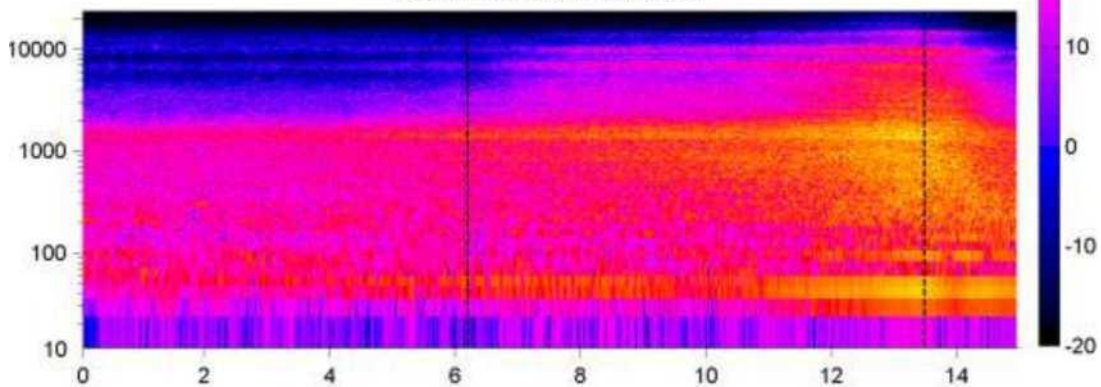


Frequenz-Zeitverlauf - linkes Ohr

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]



Frequenz-Zeitverlauf - rechtes Ohr

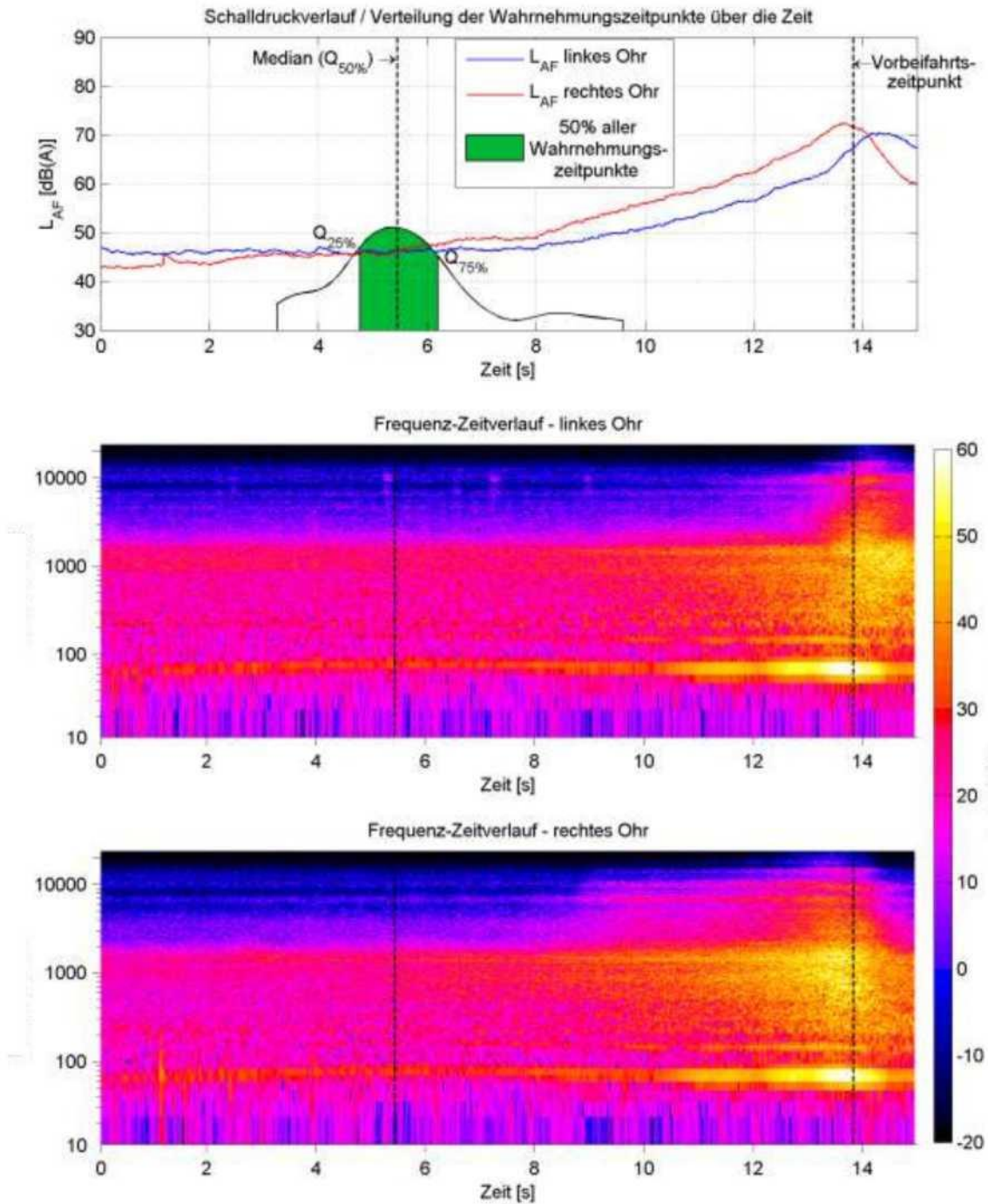


L. [dB(A)]

Zeit [s]

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

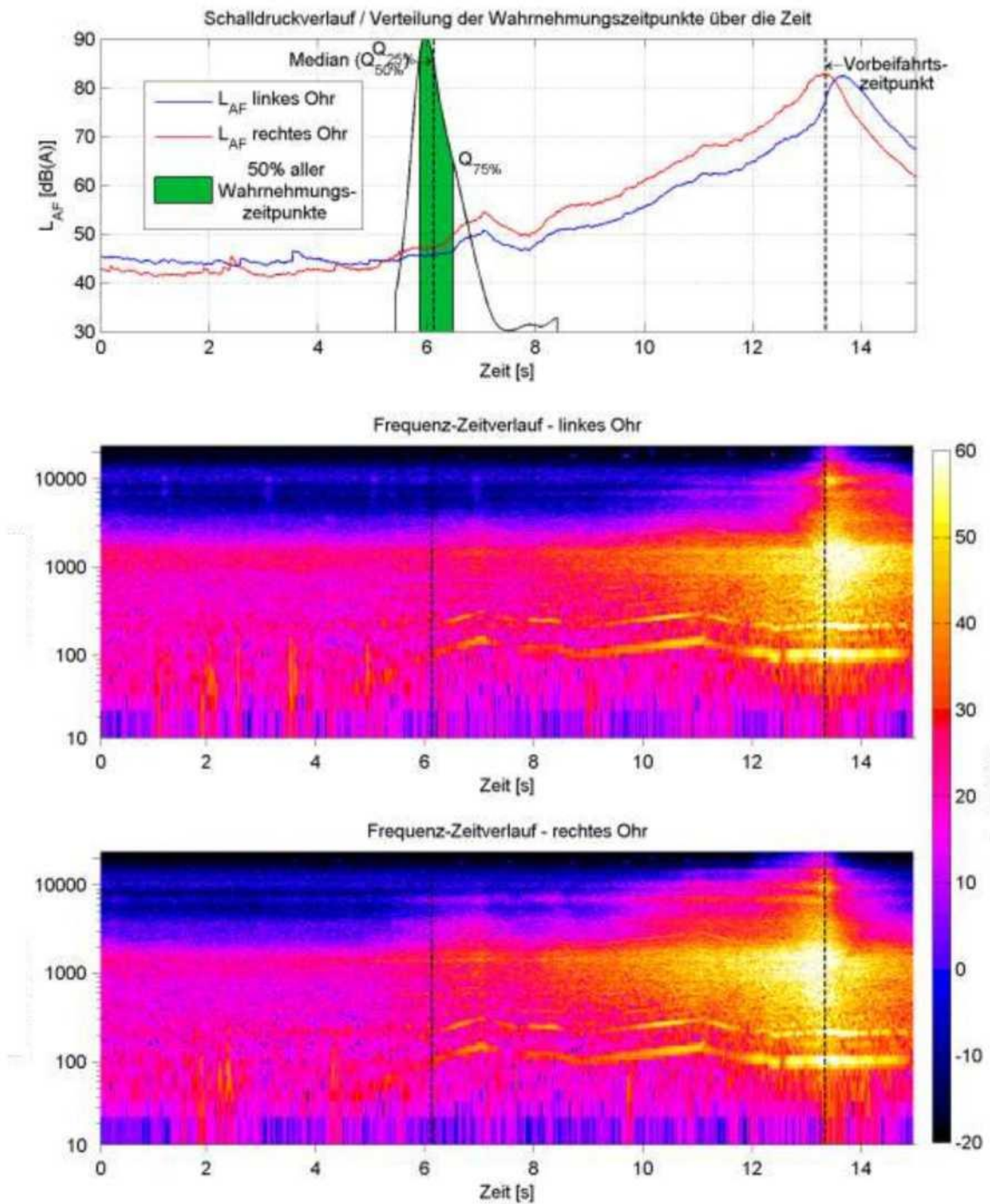
Stimulus 27 - BMW X3 Vorbeifahrt mit 30km/h - ländliche Gegend



L. [dB(A)]

Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

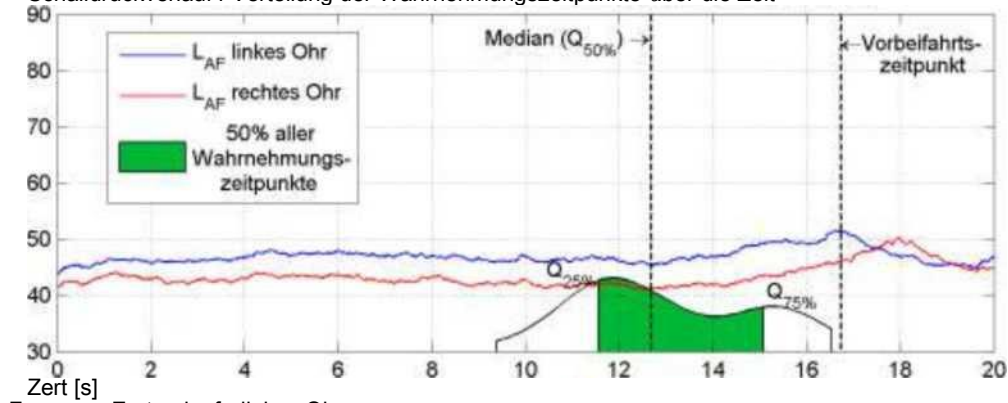
Stimulus 28 - BMW X3 beschleunigte Vorbeifahrt - ländliche Gegend



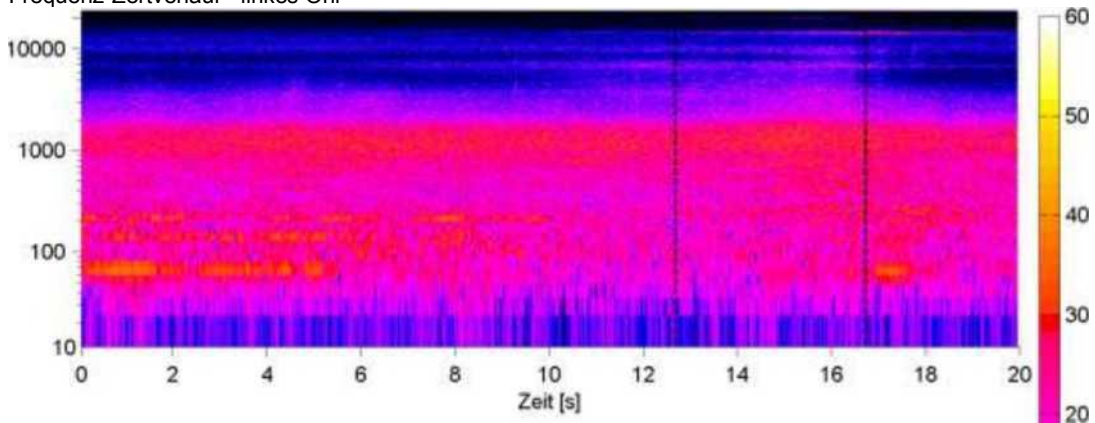
L. [dB(A)]

Stimulus 29 - iMiEV Vorbeifahrt mit 10km/h - ländliche Gegend

Schalldruckverlauf / Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte über die Zeit



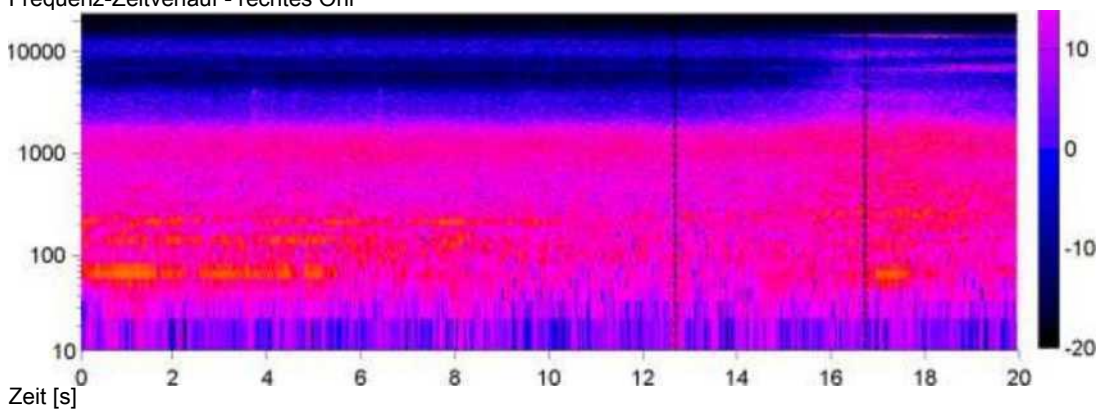
Frequenz-Zeitverlauf - linkes Ohr



Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

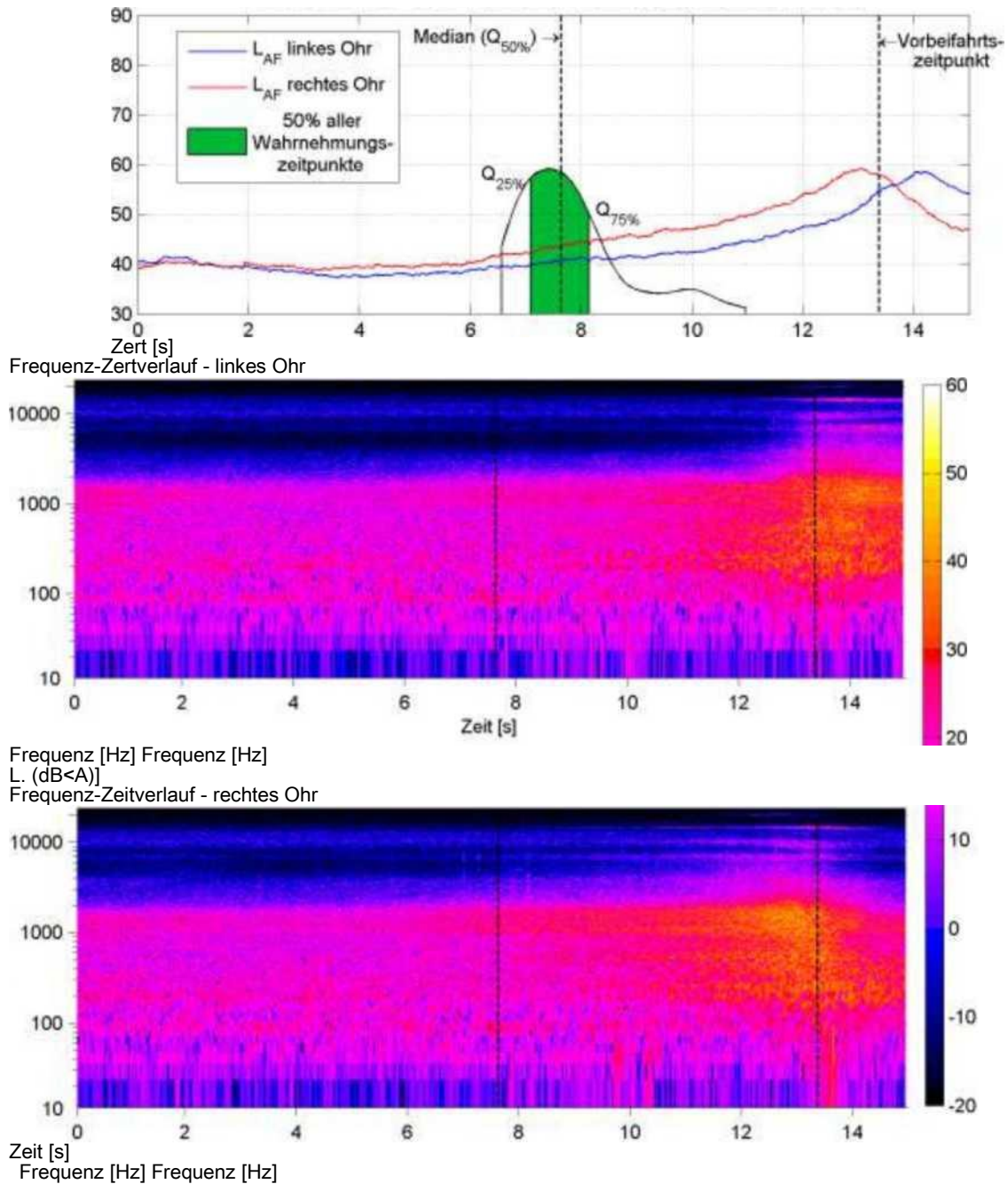
L. (dB(A))

Frequenz-Zeitverlauf - rechtes Ohr

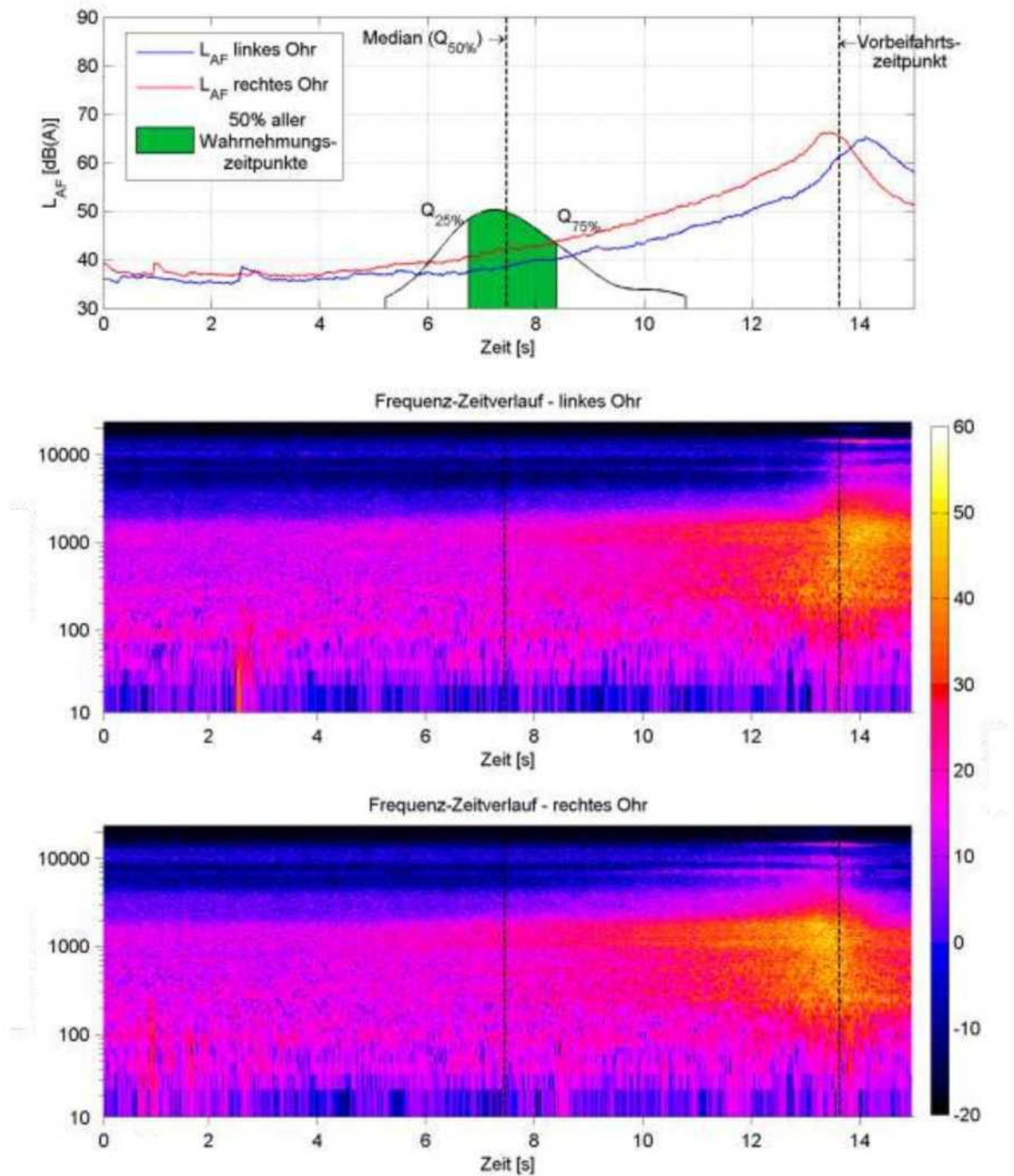


Stimulus 30 - iMiEV Vorbeifahrt mit 20km/h - ländliche Gegend

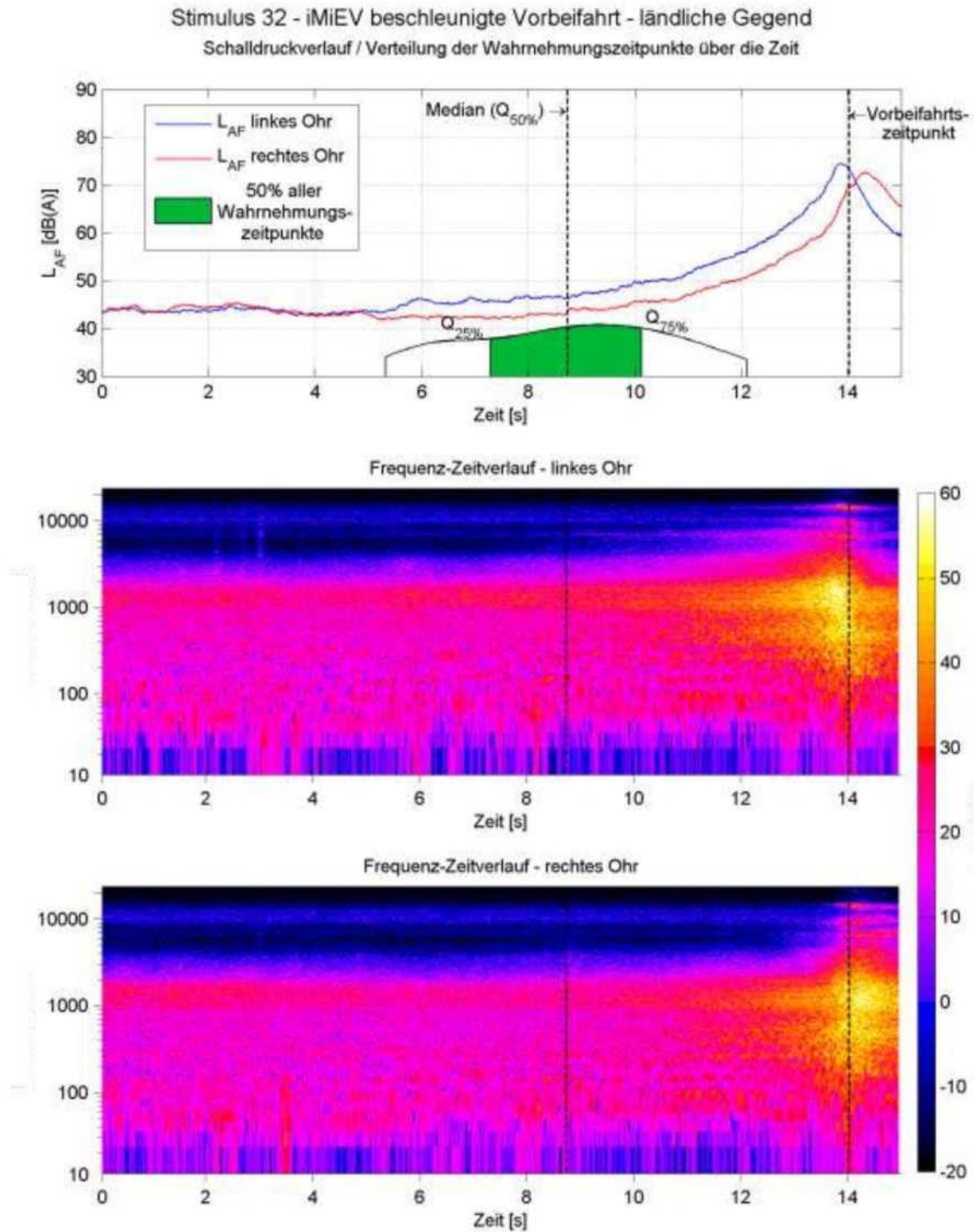
Schalldruckverlauf / Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte über die Zeit



Stimulus 31 - iMiEV Vorbeifahrt mit 30km/h - ländliche Gegend
Schalldruckverlauf / Verteilung der Wahrnehmungszeitpunkte über die Zeit



L. (dB(A))
Frequenz [Hz] Frequenz [Hz]

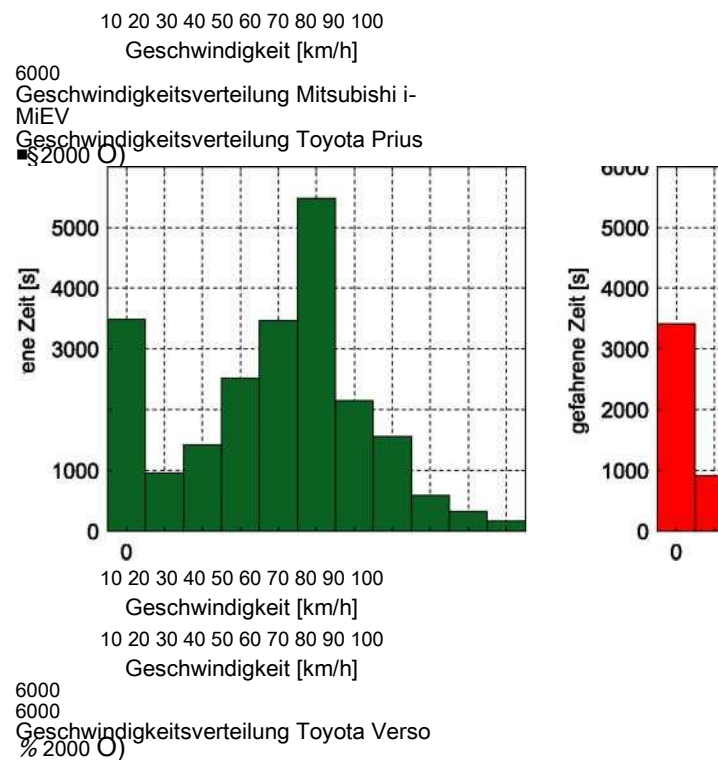


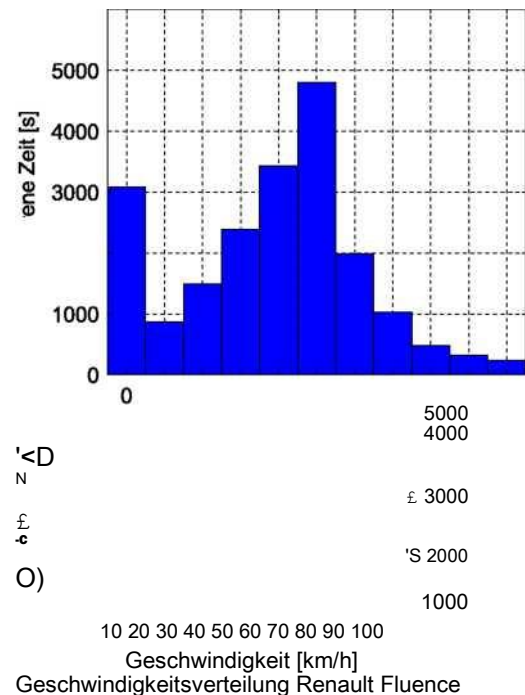
L. (dB(A)]

Anhang IX: Ergebnisse Innenraummessungen - statistische Details zum analysierten Datensatz

Dieser Anhang beinhaltet statistische Details zu dem in AP4 analysierten Datensatz aus Innenraummessungen. Sie sollen helfen, die Ergebnisse zur Innenraumakustik besser nachzuvollziehen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Dauer einer gefahrenen Geschwindigkeit (aufgeteilt in 10km/h-Bereiche) während aller absolvierten Messfahrten für das jeweilige Fahrzeug. Es ist zu beachten, dass jedes Auto je nach Verkehrslage eine unterschiedlich lange Zeit gefahren wurde. Interpretationen wie „das E-Kfz wurde über einen größeren Zeitraum schneller gefahren...“ sind daher nicht sinnvoll. Vielmehr soll die graphische Repräsentation zeigen, über welchen Zeitraum für eine Geschwindigkeit gemittelt werden konnte (als Basis für Abbildung 34 in Abschnitt 2.4.1). Somit ist z.B. ersichtlich, dass der Wert für 100 km/h mit Vorsicht zu interpretieren ist, da hier fast keine Daten zur Verfügung standen.





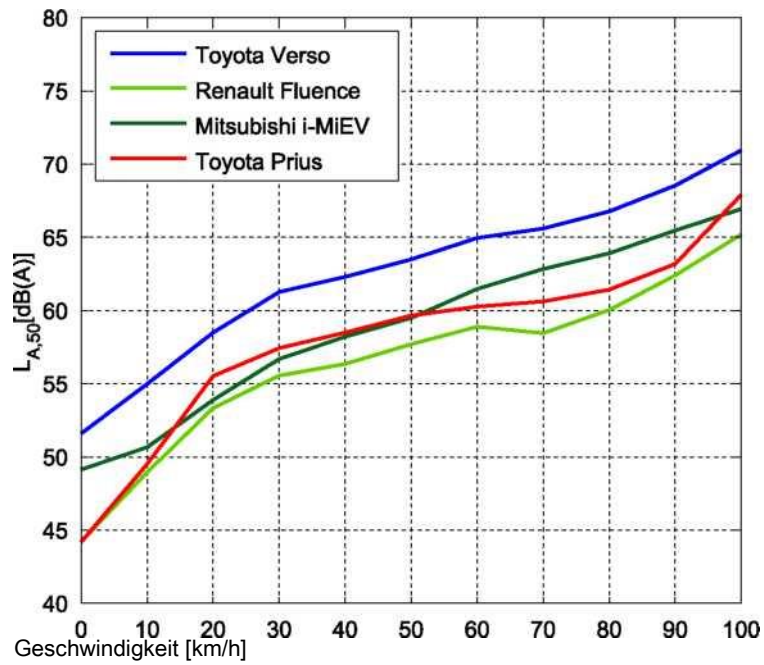
Anhang X: Ergebnisse Innenraummessungen - Ergebnisse der einzelnen Fahrer

Dieser Anhang beinhaltet die Ergebnisse der Innenraummessungen in Abhängigkeit der einzelnen Fahrer.

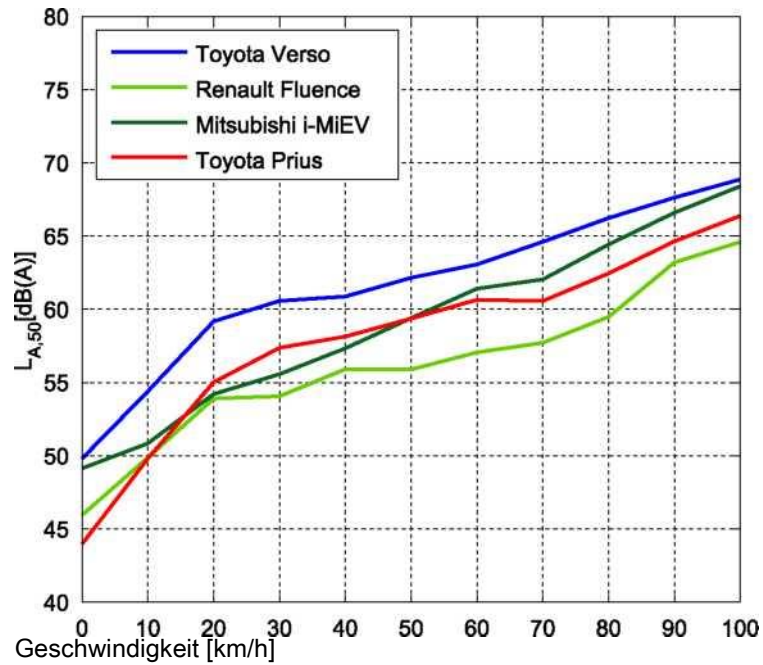
gemessen mit dem binauralen Headset

Die Abbildungen zeigen den Mittelungspegel $L_{A,50}$ in Abhängigkeit der Geschwindigkeit auf der Höhe des rechten Ohres am Fahrersitz¹² für verschiedene Fahrzeuge. Zur Berechnung wurden für jedes Fahrzeug alle Messdaten in Geschwindigkeitsbereiche von 10 km/h aufgeteilt. Der daraus resultierende Medianpegel ($L_{A,50}$) für jede Geschwindigkeitsgruppe wurde aus allen fastzeitbewerteten Schalldruckpegelwerten ermittelt.

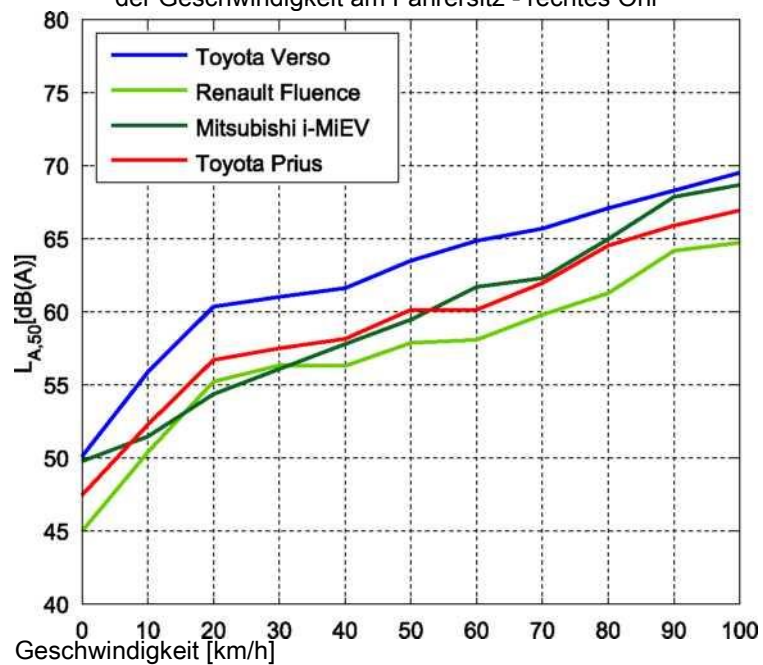
Fahrer F1 - Median (L_{A50}) des Schalldruckpegels in Abhängigkeit der Geschwindigkeit am Fahrersitz - rechtes Ohr



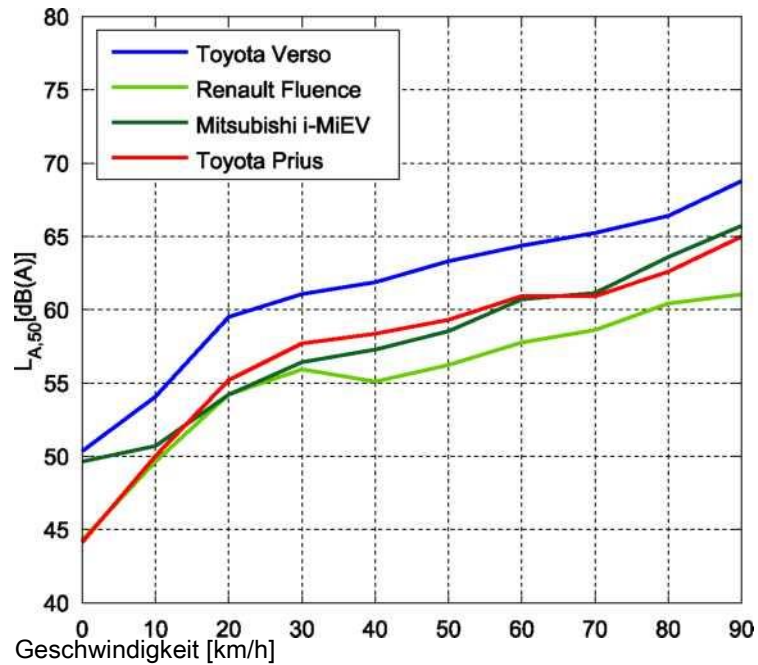
Fahrer F2 - Median ($L_{A,50}$) des Schalldruckpegels in Abhängigkeit der Geschwindigkeit am Fahrersitz - rechtes Ohr



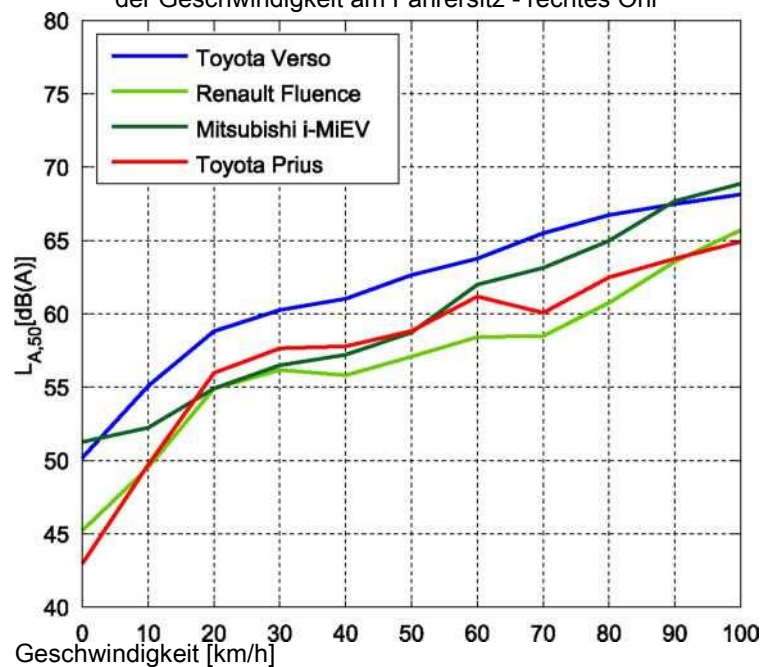
Fahrer F3 - Median ($L_{A,50}$) des Schalldruckpegels in Abhängigkeit der Geschwindigkeit am Fahrersitz - rechtes Ohr



Fahrer F4 - Median ($L_{A,50}$) des Schalldruckpegels in Abhängigkeit der Geschwindigkeit am Fahrersitz - rechtes Ohr



Fahrer F5 - Median ($L_{A,50}$) des Schalldruckpegels in Abhängigkeit der Geschwindigkeit am Fahrersitz - rechtes Ohr



Anhang XI: Innenraummessungen - Subjektives Feedback der Versuchspersonen

Die subjektiven Beurteilungen der Fahrer (F1 bis F5) wurden in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

E-Kfz 1: Mitsubishi iMiEV	F1	Innenraum sehr leise, aber Auto wirkt nicht so sicher und stabil; Ab 100km/h wackelt alles; Akustische Ablenkungen von außen vorhanden.
	F2	Das Auto ist sehr schlecht gegen Außenlärm gedämmt, man glaubt man sitzt auf einem Fahrrad mitten im Verkehr; einige Teile im Kofferraum haben während der Fahrt gescheppert
	F3	Das Auto ist innen leise, aber Dämmung von außen ist eher schlecht; Auto wirkt daher „filigran“; Automatik-Getriebe zusammen mit wenig Akustik-Feedback wirkt sich subjektiv negativ auf die Fahrgeschwindigkeit aus: Geschwindigkeitsübertretungen sind deshalb wahrscheinlicher, wenn nicht dauernd am Tacho kontrolliert wurde;
	F4	Das Auto hat bei höheren Geschwindigkeiten gewackelt, was im Gesamten nicht den Eindruck von Stabilität vermittelt; Es war an dem Tag sehr warm und die Klimaanlage wurde nur auf niedrige Stufe gestellt.
	F5	mehrere Male verfahren; Gefühl, dass das Headset hohe Frequenzen dämpft und damit akustisches Feedback etwas verfälscht; tatsächliche Geschwindigkeit unterschätzt (Gewöhnungssache - vergleiche auch mit teurem V-Kfz, dass über eine sehr gute Dämmung verfügt!); Automatikschaltung zu Beginn noch etwas ungewohnt;
E-Kfz 2: Renault Fluence	F1	Auto beschleunigt sehr gut, wirkt im Gegensatz zum i-MiEV wie ein „normales“ Auto; gutes Gefühl; Auto wirkt sehr stabil und ist gut von der akustischen Außenwelt getrennt, also keine Ablenkungen vom außen;
	F2	Angenehmes Fahren, nicht zu unterschiedlich zu einem typischen Mittelklassewagen; wirkt als Alltagsauto realistisch auf mich, auch akustisch sehr angenehm;
	F3	Auto fühlt sich im Gegensatz zu iMiEV eher als ein „echtes“ Auto an; Allerdings aufgrund von Automatikgetriebe, muss man Geschwindigkeit ähnlich wie beim iMiEV dauernd im Auge behalten; Aufgrund der begrenzten Batteriekapazität lag der Fokus auf einer energiesparenden Fahrweise, wobei versucht wurde, oft und viel zu rekuperieren, damit die Testrunde problemlos bis zum Ende gefahren werden kann;
	F4	Es hat wie ein „echtes“ Auto geklungen; wirkt stabil und sicher, was für mich überraschend war;

	F5	Akkuwarnmeldung ab ca. Gerasdorf Föhrenhain;
Hybrid-Kfz: Toyota Prius	F1	ruhige Fahrweise; Auto kann sehr schnell fahren; Keine akustischen Ablenkungen von außen; Nicht zu heiß im Innenraum; P-drive während der Fahrt verstellt;
	F2	Fahrverhalten ähnlich wie Verbrennungskraftwagen, nahtloser Wechsel zwischen elektrischem und ICE-Modus; kann beim Beschleunigen durchaus laut werden;
	F3	sehr ruhiges Auto; Wechsel von Elektro- zu ICE-Fahrweise nicht störend; Automatikgetriebe; Geschwindigkeit durch „Head-Up Display“ gut im Auge behaltbar;
	F4	Ruhiges und stabiles Auto; Keine besonderen Bemerkungen;
	F5	Anfänglich etwas über die gute Beschleunigung des Wagens überrascht;
V-Kfz: Toyota Verso	F1	Auto wesentlich lauter als alle andere; Motorengeräusch als störend empfunden; Handy 2mal geläutet als störend empfunden; Sehr warm im Auto. Etwas abgelenkt während der Fahrt. Eine relativ starke Bremsung wegen LKW.
	F2	Eher laut, klassisches V-Kfz;
	F3	Lautes/Altes Kfz; durch Schaltvorgang wird Geschwindigkeit gut im Auge behalten, ohne dauernd auf den Tacho achten zu müssen;
	F4	Klassisches Fahrzeug;
	F5	Innengeräusch im Vergleich mit anderen Kfz am höchsten (definitiv als altes ICE-Fahrzeug einzustufen);

drivEkustik - Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen Fördergeber:

Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds



drivEkustik

Anhang B

Ergebnisbericht AP2 + AP3

Juli 2013

Projektkoordination:
KFV - Kuratorium für Verkehrssicherheit

Projektpartner:

AIT - Austrian Institute of Technology GmbH bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung BSVÖ - Blinden- und

Anhang B		
Version: FINAL	Ergebnisbericht AP2 + AP3	Seite 1/45

drivEkustik - Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen Fördergeber:

österreichischer Verkehrssicherheitsfonds



GZ.BMVIT-199.736/0002-IV/ST2/2011

Projekttitel:

drivEkustik

Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen

Fördergeber: Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds

Ergebnisbericht zu den Arbeitspaketen 2 und 3

Untersuchung des Fahrverhaltens im E-Automobil

Vergleich der gewonnenen E-Mobilitätsdaten mit den bestehenden Daten zu

Verbrennungsmotoren

Projektende: 31.07.2013

Projektstart: 01.08.2011 Autor(en):

Dr. Kerstin Runda, Kuratorium für Verkehrssicherheit Jasmin Daum, BSc, Kuratorium für Verkehrssicherheit Dr.

Michael Gatscha, Test & Training International DI Andrea Pumberger, Kuratorium für Verkehrssicherheit DI

Martin Donabauer, Kuratorium für Verkehrssicherheit Christian Brandstätter, Kuratorium für Verkehrssicherheit

Anhang B		
Version: FINAL	Ergebnisbericht AP2 + AP3	Seite 2/45

Inhaltsverzeichnis

Ergebnisbericht AP2 + AP3	1
Kurzzusammenfassung	5
Abstract	6
1 Einleitung	7
2 Untersuchung des Fahrverhaltens im E-Kfz	10
2.1 Methode	10
2.1.1 TeilnehmerInnen.....	10
2.1.2 Testfahrzeuge.....	11
2.1.3 Messtechnologie	12
2.1.4 Datenaufbereitung	14
2.2 Beschreibung der erhobenen Daten	16

2.2.1	Fahrdauer- und strecke	16
2.2.2	Kalendarische und chronologische Auswertungen	17
2.3	Einfluss der Innenraumakustik auf das Fahrverhalten	20
2.3.1	Messung der Innenraumakustik	20
2.3.2	Idee und geplante Auswertung	22
3	Vergleich der gewonnenen E-Mobilitätsdaten mit den bestehenden Daten zu Verbrennungsmotoren	23
3.1	Beschreibung der 100CarStudy	23
3.2	Aufbereitung der Daten	23
3.3	Analyse des Geschwindigkeitsverhaltens	29
3.3.1	Aufbereitung der Daten.....	30
3.3.2	Analyse der v_{85}	31
3.3.3	Durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit.....	32
3.3.4	Überschreiter der höchstzulässigen Geschwindigkeit	33
3.4	Analyse der Bremsmanöver	34
3.5	Analyse von Gewöhnungseffekten und deren Einfluss auf das Fahrverhalten von E-Kfz	36
4	Zusammenfassung	39
	Literaturverzeichnis	41
	Abkürzungsverzeichnis	42
	Abbildungsverzeichnis.....	43
	Tabellenverzeichnis.....	45

Kurzzusammenfassung

Der nachfolgende Bericht stellt die Arbeitspakete 2 und 3 des Projektes drivEkustik dar. Das Projekt beschäftigte sich generell mit dem Thema E-Mobilität, Fahrverhalten und Interaktionen zwischen E-Kfz und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen. In den vorliegenden Arbeitspaketen lag der Fokus auf dem Fahrverhalten beim Lenken eines E-Kfz.

Im Arbeitspaket 2 wurde das Fahrverhalten im E-Kfz untersucht. Hierfür nahmen 40 ProbandInnen an Testfahrten teil. Es wurden fünf E-Kfz der Serie "E-Cell" Mercedes A- Klasse vom „Lebensland Kärnten“ zur Verfügung gestellt. Das Fahrverhalten (Geschwindigkeit, Beschleunigung) sowie die GPS-Position des Fahrzeuges wurden anhand des pdrive lite ® System erhoben. Die Auswertung erfolgte mittels originärer AuswerteSoftware "Analysis". Aus den gesammelten Daten wurden die

Fahrdauer und die Fahrdistanz ermittelt. Im Ergebnis zeigte sich, dass die E-Kfz vorwiegend für kurze Fahrtstrecken und für kurze Fahrdauern verwendet wurden. Weiters haben die Fahrten mit den E-Kfz zum größten Teil an Werktagen (Montag bis Freitag) stattgefunden.

In Kooperation mit dem Projekt E-FFEKT¹⁸ wurden zusätzlich Messungen der Innenraumakustik in spezifischen Fahrsituationen (vergleichbare Situationen, z.B. Anfahren) vorgenommen. Hierfür wurden jeweils zwei E- und Kfz mit Verbrennungsmotor (V-Kfz) herangezogen.

In Arbeitspaket 3 wurden die in Arbeitspaket 2 gewonnenen E-Mobilitätsdaten mit bestehenden Daten zu V-Kfz (aus 100Car Study)¹⁹ verglichen. Es wurde festgestellt, dass E-Kfz für kürzere Strecken und für das niederrangige Straßennetz verwendet werden. Im niedrigeren Geschwindigkeitsbereich (30 sowie 50 km/h) weisen zudem die Fahrten mit E-Kfz eine höhere v_{85} ²⁰ auf, im höheren Geschwindigkeitsbereich (70-130 km/h) überschreiten v.a. LenkerInnen von V-Kfz die höchstzulässige Geschwindigkeit. Unter 50 km/h wurde bei den Fahrten mit E-Kfz eine höhere Anzahl an Bremsmanövern festgestellt, über 50 km/h kehrt sich dies um. Generell kann keine Aussage über stärkere Bremsmanöver bei Fahrten mit E-Kfz getroffen werden. Bei der Analyse des Gewöhnungseffektes wird deutlich, dass die TestlenkerInnen von E-Kfz dazu tendieren, ihre gewohnte Fahrweise auf das E-Kfz zu übertragen.

Abstract

In the subsequent report, work packages 2 and 3 of the research project drivEkustik are being presented. Generally, the project was dealing with E-mobility and its effects on driving performance as well as interactions between E-cars and cyclists / pedestrians. Work packages 2 and 3 are focusing on E-car drivers' driving performance.

In work package 2, driving performance was measured. 40 test persons used an E-car "E- Cell" Mercedes A-Class for one week. The E-cars were provided by Lebensland Kärnten. Driving performance (speed, acceleration) as well as the E-car's GPS-position were measured via pdrive lite ® system. Data analysis was done by the use of proprietary software "Analysis". The length of the trip as well as the distance covered was identified from data. To draw a result, E-cars were mostly used for short trips. Most of the drivers used the E-car on weekdays.

In cooperation with the project E-FFEKT, additional measures were done concerning indoor acoustic issues in specific driving situations (e.g. start-up process). Therefore, two E-cars and two cars with internal combustion engine were consulted.

In work package 3, results from work package 2 were compared to data from 100Car Study, dealing with driving performance in cars with internal combustion engine. It was found that E-cars were used for shorter trips and lower street levels than cars with internal-combustion engine. In the lower speed

Vgl. Aleksa et al, 2013

¹⁹ Vgl. KFV, 2013

²⁰ Jene Geschwindigkeit, die von 85% der gemessenen Fahrzeuge nicht überschritten wird.

range (30 and 50 km/h), E-cars were found to have a higher v85 (85th-percentile of the distribution of realized speed) than cars with internal-combustion engine. In the upper speed level (70-130 km/h), cars with internal-combustion engine tended more to speeding than E-cars. Concerning braking maneuvers, it was found that E-cars show a higher number than cars with internal-combustion engine when driving less than 50 km/h. When driving more than 50 km/h, it was the other way around. In general, it cannot be concluded that E-cars show stronger braking maneuvers than cars with internal-combustion engine do. Analyzing habituation effects, E-car drivers tend to approach their driving behavior more and more to their familiar driving behavior when driving a car with internal combustion engine.

1 Einleitung

Das Projekt drivEkustik verfolgte das Ziel, die Auswirkungen veränderter Verkehrsemissionen von E-Kfz auf die Verkehrssicherheit systematisch von allen Seiten zu beleuchten. Während Arbeitspaket 5 (AP 5) und Arbeitspaket 6 (AP 6) diesen Aspekt mit Schwerpunkt auf die Wahrnehmbarkeit von außen untersuchten, lag bei den Arbeitspaketen

2, 3 und 4 die Auswirkungen einer möglicherweise unterschiedlichen Innenraumakustik und Fahrdynamik auf das Fahrverhalten im Fokus. Der Zusammenhang dieser Arbeitspakete wird in Abbildung 1 ersichtlich.

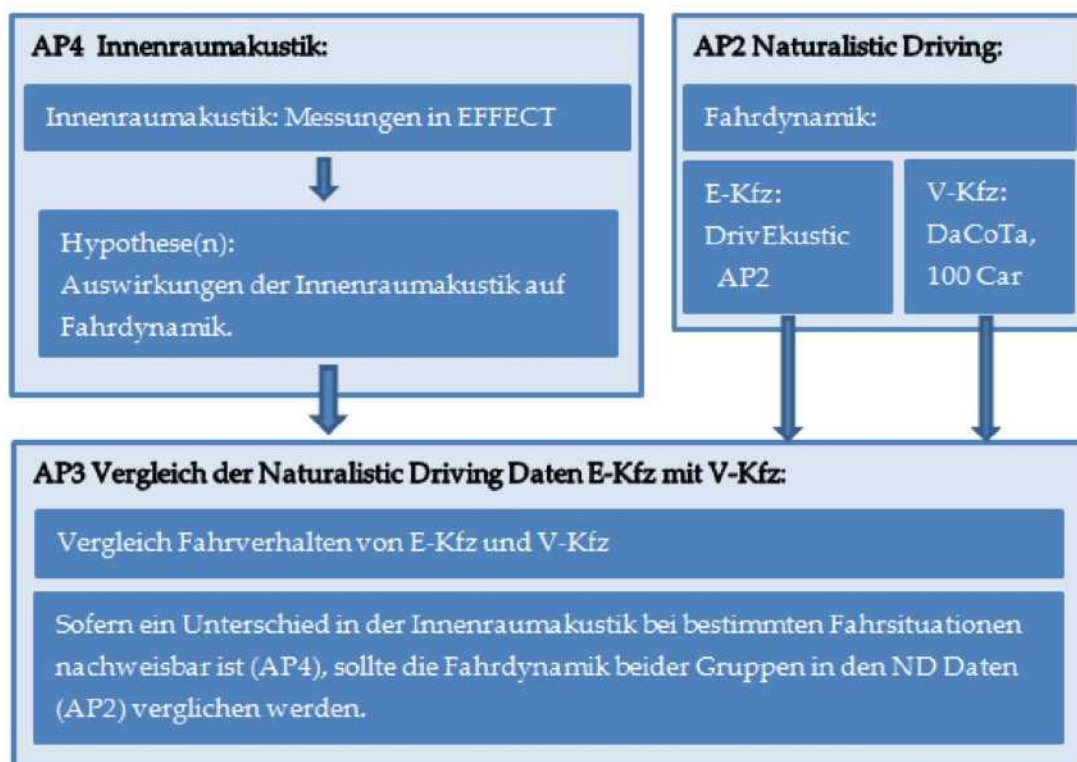


Abbildung 1: Übersicht Zusammenhänge AP2, AP3 und AP4

Das Arbeitspaket 2 (AP 2) beschäftigte sich mit der Untersuchung realen Fahrverhaltens („Naturalistic Driving“, kurz „ND“) im E-Kfz. Die im AP 2 erhobenen Daten wurden im AP 3 mit bereits bestehenden

ND-Daten von Kfz mit Verbrennungsmotoren (V-Kfz) verglichen. Der Fokus im AP 3 lag bei der Analyse von Fahrverhaltensunterschieden zwischen E-Kfz und V-Kfz.

Zusätzlich wurden Erkenntnisse des AP 4 (Innenraumakustik-Messungen) in die Analysen integriert (siehe Kapitel 2.3). Sofern ein Unterschied in der Innenraumakustik bei bestimmten Fahrsituationen nachweisbar ist (Ergebnis AP4), sollte auch dies in der Analyse der Fahrdynamik von E-Kfz und V-Kfz integriert werden.

Im AP 2 kam die erwähnte Methode des Naturalistic Driving zur Anwendung, wobei vier elektrisch betriebene Versuchsfahrzeuge mit einem Datenerfassungssystem („pdrive lite ® System“) ausgestattet wurden und die Fahrzeuge den TeilnehmerInnen der Studie übergeben wurden, um deren Fahrverhalten im Realverkehr zu beobachten. Die Testpersonen sollten dabei die Fahrzeuge innerorts, außerorts und auf hochrangigen Straßen benutzen. Die ProbandInnen des Versuchs sollten dabei unterschiedlichen Alters, weibliche und männliche LenkerInnen sein, die über möglichst unterschiedliche Fahrpraxis verfügen um zu einem breit gefächerten Bild des Fahrverhaltens zu kommen.

Im Rahmen der von der Europäischen Kommission geförderten Projekte PROLOGUE (2010) und DaCoTA (2011) wurden bereits Fahrversuche mit V-Kfz durchgeführt. Im Zuge der genannten Projekte wurde auch die Machbarkeit derartiger Fahrverhaltensstudien mit Hilfe des eingesetzten Systems „pdrive lite ® System“ unter Beweis gestellt. Zusätzlich dazu führt das KfV (Kuratorium für Verkehrssicherheit) seit dem Jahr 2011 eine eigenfinanzierte ND- Studie durch, bei der 100 LenkerInnen ein Jahr lang beobachtet werden und deren Fahrdaten aufgezeichnet werden. Die in diesen Projekten erhobenen Daten wurden als Referenz zu den im Arbeitspaket 2 generierten Daten herangezogen und in Beziehung gesetzt. Die Vergleiche dieser Daten sind in Kapitel 3 (AP 3) angeführt.

Nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht bezüglich gesammelter sensorischer Daten sowie Datenbeschreibung (beteiligte Fahrzeuge, FahrerInnen, Anzahl der Fahrten und Fahrzeit) je Projekt.

drivEkustik - Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen Tabelle 1:

Datenübersicht drivEkustik zu Vergleichsprojekten DaCoTa und 100CarStudy

Naturalistic Driving AP2	drivEkustik	DaCoTa	100CarStudy
Sensorik (pdrive lite ® System):			
Beschleunigung	X	X	X
GPS, Zeit	X	X	X

Video	-	-	X
Datenbeschreibung:			
Fahrzeuge	5	10	102
FahrerInnen	40	10	140
Fahrten	2.300	4.000	> 50.000
Fahrzeit (h)	ca.400	ca. 1.300	ca. 16.000

2 Untersuchung des Fahrverhaltens im E-Kfz

2.1 Methode

2.1.1 TeilnehmerInnen Rekrutierung der Versuchspersonen:

Aufgrund des aktuell geringen Bestands an E-Kfz gestaltete sich die Rekrutierung der Versuchspersonen äußerst schwierig. Es konnten keine Privatpersonen, die ein E-Kfz besitzen, als Versuchspersonen rekrutiert werden. Es ergab sich jedoch die Möglichkeit, LenkerInnen von E-Kfz anzusprechen, die dieses nur leihweise benutzen. Dadurch konnte die angestrebte Anzahl an TeilnehmerInnen erreicht werden.

Die Datenerhebung des AP2 wurde im Bundesland Kärnten im Raum Klagenfurt vom 6.2.2012 bis zum 30.8.2012 durchgeführt. Die Kärntner Landesregierung unterstützte das Projekt mit zur Verfügung gestellten Elektrofahrzeugen, da das Land Kärnten im Versuchszeitraum (und darüber hinaus) ein Projekt zur Promotion von Elektrofahrzeugen umsetzte.

Mit Hilfe zweier Werbeagenturen („L2 Werbeagentur“²¹ und „macom - Agentur für Events Communications & Consulting“²²) wurden Versuchspersonen über die Webseite²³ des „Lebensland Kärnten“ rekrutiert, bei dem sich interessierte Personen als TestfahrerInnen für ein Elektrofahrzeug anmelden konnten.

L2 Werbeagentur: <http://www.l2agentur.at/>,

' macom Agentur für Events Communications & Consulting: <http://www.macom.co.at/>

' Webseite Lebensland Kärnten: <http://www.lebensland.com/de/service/testfahrer>



Abbildung 2: Screenshot der Webseite Lebensland Kärnten zur Suche von TestfahrerInnen für E-Kfz

Auf der Webseite wurden die Versuchspersonen über Ablauf und Dauer für Testfahrten mit einem Elektrofahrzeug informiert. Die ProbandInnen konnten sich die Fahrzeuge wochenweise ausleihen, und zwar jeweils von Montag bis auf den nächstfolgenden Montag.
Beschreibung der Stichprobe:

Insgesamt nahmen an der Untersuchung 40 Versuchspersonen teil. Von den 40 teilnehmenden Personen waren fünf weiblich. Das Alter der Teilnehmenden reichte von 29 bis 64 Jahre. Nähere Informationen zu den TestfahrerInnen sind nicht bekannt. Einerseits wurde aufgrund von datenschutzrechtlichen Bestimmungen keine Videokamera in die E-Kfz eingebaut, andererseits konnten durch die Testsituation die Teilnehmenden nicht zusätzlich befragt werden. Es bestand deshalb keine Möglichkeit, die einzelnen Fahrten bestimmten Personen zuzuordnen. Es können nur Aussagen über alle Fahrten getroffen werden.

2.1.2 Testfahrzeuge

Die Versuchsfahrzeuge im Rahmen dieses Projekts waren fünf Elektrofahrzeuge Mercedes A-Klasse „E-Cell“. Die A-Klasse E-CELL ist das erste in Kleinserie (500 Fahrzeuge) gefertigte Elektroauto mit batterieelektrischem Antrieb von Mercedes-Benz.

Der Hersteller bewirbt dieses Fahrzeug als „alltags- und familientauglichen Fünfsitzer“ der einen „großzügigen und flexibel nutzbaren Innen- und Kofferraum“ bietet. Die beiden Lithium- Ionen-Batterien sind in diesem Fahrzeug im Fahrzeugunterboden angebracht und ermöglichen laut Hersteller eine Reichweite von mehr als 200 km.



Abbildung 3: Testfahrzeug Mercedes A-Klasse der Serie „E-Cell“

Bei einer Geschwindigkeit von 150 km/h bremst die Elektronik den elektrischen Vortrieb ein. Ein vergleichbares Fahrzeug mit Verbrennungsmotor ist z.B. der Mercedes A 160 mit 95 PS, welches in etwa über ähnliche Beschleunigungswerte verfügt.

2.1.3 Messtechnologie Das pdrive lite ® System:

Das eingesetzte Meßsystem war das pdrive lite ® System, welches im Handel frei erhältlich ist. Das Hauptsystem besteht aus einer kleinen Box (siehe Abbildung 4) in der sich diverse Sensoren und Speichermedien befinden.



Abbildung 4: Herzstück des pdrive lite ® Systems

Das System wurde speziell für Naturalistic Driving-Studien entwickelt, da es sich sehr einfach

installieren und durch die geringe Größe²⁴ leicht - und für den/die FahrerIn unauffällig - im Fahrzeug unterbringen lässt.

Im Rahmen von Naturalistic Driving-Studien sollte die eingesetzte Technologie möglichst unauffällig platziert werden, um so unerwünschte Effekte, wie vor allem die Beeinflussung des Fahrstils durch das sichtbare Vorhandensein von Technologie, hintanzuhalten. Weiters sollten FahrerInnen nicht durch die Technologie bei der Fahraufgabe abgelenkt werden, etwa durch blinkende Lichter am Gerätegehäuse, etc.

Im Falle dieser Studie wurde das Gerät unter dem Beifahrersitz installiert und war so platziert für den/die LenkerIn weder sicht- noch hörbar.

Folgende Daten können mit Hilfe des Systems gemessen und aufgezeichnet werden:

1. GPS Signal
2. Quer- und Längsbeschleunigung, vertikale Beschleunigung
3. bis zu 4 Videosignale
4. Stereo - Audiosignal
5. Geschwindigkeit (mittels GPS)
6. Datum und Uhrzeit (mittels GPS)

Grundsätzlich werden die Daten der Beschleunigungssensoren (longitudinal, lateral und vertikal) mit einer Rate von 100Hz aufgezeichnet, für dieses Projekt wurde die Rate aber auf 10Hz reduziert, da diese Auflösung der Daten eine hinreichende Genauigkeit für die im Projekt benötigten Zwecke garantiert.

Die Beschleunigungsdaten wurden herangezogen, um zu messen

- wie stark das Fahrzeug beschleunigt und gebremst wird
- welche Kräfte bei Kurvenfahrten auftreten sowie
- die Genauigkeit der GPS-Lokalisation zu erhöhen
- die Genauigkeit der GPS-basierten Geschwindigkeit zu erhöhen

Die Daten wurden im Binärformat (Daten) bzw. mpg-Format (Video) erhoben und auf einem handelsüblichen Speichermedium („Compact Flash“-Speicher) abgespeichert.

Das Gerät wurde bei den Fahrzeugen mittels Zigarettenanzünderadapter an das Bordstromnetz angeschlossen. Zusätzlich wurde eine GPS-Antenne am Dach angebracht um optimalen GPS-Empfang zu gewährleisten.

Automatisierung von Aufnahmestart und -stopp

Ein wesentliches Kriterium von Geräten, die bei ND-Studien eingesetzt werden, ist, dass Beginn und

Breite x Höhe x Tiefe = 14cm x 3,5cm x 15cm

Ende der Aufzeichnung automatisiert erfolgen. Das ist deswegen wichtig, um einerseits die Testperson nicht an die Verhaltensaufzeichnung zu erinnern und damit möglicherweise das Fahrverhalten in irgendeiner Weise zu manipulieren, andererseits um Bedienungsfehler und/oder damit einhergehenden möglichen Datenverlust zu verhindern.

Das in dieser Studie verwendete System wurde derart konfiguriert, dass sich das System bei Aktivierung der Zündung selbsttätig einschaltet und bei Deaktivierung der Zündung selbstständig, allerdings mit einer Latenz von einigen Sekunden, wieder ausschaltet.

Die Verzögerung beim Ausschalten wurde deswegen eingesetzt, um die Aufnahme durch mögliche kurze Spannungsunterservorgungen, wie etwa durch Abwürgen des Motors, nicht zu unterbrechen. Daher wurde im Aufzeichnungsgerät eine Pufferbatterie integriert um solche kurzen elektrischen Versorgungsengpässe auszugleichen.

2.1.4 Datenaufbereitung

Die erhobenen Daten wurden mittels der originären Auswerte-Software „Analysis“ analysiert. Diese Software erlaubt die genaue Verortung der Fahrstrecke mittels einer graphischen Darstellung. Gleichzeitig lassen sich die erhobenen Parameter wie Geschwindigkeit und Beschleunigungswerte zu jedem beliebigen Zeitpunkt/Ort der Fahrt genau bestimmen. Ein Überblick einer Beispielfahrt ist in der folgenden Abbildung exemplarisch dargestellt:

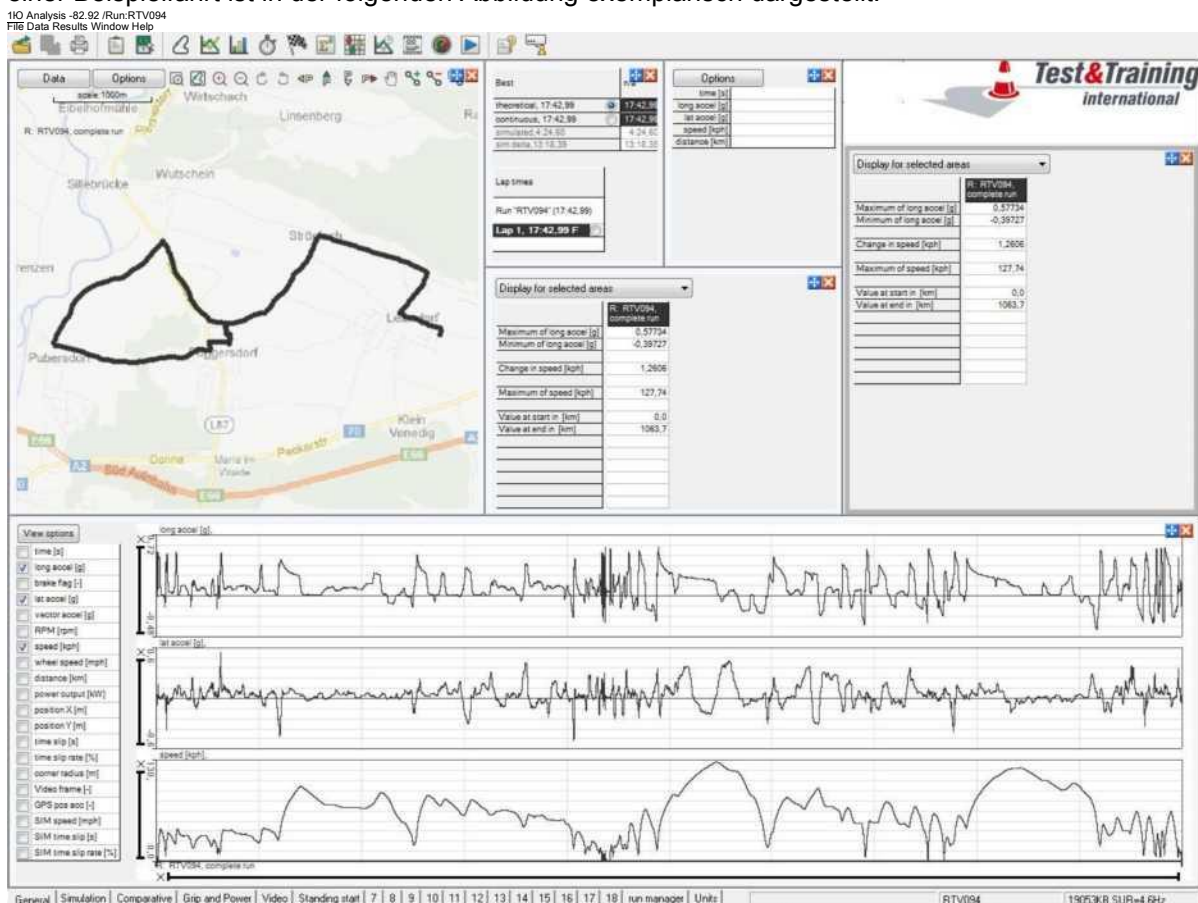


Abbildung 5: Screenshot der Auswerte-Software (pdrive lite ® System)

Weiters wurden mit Hilfe der Auswertesoftware die Daten auf Plausibilität und Gesamtheit gesichtet,

der Datenumfang der erhobenen Variablen reduziert und in ein SQL-lesbares Format exportiert. Dies geschah mit Hilfe einer Stapelverarbeitungsdatei (sog. „batch-Datei“) automatisiert. Das Ergebnis ist eine Datenbank mit Zusammenfassungen aller einzelnen Fahrten der Versuchspersonen, die mit Hilfe des Statistikprogramms „SPSS“ bereinigt und analysiert wurden.

Im Zuge der Datensäuberung wurden 100 Einzelfahrten aus der Auswertung genommen, da die Fahrten zu kurz waren (unter 16 Sekunden) um ein gültiges GPS Signal zu empfangen. Dadurch entstand ein ungültiges Datumsformat.

Die verbleibenden Fahrten konnten so in weiterer Folge mit bereits vorhandenen Fahrverhaltensdaten aus den genannten anderen Projekten verglichen werden (Inhalt des Arbeitspakets 3).

2.2 Beschreibung der erhobenen Daten

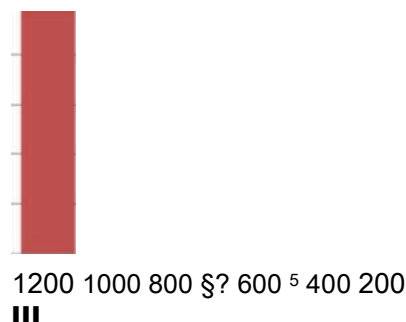
Auf Basis der GPS Daten konnte die Örtlichkeit der Fahrt festgestellt werden. Folgende Daten konnten pro Fahrt gewonnen werden: Gemeinde, Uhrzeit, Dauer der Fahrt, Straßenkategorie sowie Tempolimit. Die Daten der Straßenkategorie liegen in acht Abstufungen vor, beginnend mit der Kategorie Autobahn bis Kategorie Nebenstraße. Als wesentlichste georeferenzierte Datenquelle des KfV stehen die Multinet-Daten von TomTom als GIS-Layer zur Verfügung. Anzumerken ist, dass keine Videos vorliegen und somit weder die ProbandInnen identifizierbar waren noch Vorgänge im oder außerhalb des Elektroautos beobachtet werden konnten.

Insgesamt wurden 2.313 gültige Fahrten in die Datenbank aufgenommen und analysiert. Die folgenden Analysen beschreiben unterschiedliche Charakteristika der Fahrten, beispielsweise nach Fahrtdauer, Wochentag und Uhrzeit der Fahrten.

2.2.1 Fahrtdauer- und strecke

Die folgenden Abbildungen zeigen einen Überblick der absolvierten Testfahrten nach Fahrtdauer und Fahrtstrecke. Dabei fällt auf, dass deutlich über die Hälfte der aufgezeichneten Fahrten maximal 10 Minuten dauerten. Die zurückgelegte Fahrtstrecke beträgt bei den meisten Fahrerinnen weniger als 5 Kilometer, daher handelt es sich bei den meisten Wegen um Kurzstrecken.

Wege nach Fahrtdauer

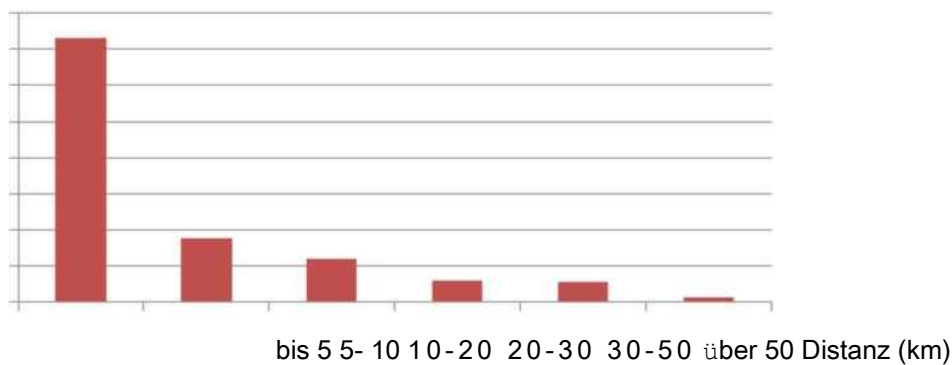


bis 5 5- 10 10- 15 15-30 30-60 über 60 Weglänge (min)

Abbildung 6: Verteilung der Wege nach Fahrtdauer kategorisiert (N= 2.313)

Nur etwa 21 Prozent aller Fahrten dauerten länger als 15 Minuten. Ein ähnliches Bild zeigt die Auswertung nach gefahrener Streckenlänge:

Wege nach Fahrtstrecke



1600 1400 1200 o, 1000 §> 800 5 600

400

200

0

Abbildung 7: Verteilung der Wege nach Fahrdistanz kategorisiert (N= 2.313)

Der Großteil der Fahrten betrug weniger als 5 Kilometer, nur 11 Prozent aller Fahrten waren länger als 20 Kilometer. Dieses Ergebnis steht natürlich im Einklang mit dem Vorigen, da Fahrdauer und Fahrstrecke in der Regel miteinander korrelieren, außer z.B. bei Stau. Eine plausible Erklärung für die relativ hohe Anzahl an kurzen Fahrten ist, dass die Versuchspersonen im ländlichen Raum den Pkw z.B. zum Einkaufen benützten.

2.2.2 Kalendarische und chronologische Auswertungen

Betrachtet man die Fahrten hinsichtlich der Verteilung nach Wochentag, ergibt sich folgendes Bild:
Wege nach Wochentag

450

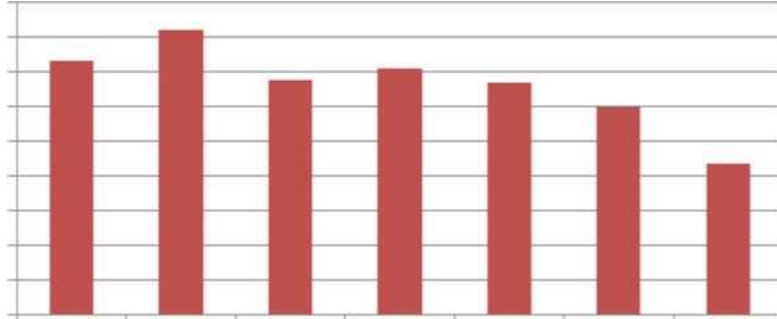
400

350

300

ro250

0> onn



Mo Di Mi Do Fr Sa So Wochentag

150 100 50 0

Abbildung 8: Anzahl der Wege nach Wochentag (N= 2.313)

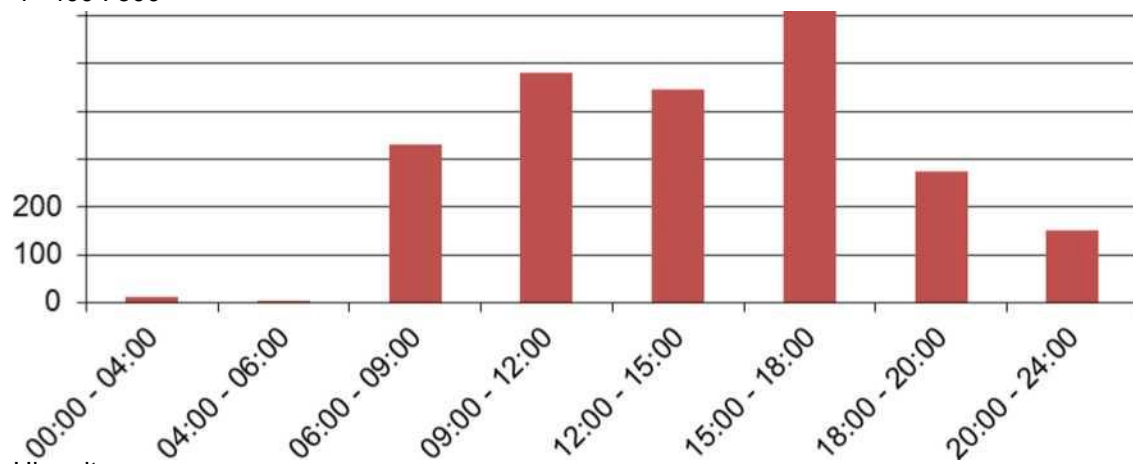
Die meisten Fahrten wurden zu Wochenbeginn unternommen. Hingegen wurden am Wochenende wenige Fahrten gezählt. Wie aus Abbildung 8 hervorgeht, erfolgten die meisten Fahrten dienstags.

Betrachtet man die Wege nach Uhrzeit, wird ersichtlich, dass nachmittags/abends zwischen 15 und 18 Uhr die meisten Wege zurückgelegt wurden.

Wege nach Uhrzeit

700

4> 400 | 300



Uhrzeit

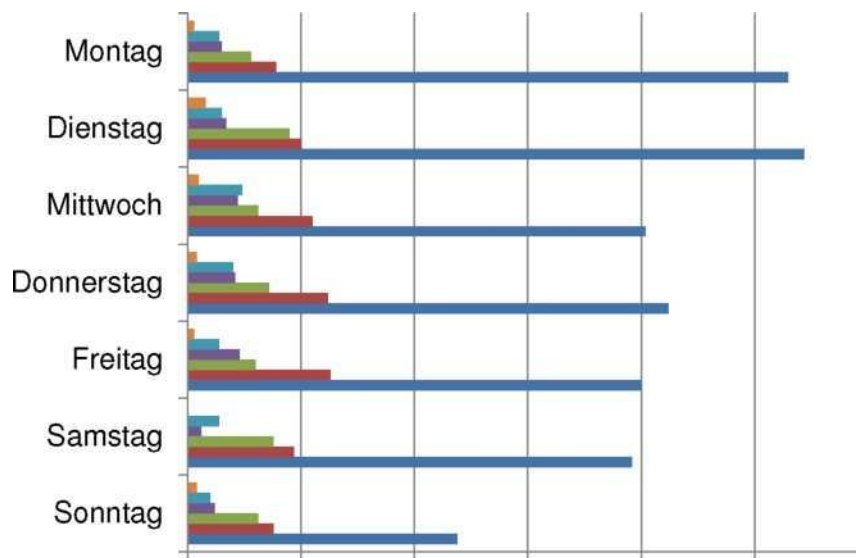
Abbildung 9: Anzahl der Wege nach Uhrzeit (N= 2.313)

Die folgende Abbildung zeigt, dass auch die zurückgelegten Distanzen unter der Woche am größten waren, beispielsweise wurde keine einzige Fahrt über 50 Kilometer Distanz an einem Samstag aufgezeichnet.

über 50 km 30-50 km 20-30 km 10-20 km 5-10 km

weniger als 5 km

300



50 100 150 200 250 Anzahl der Fahrten

0

Anzahl der Fahrten nach Wochentag und Streckenlänge

Abbildung 10: Anzahl der Fahrten nach Wochentag und Streckenlänge (N= 2.313)

Die Datenbasis nach der Stunde des Fahrtbeginns ausgewertet zeigt, dass die meisten Fahrten zwischen 15 und 18 Uhr angetreten wurden und am wenigsten zwischen 0 und 6 Uhr früh gefahren wurde, wie in der nächsten Abbildung dargestellt:

Stunde des Fahrtbeginns

Dauer(min)

i0-5 Minuten

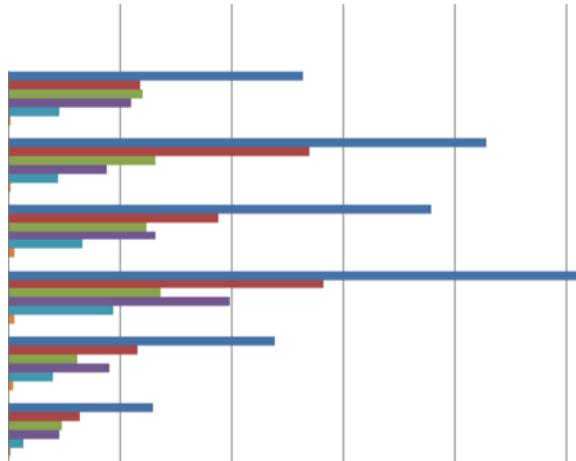
i5-10 Minuten

10-15 Minuten

30-60 Minuten

über 60 Minuten

50
100 150 200 250 300



0-4 Uhr nachts . 4-6 Uhr frühmorgens | 6-9 Uhr morgens 9-12 Uhr vormittags 12-15 Uhr frühnachmittags 15-18

Uhr spätnachmittags 18-20 Uhr frühabends 20-24 Uhr nachts

Abbildung 11: Stunde des Fahrtbeginns kategorisiert (N= 2.313)

Fahrten, die eine Stunde oder länger dauerten, sind erst nachmittags angetreten worden, und nicht etwas in den Morgenstunden.

2.3 Einfluss der Innenraumakustik auf das Fahrverhalten

2.3.1 Messung der Innenraumakustik

In Kooperation mit dem Projekt E-FFEKT wurden jeweils vier Fahrten mit einem E-Kfz und einem V-Kfz realisiert. Fluence (Renault) und i-MiEV (Mitsubishi) dienten der Realisierung der Fahrten mit Elektrofahrzeug. Prius und Verso (Toyota) wurden für die Fahrten mit V-Kfz verwendet. Mit jedem Fahrzeug wurden zwei Fahrten durchgeführt. Insgesamt liegen die Daten von acht Fahrten inklusive Innenraumakustikmessung vor. Die Fahrten wurden von den gleichen Personen und auf der gleichen Teststrecke durchgeführt.

E-Kfz	Fluence (Renault) ⁸ 	i-MiEV (Mitsubishi) ⁹ 
V-Kfz	Prius (Toyota) ¹⁰ 	Verso (Toyota) ¹¹ 

8

Im Rahmen dieser Kooperation wurden Videos aufgezeichnet. Auf Basis der Videos wurde ein Stellenkatalog bezogen auf die Fahrtstrecke erstellt. Jede Situation ist in diesem Katalog als Stelle definiert. Eine Kreuzung stellt beispielsweise eine Stelle dar. Mittels Videoanalyse wurde jede konkrete Fahrtsituation codiert. Als konkrete Fahrtsituation kann zum Beispiel die Situation im Kreisverkehr beschrieben werden (Ist das Einfahren in den Kreisverkehr möglich? Gab es FußgängerInnen?). Diese Analyse wurde über alle Fahrten durchgeführt. Die Fahrtdauer variiert zwischen 50 und 60 Minuten. Die Akustik im Innenraum wurde nur zu bestimmten Fahrtsituationen gemessen. Die Akustikmessungen wurden in vergleichbaren Situationen, zum Beispiel beim Anfahren, durchgeführt und anschließend verglichen sowie analysiert.

<http://www.grueneautos.com/2010/04/serienmodell-des-e-autos-renault-fluence-ze/>

<http://www.grueneautos.com/2009/06/verkauf-des-elektroautos-mitsubishi-i-miev-startet-im-april-2010-flottenkunden-im-juli-2009/>

¹⁰ <http://www.greenmotorsblog.de/hybridautos/hybridautos-toyota-prius-verkauft-sich-wie-geschnitten-brot/>

¹¹ <http://de.autoblog.com/2012/09/19/premiere-in-paris-toyota-verso-2013-10-fotos/>

2.3.2 Idee und geplante Auswertung

Arbeitspaket 4 (AP 4) lieferte Rückschlüsse über den Einfluss der Innenraumakustik zwischen E-Kfz und V-Kfz auf die Fahrdynamik. Diese Resultate aus AP4 sollten in AP3 anhand der bei weitem umfangreicheren ND-Daten aus AP2 analysiert werden. Aus zeitlichen Überlegungen wurde AP2 parallel zu AP4 durchgeführt, wodurch einige Synergien zwischen den Arbeitspaketen nicht ausgenutzt werden konnten.

Geplante Datennutzung für AP3:

Liegen in bestimmten Situationen erhebliche Unterschiede in der Innenraumakustik vor, dann ist anhand eines größeren Samples eine Hochrechnung für den normalen Verkehr möglich. Der Vergleich zwischen E-Kfz und V-Kfz ist dann sinnvoll, wenn gleiche Fahrtsituationen herrschen (Losfahren, Abbremsen, ob es einen Vordermann gibt oder nicht, ob es Querverkehr gibt oder nicht und ob z.B. die Ampel gerade auf Rot geschaltet ist). Diese Grundüberlegung war Ausgangspunkt, um in einer realitätsnahen Umgebung mögliche Ergebnisse im nächsten Schritt auf „real world“ Szenarien

umrechnen zu können. Würde man z.B. erkennen, dass in ganz bestimmten Fahrsituationen erhebliche Unterschiede in der Innenraumakustik vorherrschen, dann könnte diese Fahrt eine Hochrechnung oder Schätzung erlauben, wenn diese im „normalen Verkehr“ vorkommen. So könnte man eventuell auf Manöverebene ein Mengengerüst erstellen und möglicherweise die Größenordnung des Problems abschätzen.

Aus den Ergebnissen aus den in AP4 durchgeführten Untersuchungen konnte zwar ein Unterschied in der Innenraumakustik festgestellt werden, dieser Unterschied beeinflusst jedoch nicht direkt die Fahrdynamik.

3 Vergleich der gewonnenen E-Mobilitätsdaten mit den bestehenden Daten zu Verbrennungsmotoren

3.1 Beschreibung der 100CarStudy

Um einen Vergleich zwischen Mobilitätsdaten von E-Kfz (AP2) und V-Kfz anstellen zu können, folgen Ergebnisse der 100CarStudy.

Die 100Car Study ist ein eigenfinanziertes KfV-Forschungsprojekt, dessen Daten im Projekt drivEkustik verwendet wurden. 100 Fahrzeuge werden ein Jahr lang mit pdrive lite[®] System Geräten ausgestattet. Diese zeichnen mittels zweier Kameras (FahrerIn, Straßenraum voraus), GPS Position, Datum und Beschleunigungssensoren (Längs-, Quer- und Vertikalbeschleunigung) auf. Die Aufzeichnung beginnt etwa zwei Minuten nach der Inbetriebnahme des Fahrzeugs (unabhängig davon, ob es sich bewegt oder nicht oder ob der Motor läuft oder nicht) und endet, wenn die maximale Dateigröße (3h Aufzeichnung) erreicht wird bzw. der Zündschlüssel abgezogen wird.

Für alle nachfolgenden Untersuchungen im Rahmen des Projekts drivEkustik wurden ausschließlich die GPS-Daten und Daten der Beschleunigungssensoren verwendet. Bei der Datenerhebung der E-Kfz wurden aus datenschutzrechtlichen Gründen keine Videos aufgezeichnet, deshalb war kein Vergleich mit Videos der 100Car Study möglich.

3.2 Aufbereitung der Daten Quadrantenzuordnung

Österreich wurde mit einem Hilfsprogramm (SP_Quadranten) in 102.242 Quadranten eingeteilt. Diese sind leicht überlappend, da Pufferzonen eingerichtet sind (vgl. Abbildung 12). Dadurch wird vermieden, dass ein Punkt in Nähe des Randes eines Objektes im nächsten Quadranten nicht zugeordnet werden kann.

Diese Quadranten haben eine 8-stellige ID, die durch Rundung der xy-Koordinaten leicht konstruiert werden kann:

Eine Adresse z.B. "Schleiergasse 18, 1100-Wien" hat die GPS Koordinaten 48.165495,16.378931 (Google Maps). Sie befindet sich daher in dem Quadranten $4816\ 1637 = 48.161.637$. Diese

Zugehörigkeit kann ohne geografische Rechenoperationen bestimmt werden und ist daher sehr schnell. Alle relevanten Kartenbestände wurden bezüglich dieses Systems aufbereitet.

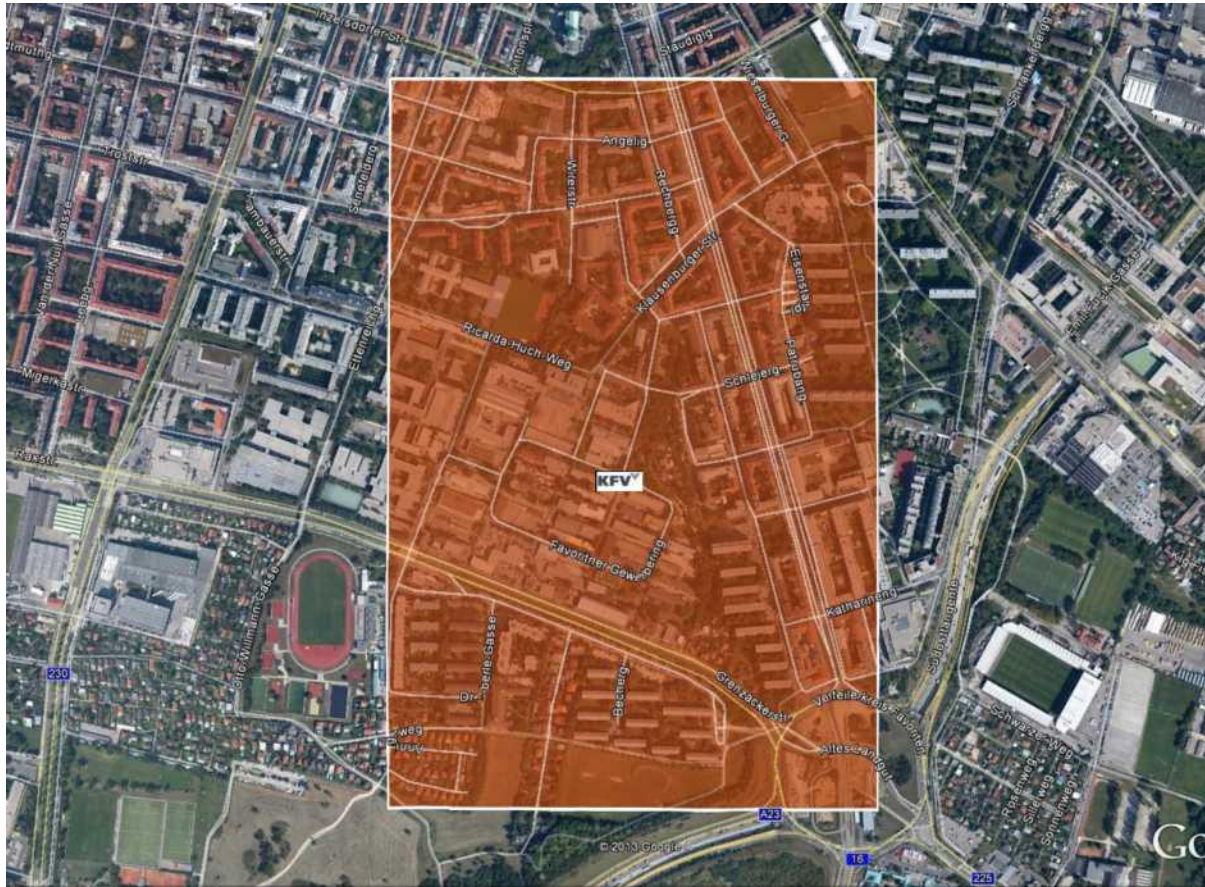


Abbildung 12: Beispiel eines Quadranten anhand des KfV-Zentrale-Standortes Schleiergasse 18, 1100 Wien

(Quelle: KfV, Kartengrundlage: Google Earth)

Verschneiden mit Karten: Tempolimit und Straßenart, Verwaltungsgrenzen

Als wesentlichste georeferenzierte Datenquelle des KfV stehen die Multinet-Daten von TomTom als GIS-Layer zur Verfügung. Diese GIS-Layer sind mit den GPS Daten verschnitten worden, um das gültige Tempolimit und die durchfahrenen Gemeinden, Bezirke und Bundesländer zu bestimmen. Diese Information wird für die Auswertungen zum Geschwindigkeitsfahrverhalten verwendet.

Aufbereitung der Aufzeichnungsfiles zu Wegen

Die aufgezeichneten Files waren für eine Auswertung nur bedingt geeignet. Diese Files wurden zu Wegen aufbereitet:

- Files kürzer als 2 min wurden verworfen.
- Files mit weniger als 15 km/h Maximalgeschwindigkeit wurden verworfen (z.B. Auto reinigen).
- Files mit weniger als 15 min Abstand wurden zusammengelegt (z.B. Motor abstellen vor Eisenbahnkreuzung, Tankstopp).

Vergleich des Mobilitätsverhaltens von LenkerInnen von E-Kfz und V-Kfz

Der Vergleich der Datengrundlagen zeigt, dass im Rahmen der 100Car Study eine deutlich größere Datenbasis für die Analyse zu Verfügung steht (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Datengrundlage Mobilitätsverhalten

Project	Wege	Zeit (h)	Weglänge (km)
Car100	11.046	4.730	277.305

drivEkustik	1.219	384	16.608
-------------	-------	-----	--------

Der Vergleich E-Kfz mit V-Kfz zeigt, dass das E-Kfz für kürzere Distanzen verwendet wurde, sowohl in Bezug auf Fahrzeit und Wegstrecke (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14).

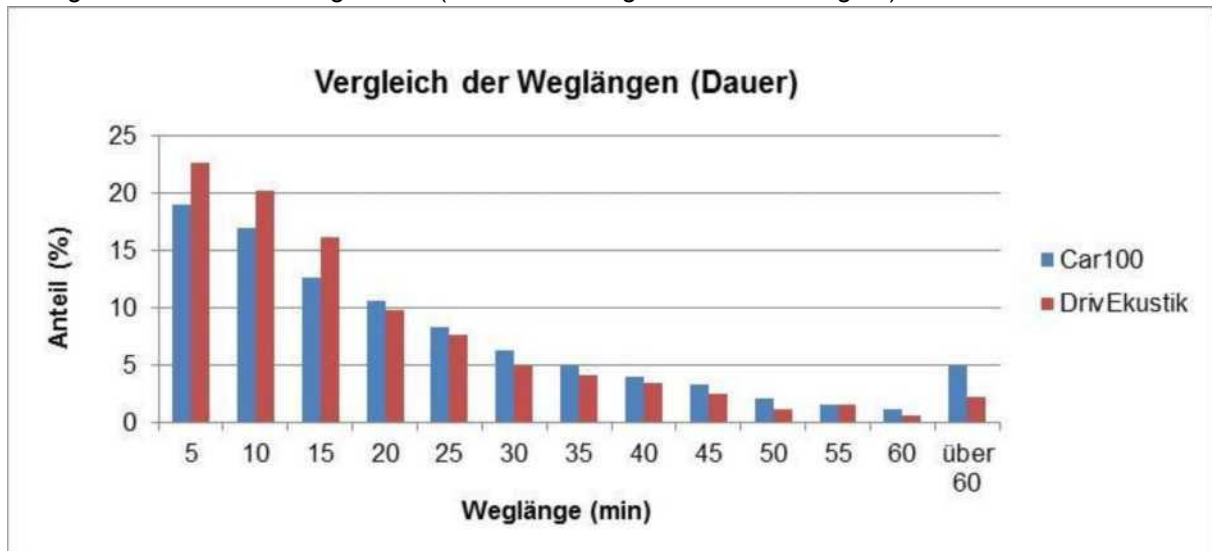
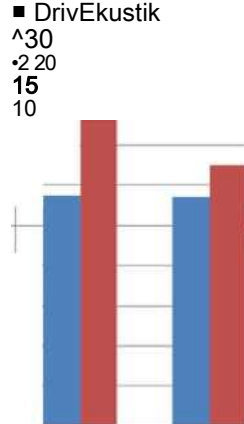


Abbildung 13: Verteilung der Wege bis 95 min nach Weglänge (min) (N= 12.265)

Vergleich der Weglängen (Distanz)

Legend: ■ DrivEkustik (red), ■ Carl 00 (blue)



45 40 35

h

0 10 20 30 40 50 über 50
Weglänge (km)

Abbildung 14: Verteilung der Wege bis 150 km nach Weglänge (in km, Angaben auf 10 km gerundet) (N=12.265)

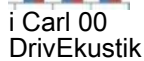
Der Vergleich der Wege nach Wochentag bzw. Uhrzeit zeigte keine auffälligen Unterschiede.

Vergleich der Wege nach Wochentag

20

i Carl 00 i DrivEkustik

Abbildung 15: Anteil der Wege nach Wochentag (N= 12.265)



Vergleich der Wege nach Uhrzeit

[illegible]

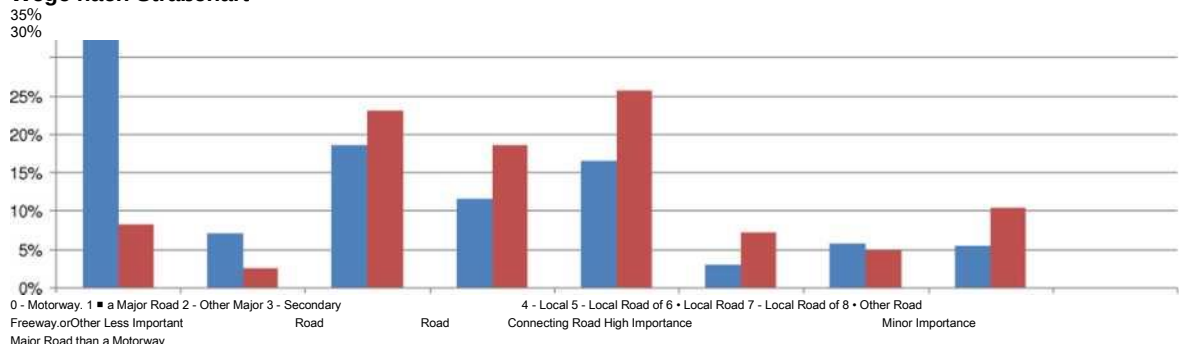
Uhrzeit

Abbildung 17: Wege nach Straßenart (N= 12.265)

■ 100Car ■ DriveKustik

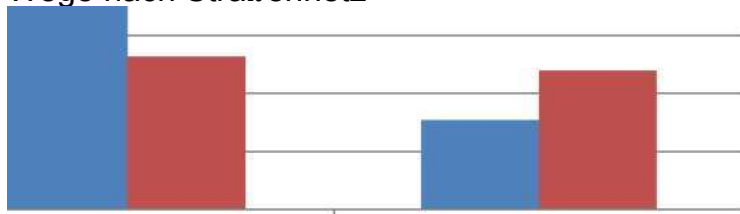
Wird ein Vergleich der Wege nach Straßenart vollzogen, ist deutlich zu erkennen, dass mit E-Kfz deutlich weniger Fahrten auf Autobahnen durchgeführt wurden. Hingegen wurde das E-Kfz häufiger im Ortsgebiet und Nebenstraßen verwendet. Abbildung 18 verdeutlicht, dass E-Kfz im Vergleich zu V-Kfz häufiger im niederrangigen Straßennetz verwendet wurden.

Wege nach Straßenart



Major Road than a Motorway

Wege nach Straßennetz



80,00%

60,00%

40,00%

20,00%

0,00%

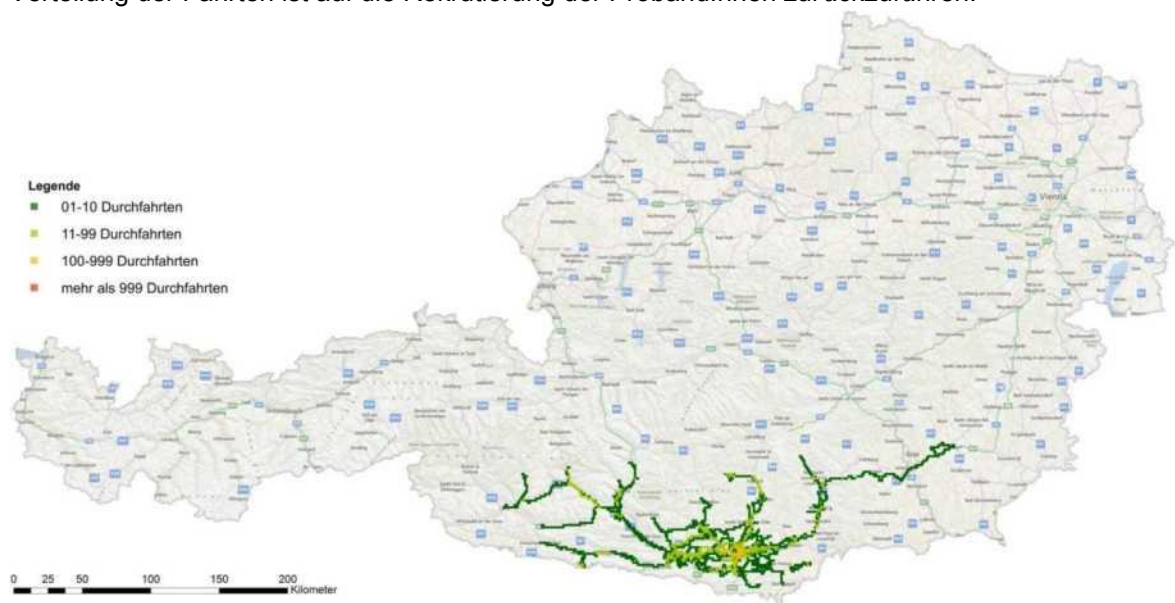
hochrangig

niederrangig

■ 100Car DrivEkustik

Abbildung 18: Wege nach Straßennetz (N= 12.265)

Die folgenden Abbildungen zeigen die durchfahrenen Quadranten der beiden Projekte. Der Vergleich der Projekte zeigt einerseits eine geographische Verteilung der Fahrten in und um das Bundesland Kärnten (drivEkustik) sowie andererseits eine Verteilung in ganz Österreich (100CarStudy). Die Verteilung der Fahrten ist auf die Rekrutierung der ProbandInnen zurückzuführen.



Kartengrundlage: Bing Maps Road

DrivEkustik

Stand: Mai 2013

Copyright by KFV - Kuratorium für Verkehrssicherheit 2013

Abbildung 19: drivEkustik - durchfahrene Quadranten (N= 2.313)

Die Fahrten der E-Kfz beschränkten sich im Wesentlichen auf die Ballungsräume Klagenfurt und Villach. Die Fahrzeuge haben Kärnten kaum verlassen. In Abbildung 19 ist zu erkennen, dass die meisten drivEkustik-Durchfahrten in der Bundeshauptstadt Klagenfurt durchgeführt wurden. Vereinzelt können bei drivEkustik Fahrten in die Nachbarbundesländer (Steiermark, Tirol) verzeichnet werden.

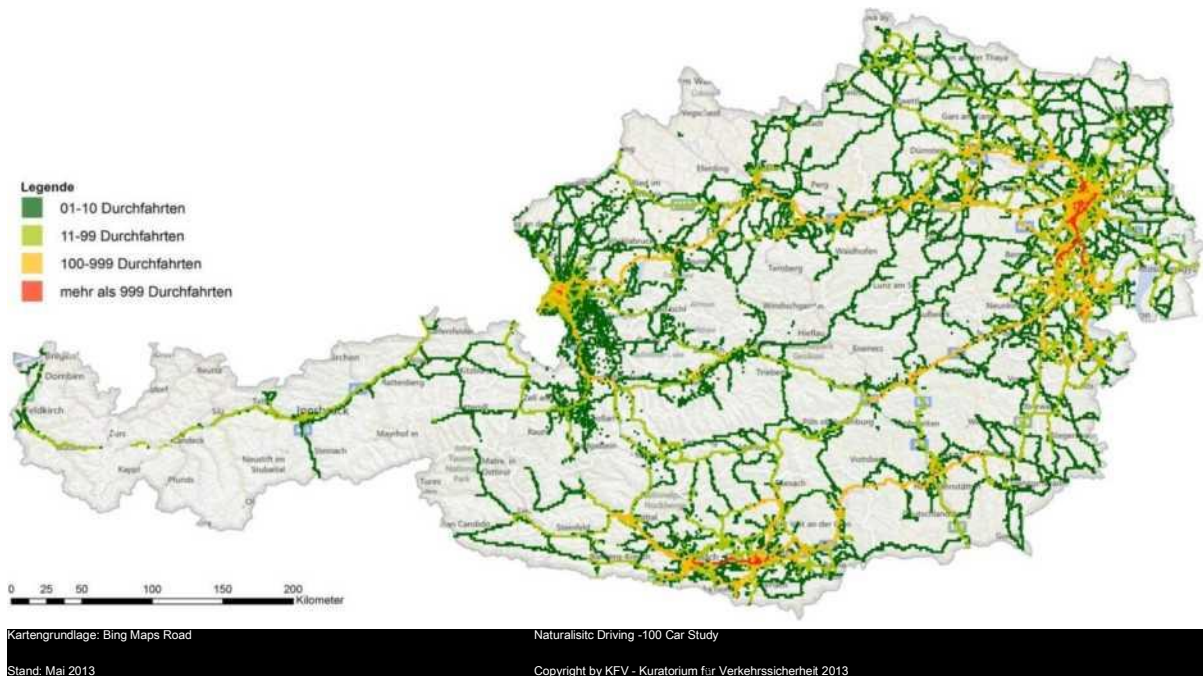


Abbildung 20: 100CarStudy - durchfahrene Quadranten (N= 9.952)

Abbildung 20 zeigt die Durchfahrten der 100CarStudy. Da die Wohnorte der ProbandInnen in ganz Österreich verteilt sind, liegen Fahrten in ganz Österreich vor. Die Fahrten der V-Kfz erreichen eine hohe Netzabdeckung in Salzburg, Niederösterreich, Wien, Burgenland und Kärnten.

3.3 Analyse des Geschwindigkeitsverhaltens

Das Geschwindigkeitsverhalten ist ein wichtiger Indikator der Verkehrssicherheitsarbeit, da überhöhte oder nicht angepasste Geschwindigkeit eine häufige Unfallursache darstellt. Die gefahrene Geschwindigkeit ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig, neben der Motorisierung des Fahrzeugs spielen die orts- und witterungsabhängige Fahrsituation, die aktuelle Verkehrsmenge aber auch der eigene Fahrstil eine wichtige Rolle.

3.3.1 Aufbereitung der Daten

Die pdrive lite ® System Software zeichnet mittels GPS-Signal jede Sekunde den Standort eines Fahrzeuges auf und speichert zusätzlich den exakten Zeitpunkt ab. Darauf kann die Geschwindigkeit der Fahrzeuge berechnet werden. Mithilfe der GPS-Koordinaten können diese Geschwindigkeitsdaten auf elektronisches Kartenmaterial des TomTom Multinet projiziert werden, die unter anderem das aus Fahrdaten geschätzte Tempolimit enthalten. Daher kann für jede Fahrt im Inland abgeschätzt werden, ob und um wie viel die höchstzulässige Geschwindigkeit überschritten wird.

Es muss erfahrungsgemäß angenommen werden, dass ein/e FahrerIn über weite Strecken nicht frei seine/ihre Geschwindigkeit wählen kann („freie Fahrt“). Dies ist einerseits durch den Verkehr bedingt, andererseits durch die Infrastruktur (Ampeln, Schwellen, Kurven, Verkehrsinseln, Straßenverengungen etc.). Diese Beeinträchtigungen können ohne aufwändige Sichtung des Videomaterials nicht bestimmt werden. Im Projekt drivEkustik stehen jedoch - wie bereits oben erwähnt - keine Videoaufzeichnungen der FahrerInnen zur Verfügung. Eine Überprüfung, ob die

FahrerInnen ihre Geschwindigkeit frei wählen konnten, ist deshalb nicht möglich.

Daher wurden als Annäherung an die „freie Fahrt“ alle 10 s Zeitintervalle bestimmt (nachfolgend Episoden genannt), in der keine wesentliche Beschleunigung oder Bremsung und auch kein Stillstand vorliegt - also annähernd konstante Geschwindigkeit. Von diesen Intervallen kann mit einer stark erhöhten Wahrscheinlichkeit ausgegangen werden, dass der/die FahrerIn seine/ihre Fahrgeschwindigkeit frei wählen konnte.

Um aus der vorhandenen Datenmenge einen auswertbaren Datensatz zu erhalten wurden daher folgende Vereinfachungen und Selektionen durchgeführt:

- Jede Fahrt wurde in 10 Sekunden Pakete unterteilt.
- Sofern ein GPS Signal vorhanden war (Genauigkeit < 15 m), wurde die Geschwindigkeit beschrieben (Minimum, Maximum, Mittelwert).
- Jene Intervalle mit relativ konstanter Geschwindigkeit > 15 km/h und Variation kleiner 3 km/h wurden selektiert, der Rest verworfen.
- Für diese Intervalle wurden die Straßenkategorie und die höchstzulässige Geschwindigkeit bestimmt.

Sowohl die Daten der 100Car Study als auch die Daten, die im Projekt drivEkustik erhoben wurden, wurden auf identische Weise aufbereitet. Diese 10 s Intervalle mit konstanten Geschwindigkeiten werden nachfolgend Episoden genannt und hinsichtlich folgender Parameter analysiert:

- v_{85} : Jene Geschwindigkeit, die von 85% der gemessenen Fahrzeuge nicht überschritten wird.
- durchschnittliche mittlere Geschwindigkeit
- überschreiter der jeweiligen höchst zulässigen Geschwindigkeit

3.3.2 Analyse der v_{85}

Die v_{85} ist ein wichtiger Parameter in der Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens und stellt eine gute Beschreibung des Fahrzeugkollektivs dar. Für die Analyse wurden die erfassten Geschwindigkeitsdaten der E-Kfz (Erhebung drivEkustik) mit jenen Daten der KfV 100CarStudy verglichen, die ebenfalls in Kärnten aufgenommen wurden. Diese Einschränkung ist erforderlich, da die österreichweiten 100CarStudy Daten regionsspezifische Besonderheiten beinhalten, die das Ergebnis verzerren können. Beispielsweise ist das Geschwindigkeitsverhalten im Ballungsraum Wien oder Graz stark von den Verkehrsmengen abhängig, der Anteil der frei fahrenden Fahrzeuge ist in diesen Regionen höchstwahrscheinlich geringer.

Durch den Vergleich jener Fahrten, die in Kärnten aufgezeichnet wurden, können regionale Gegebenheiten berücksichtigt werden. In der folgenden Grafik sind als Vergleich die Ergebnisse der 100Car Study (Gesamtösterreich), 100Car Study Kärnten (d.h. nur jene Fahrten, die tatsächlich in Kärnten aufgezeichnet wurden, siehe Abbildung 20 Seite 29) sowie drivEkustik (E-Kfz in Kärnten) dargestellt. Insgesamt wurden für Abbildung 21 rd.

2.2 Mio. Episoden (10 Sekunden-Abschnitte) analysiert, davon sind rd. 28.000 Episoden von E-Kfz.
Vergleich v_{85}

130

134,92

E

133,33

131,91

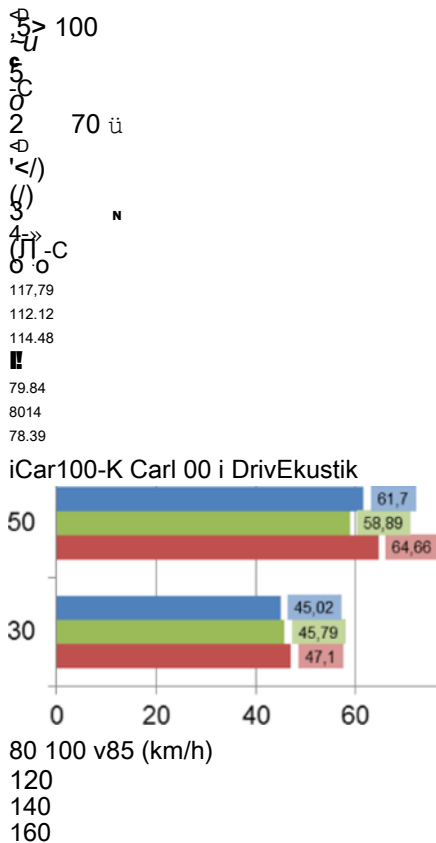


Abbildung 21: Vergleich v_{85} E-Kfz und V-Kfz in Gesamtösterreich und Kärnten nach höchstzulässiger Geschwindigkeit (km/h) (N= 2.253.964 Episoden)

Im Ortsgebiet bei einer höchstzulässigen Geschwindigkeit von 30 bzw. 50 km/h wurde bei den Fahrten mit E-Kfz eine minimal höhere v_{85} festgestellt, als bei Fahrten mit V-Kfz. Wobei die Unterschiede bei 50 km/h etwas deutlicher sind, die Fahrten mit E-Kfz wiesen bei dieser höchstzulässigen Geschwindigkeit eine v_{85} von 65 km/h auf, hingegen die V-Kfz in Kärnten rd. 62 km/h und in Gesamtösterreich rd. 59 km/h.

Bei höchstzulässigen Geschwindigkeiten von 70, 100 und 130 km/h waren bei den Fahrten mit V-Kfz höhere Geschwindigkeiten feststellbar. Anzumerken ist außerdem, dass bei den Fahrten mit einem V-Kfz, die in Kärnten aufgenommen wurden, wiederum eine geringfügig höhere v_{85} festgestellt wurde als in Gesamtösterreich (z.B. höchstzulässige v 100 km/h: 100Car Österreich v_{85} 112 km/h, 100Car Kärnten v_{85} 117 km/h).

3.3.3 Durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit

Für die Auswertung der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeiten wurden wiederum die Daten der 100Car Study Österreich und getrennt davon die Fahrten in Kärnten mit den Daten der E-Kfz aus dem Projekt drivEkustik verglichen.

Grundsätzlich waren auch die durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeiten zwischen Fahrten mit

E-Kfz und V-Kfz annähernd gleich (siehe Abbildung 22). Basis dieser Analyse bilden erneut rd. 2,2 Mio. Episoden.

Im Ortsgebiet mit einer höchst zulässigen Geschwindigkeit von 30 km/h bzw. 50 km/h wurde bei den Fahrten mit E-Kfz eine geringfügig höhere durchschnittliche Geschwindigkeit erfasst. Auch bei hohen Geschwindigkeiten bei Tempolimits von 100 km/h bzw. 130 km/h wiesen die Fahrten mit E-Kfz ähnliche durchschnittliche Geschwindigkeiten wie jene mit V-Kfz auf.

Vergleich der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit

^ 140 1 120

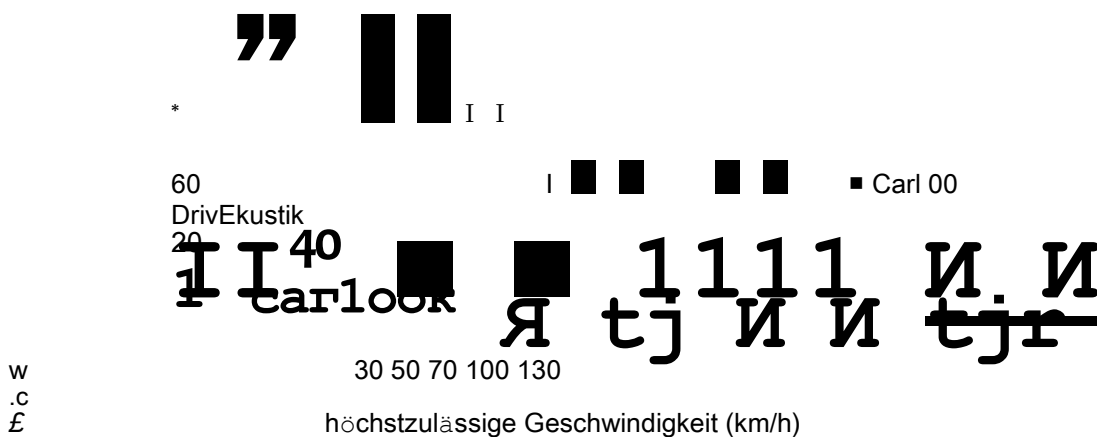
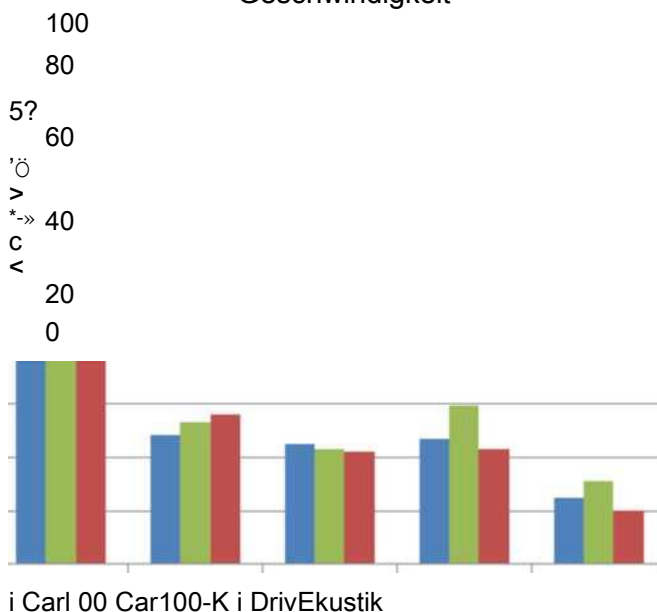


Abbildung 22: Vergleich der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit E-Kfz und V-Kfz in Gesamtösterreich und Kärnten nach höchstzulässiger Geschwindigkeit (km/h) (N= 2.253.964 Episoden)

3.3.4 Überschreiter der höchstzulässigen Geschwindigkeit

Als weiterer Aspekt wurde der Anteil der Überschreiter der höchstzulässigen Geschwindigkeit von Fahrten mit E-Kfz und V-Kfz verglichen. Basis sind die bereits oben erwähnten 2,2 Mio. Episoden, die mit dem pdrive lite ® System aufgezeichnet und in AP 3 analysiert wurden.

Vergleich der Überschreiter der höchstzulässigen Geschwindigkeit



30 50 70 100 130 höchstzulässige Geschwindigkeit (km/h)

Abbildung 23: Vergleich der überschreiter der höchstzulässigen Geschwindigkeit unterschieden nach E-Kfz und V-Kfz in Gesamtösterreich und Kärnten in % (N= 2.253.964 Episoden)

Abbildung 23 zeigt deutlich, dass vor allem bei einer höchstzulässigen Geschwindigkeit von 30 km/h der Anteil der Überschreiter sehr hoch war. Rd. 75% der Lenkerinnen überschritten die höchstzulässige Geschwindigkeit, es gibt dabei kaum Unterschiede zwischen den Fahrten mit V-Kfz und E-Kfz.

Ein anderes Bild zeigt die Geschwindigkeitsklasse 50 km/h, die österreichweiten Daten der IOOCar Study weisen 48% Überschreiter bei dieser Geschwindigkeit auf. In Kärnten war dieser Anteil noch etwas höher, bei den Fahrten mit E-Kfz sogar 56% (siehe Abbildung 23).

Deutlichere Unterschiede zeigen sich jedoch bei den höchstzulässigen Geschwindigkeiten von 100 bzw. 130 km/h. Die IOOCar Study Daten aus Kärnten stechen hier mit einem deutlich höheren Anteil an Überschreitern heraus. Die Grundgesamtheit ist selbst bei dieser Selektion noch sehr hoch, für die Kategorie IOOCar Kärnten wurden rd. 130.000 Episoden (10 Sekunden) bei einer höchstzulässigen Geschwindigkeit von 100 km/h und rd. 110.000 Episoden bei 130 km/h aufgezeichnet.

3.4 Analyse der Bremsmanöver

Anhand der Daten des Beschleunigungssensors konnten auch Bremsmanöver analysiert werden.

Dabei wurde die laterale und longitudinale Beschleunigung herangezogen. Die laterale Beschleunigung ist die Querschleunigung (links, rechts) des Fahrzeugs. Die longitudinale Beschleunigung beschreibt die Bewegung des Fahrzeugs nach vorwärts bzw. rückwärts. Die pdrive lite ® System Software zeichnet beide Beschleunigungen auf, die positive Beschleunigung (schneller werden) und die negative Beschleunigung (langsamer werden, bremsen) eines Fahrzeugs ist dadurch analysierbar.

Im Folgenden wird um dem gewöhnlichen Sprachgebrauch zu folgen das negative Vorzeichen der Beschleunigungen bei Bremsmanövern ignoriert und immer der Absolutbetrag beschrieben. Das bedeutet, dass stärkere Bremsungen einem mathematisch kleineren Wert entsprechen. Damit konsistent werden auch die Zeichen „<“ und „>“ dem Text folgend und nicht im mathematischen Sinn gebraucht.

Interessant sind in der Analyse starke Bremsmanöver, die sich vom „normalen“ Fahrverhalten unterscheiden. Die Identifikation der relevanten Bremsmanöver erfolgte in einem schrittweisen Prozess. Zuerst wurden Events mit Längsbeschleunigungen größer gleich -0,5 g gefiltert. Dies entspricht einer überdurchschnittlich starken Bremsung, eine Längsbeschleunigung von $> -0,7$ / $-0,8g$ entspricht einer Vollbremsung. Eine Längsbeschleunigung von $> 1g$ symbolisiert eine Bremsung zusätzlich durch ein anderes Objekt, mit dem das Fahrzeug kollidiert.

Die Häufigkeit von starken Bremsmanövern ist nicht nur von der tatsächlichen Fahrsituation, sondern auch vom Fahrstil des Lenkers/der Lenkerin abhängig. Dies bestätigt sich in den vorhandenen Naturalistic Driving Daten. Auch die Örtlichkeit ist von Relevanz, starke Bremsmanöver treten vor allem im Ortsgebiet auf, auf Freilandstrecken oder Autobahnen sind starke Bremsmanöver deutlich

seltener.

Abbildung 24 zeigt die Frequenz von starken Bremsmanövern (siehe Definition oben) pro Stunde unterschieden nach Fahrten mit E-Kfz und V-Kfz in Gesamtösterreich und Kärnten. Für diese Auswertung wurden jeweils rd. 8.000 Stunden Fahrzeit im Ortsgebiet und im Freiland analysiert. In dieser Fahrzeit wurden im Ortsgebiet 2.600 Bremsungen mit einer Beschleunigung $> -0,5\text{ g}$ aufgezeichnet, bei einer höchstzulässigen Geschwindigkeit über 50 km/h haben weniger starke Bremsmanöver stattgefunden (rd. 1.300).

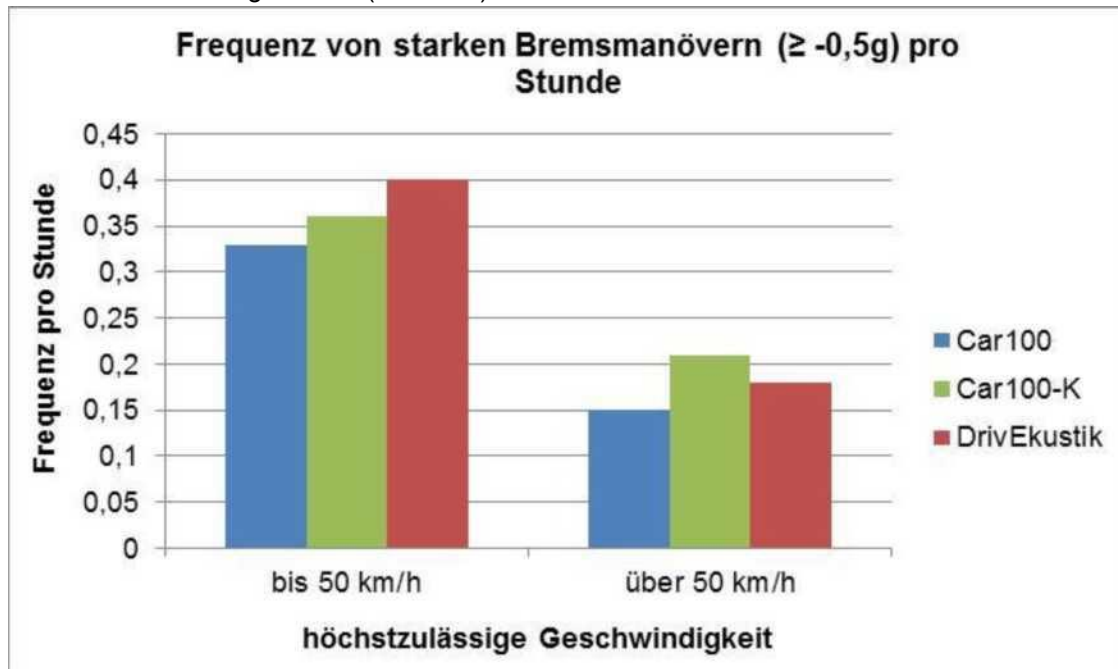


Abbildung 24: Frequenz von starken Bremsmanövern ($> -0,5\text{g}$) pro Stunde unterschieden nach E-Kfz und V-Kfz in Gesamtösterreich und Kärnten (N= 2.253.964 Episoden)

Bei den Fahrten mit E-Kfz zeigte sich eine höhere Anzahl an starken Bremsmanövern bei einer höchstzulässigen Geschwindigkeit von bis zu 50 km/h, d.h. im Ortsgebiet. In der Geschwindigkeitsklasse über 50 km/h sind bei den Fahrten mit V-Kfz in Kärnten mehr starke Bremsmanöver zu beobachten.

Eine klare Aussage, ob starke Bremsmanöver bei Fahrten mit E-Kfz häufiger vorkommen als bei Fahrten mit V-Kfz ist aufgrund der geringen Unterschiede nicht möglich.

3.5 Analyse von Gewöhnungseffekten und deren Einfluss auf das Fahrverhalten von E-Kfz

Im Unterschied zu den Fahrten auf der vordefinierten Versuchsstrecke, bei denen Fragen einer Adaptierung der LenkerInnen an spezifische Eigenheiten des E-Kfz offenbleiben müssen, stehen mit der ND-Studie in Kärnten Daten über zumindest einige Tage mit Aufzeichnungen zum Fahrverhalten mit dem E-Kfz zur Verfügung. In einem Versuch, derartige Adaptierungsvorgänge zu analysieren, wurde der im Hinblick auf die Fahrdynamik wohl deutlichste Unterschied zu den V-Kfz (siehe z.B. auch Ergebnisse aus dem parallelen Projekt E-FFEKT), nämlich die Rekuperation beim Bremsen

herangezogen.

Dazu wurden die Verzögerungen über die gesamten Fahrten in den gemessenen 1/10-Sekundenintervallen in drei Klassen kategorisiert:

1. Verzögerungen über 0,1 g (entspricht über 0,98 m/s²), die jedenfalls ein Betätigen der Bremse anzeigen
2. Verzögerungen im Bereich zwischen 0,08 g und 0,1 g (entspricht Verzögerungen zwischen 0,78 m/s² und 0,98 m/s²): in diesen Bereich fällt typischerweise die Verzögerungswirkung der Rekuperation bei den E-Fahrzeugen.
3. Verzögerungen unterhalb von 0,08 g

Auf Basis der so erhaltenen Daten sollte untersucht werden, inwieweit der Anteil der Verzögerungen im Rekuperationsbereich (siehe Punkt 2) über die Wochentage variiert, ausgehend von der Annahme, dass im Modell „Lebensland Kärnten“ der/die FahrerIn sein/ihr Testfahrzeug am Montag jeweils übernahmen und dann eine Woche zur Verfügung hatten (siehe AP 2).

Eine Analyse der Nutzung der einzelnen gemessenen Fahrzeuge zeigte allerdings, dass dieses Schema sehr häufig nicht gilt: die Fahrzeuge hatten oft mehrtägige Standzeiten und aufeinanderfolgende Ketten von Betriebszeiten beginnend an unterschiedlichen Tagen. Nachdem lediglich fahrzeugbezogene Daten im Projekt verfügbar waren und die FahrerInnen nicht identifizierbar waren, war der geplante Ansatz nicht in zufriedenstellender Weise umzusetzen. Für die Auswertung wurden letztlich nur zwei Fahrzeuge herangezogen, für die am ehesten die angenommene Nutzung und Zuteilung der Voraussetzung entsprach. Die Ergebnisse sind deshalb aber auch eher demonstrativ zu verstehen und können nur mit äußerster Zurückhaltung interpretiert werden.

Tabelle 4: Prozentuelle Anteile der drei Verzögerungsklassen (oben: in %) und Anzahl der Verzögerungen (unten: absolut):

Verzögerung	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
über 0,1 g	65,08%	67,10%	69,23%	69,07%	70,01%
0,08 g-0,1 g	27,10%	25,98%	23,75%	23,67%	22,38%
unter 0,08 g	7,82%	6,93%	7,02%	7,26%	7,61%
Summe	100%	100%	100%	100%	100%
über 0,1 g	20.994	22.845	24.150	29.891	28.214
0,08 g-0,1 g	8.742	8.844	8.285	10.243	9.019
unter 0,08 g	2.521	2.359	2.450	3.141	3.068
Summe	32.257	34.048	34.885	43.275	40.301

Tabelle 5: Standardisierte Residuen zur Nullhypothese, die Erwartungswerte sind unabhängig von den Wochentagen

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
über 0,1 g	-6,87	-2,57	2,22	2,08	4,28

0,08 g - 0,1 g	9,72	5,78	-2,56	-3,19	-8,32
unter 0,08 g	3,24	-2,72	-2,10	-0,53	2,11

Während die geringen Verzögerungen über die Wochentage zufällig verteilt erscheinen, wie auch zu erwarten ist, zeigt sich eine systematische Abnahme der Verzögerungen im Rekuperationsbereich von Montag bis Freitag und im Gegenzug eine Zunahme des Bremsseinsatzes. Dies ist zumindest ein erster Hinweis, dass die LenkerInnen im Umgang mit dem E-Kfz eher dazu tendieren, ihre gewohnte Fahrweise auf das neue Fahrzeug zu übertragen als die anderen Möglichkeiten (z.B. energieeffizientes Fahren mittels Rekuperation), die das E-Kfz bietet, zunehmend zu nutzen.

4 Zusammenfassung

Arbeitspaket 2 beschäftigte sich mit der Untersuchung des Fahrverhaltens im E-Kfz. Realisiert wurde diese Untersuchung mit Hilfe von TestfahrerInnen und Elektrofahrzeugen, die vom Lebensland Kärnten zur Verfügung gestellt wurden. Insgesamt nahmen 40 ProbandInnen an dieser Untersuchung teil. Als Testfahrzeuge dienten fünf E-Kfz der Serie "E-Cell" Mercedes A-Klasse. Das Fahrverhalten wurde mit Hilfe des pdrive lite ® System aufgezeichnet. Die Beschleunigungsdaten wurden verwendet um festzustellen, wie stark das Fahrzeug beschleunigt und gebremst wurde, welche Kräfte beim Kurvenfahren auftraten, um die Genauigkeit der GPS-Lokalisation zu erhöhen sowie die Genauigkeit der GPS-basierten Geschwindigkeit zu erhöhen. Die erhobenen Daten wurden mittels originärer Auswerte Software "Analysis" analysiert. Einerseits wurde die genaue Verortung der Fahrstrecke vorgenommen und andererseits konnten zu jedem Zeitpunkt der Fahrt Parameter wie Geschwindigkeit und Beschleunigung genau festgestellt werden. Die Ergebnisse der Datenauswertung zeigen, dass es sich vorwiegend um eine kurze Fahrstrecke bzw. Fahrdauer handelte. Die gesammelten Daten lassen erkennen, dass die Fahrten zum größten Teil unter der Woche (Montag bis Freitag) getätigt wurden. Im Rahmen von AP4 wurden Messungen der Innenraumakustik vorgenommen. Um Synergien mit dem Projekt E-FFEKT nutzen zu können wurde die gleiche Messstrecke gewählt. Jeweils zwei E-Kfz und zwei V-Kfz wurden zur Realisierung herangezogen. Die Akustikmessungen wurden in vergleichbaren Situationen, zum Beispiel beim Anfahren, durchgeführt und anschließend verglichen. Die Ergebnisse aus den in AP4 durchgeführten Untersuchungen zeigten zwar einen Unterschied in der Innenraumakustik, es konnte jedoch nicht festgestellt werden, dass sich dieser Unterschied auf die Fahrdynamik auswirkt.

Arbeitspaket 3 strebte den Vergleich der gewonnenen E-Mobilitätsdaten (aus AP 2) mit den bestehenden Daten zu Fahrten mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (aus 100Car Study) an. In Bezug auf das Mobilitätsverhalten konnte festgestellt werden, dass E-Kfz für kürzere Distanzen und für das niederrangige Straßennetz verwendet werden. Vergleicht man das Geschwindigkeitsverhalten (Vergleich v_{85}), werden je höchstzulässiger Geschwindigkeit Unterschiede deutlich. Während im niedrigeren Geschwindigkeitsbereich (30 und 50 km/h) die E-Kfz eine höhere v_{85} aufweisen, ist es im höheren Geschwindigkeitsbereich (70 bis 130 km/h) umgekehrt. Werden die Überschreitungen

betrachtet, sind es vor allem LenkerInnen von V-Kfz (100Car Daten aus Kärnten), die im höheren Geschwindigkeitsbereich die höchstzulässige Geschwindigkeit überschreiten. Unter 50 km/h zeigen LenkerInnen von

E-Kfz und über 50 km/h zeigen LenkerInnen von V-Kfz eine höhere Anzahl an Bremsmanövern.

Jedoch kann keine klare Aussage über stärkere Bremsmanöver bei Fahrten von E-Kfz getroffen werden. Wird der Gewöhnungseffekt und dessen Einfluss auf das Fahrverhalten der FahrerInnen von E-Kfz analysiert, kann festgehalten werden, dass die LenkerInnen im Umgang mit dem

Elektrofahrzeug eher dazu tendieren, ihre gewohnte Fahrweise auf das neue Fahrzeug zu übertragen.

Literaturverzeichnis

Aleksa M., et al, (2013) E-FFEKT, Projekt gefördert aus Mitteln des Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds, AIT, KfV

Gatscha, M., Brandstätter, C. & Pripfl, J. (2010). Report on field trial in Austria. PRO-LOGUE Deliver- able D3.3. SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherlands.

KfV (2013), 100Car Study

Pilgerstorfer, M., Runda, K., Brandstätter, C., Christoph, M., Hakkert, S., Ishaq, R., Toledo, T., Gatscha, M. (2011) Small Scale Naturalistic Driving Pilot, Deliverable 6.3 of the EC FP7 project DaCoTA.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung
Beschreibung
DaCoTa
E_CELL

E-Kfz E-FFEKT GIS Layer GPS

mpg-Format

ND

pdrive lite ® system PROLOGUE

SPSS

SQL

V-Kfz

Road Safety Data, Collection, Transfer and Analysis Das erste in Kleinserie gefertigte Elektroauto mit batterieelektrischem Antrieb von Mercedes-Benz Elektrofahrzeug

Auswirkungen von E-Cars auf Fahrdynamik und Verkehrskonflikte

Geoinformationssystem

Global Positioning System

Videokonverterformat

Naturalistic Driving

Datenerfassungssystem

PROMoting real Life Observations for Gaining Understanding of road user behaviour in Europe Statistikprogramm

Datenbanksprache zur Definition von Datenstrukturen in relationalen

Datenbanken

Verbrennungsmotor-Kfz

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht Zusammenhänge AP2, AP3 und AP4	7
Abbildung 2: Screenshot der Webseite Lebensland Kärnten zur Suche von TestfahrerInnen für E-Kfz.....	11
Abbildung 3: Testfahrzeug Mercedes A-Klasse der Serie „E-Cell“	12
Abbildung 4: Herzstück des pdrive lite ® Systems	13
Abbildung 5: Screenshot der Auswerte-Software (pdrive lite ® System).....	15
Abbildung 6: Verteilung der Wege nach Fahrdauer kategorisiert (N= 2.313)	16
Abbildung 7: Verteilung der Wege nach Fahrdistanz kategorisiert (N= 2.313)	17
Abbildung 8: Anzahl der Wege nach Wochentag (N= 2.313).....	17
Abbildung 9: Anzahl der Wege nach Uhrzeit (N= 2.313)	18
Abbildung 10: Anzahl der Fahrten nach Wochentag und Streckenlänge (N= 2.313)	19
Abbildung 11: Stunde des Fahrtbeginns kategorisiert (N= 2.313)	20
Abbildung 12: Beispiel eines Quadranten anhand des KfV-Zentrale-Standortes Schleiergasse 18, 1100 Wien (Quelle: KfV, Kartengrundlage: Google Earth).....	24
Abbildung 13: Verteilung der Wege bis 95 min nach Weglänge (min) (N= 12.265).....	25
Abbildung 14: Verteilung der Wege bis 150 km nach Weglänge (in km, Angaben auf 10 km gerundet) (N= 12.265)	26
Abbildung 15: Anteil der Wege nach Wochentag (N= 12.265).....	26
Abbildung 16: Anteil der Wege nach Uhrzeit (N= 12.265)	27
Abbildung 17: Wege nach Straßenart (N= 12.265)	27
Abbildung 18: Wege nach Straßennetz (N= 12.265)	28
Abbildung 19: drivEkustik - durchfahrene Quadranten (N= 2.313).....	28
Abbildung 20: 100CarStudy - durchfahrene Quadranten (N= 9.952)	29
Abbildung 21: Vergleich v_{85} E-Kfz und V-Kfz in Gesamtösterreich und Kärnten nach höchstzulässiger Geschwindigkeit (km/h) (N= 2.253.964 Episoden).....	32
Abbildung 22: Vergleich der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit E-Kfz und V-Kfz in Gesamtösterreich und Kärnten nach höchstzulässiger Geschwindigkeit (km/h) (N= 2.253.964 Episoden)	33
Abbildung 23: Vergleich der Überschreiter der höchstzulässigen Geschwindigkeit unterschieden nach E-Kfz und V-Kfz in Gesamtösterreich und Kärnten in % (N= 2.253.964 Episoden).....	34
Abbildung 24: Frequenz von starken Bremsmanövern (> -0,5g) pro Stunde unterschieden nach	

E-Kfz und V-Kfz in Gesamtösterreich und Kärnten (N= 2.253.964 Episoden)..... 36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Datenübersicht drivEkustik zu Vergleichsprojekten DaCoTa und 100CarStudy 9

Tabelle 2: Übersicht Fahrzeuge, Kooperation Projekt E-EFFEKT 21

Tabelle 3: Datengrundlage Mobilitätsverhalten 25

Tabelle 4: Prozentuelle Anteile der drei Verzögerungsklassen (oben: in %) und Anzahl der Verzögerungen (unten: absolut): 37

Tabelle 5: Standardisierte Residuen zur Nullhypothese, die Erwartungswerte sind unabhängig von den Wochentagen 38

drivEkustik - Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen Fördergeber: Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds



drivEkustik

Anhang C

Ergebnisbericht AP5 + AP6

Juli 2013

Projektkoordination:

KFV - Kuratorium für Verkehrssicherheit

Projektpartner:

AIT - Austrian Institute of Technology GmbH bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung BSVÖ - Blinden- und

Sehbehindertenverband Österreich TTI - Test & Training International Planning and Service GmbH

Anhang C	 - International^ BS i/ö TOMORROW TODAY -SSSr ■ <u>O bfu</u>	
Version: FINAL	Ergebnisbericht AP5 + AP6	Seite 1/42

drivEkustik - Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen Fördergeber: Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds



GZ.BMVIT-199.736/0002-IV/ST2/2011

Projekttitel:

drivEkustik

Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen

Fördergeber: Österreichischer Verkehrssicherheitsfonds

Ergebnisbericht zu den Arbeitspaketen 5 und 6

Beobachtung der Interaktion zwischen Elektrofahrzeugen und ungeschützten

VerkehrsteilnehmerInnen

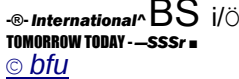
Befragungen von VerkehrsteilnehmerInnen und Zusammenhänge mit
technischen Messungen

Projektstart: 01.08.2011

Projektende: 31.07.2013

Autorinnen:

Mag. Monika Pilgerstorfer Dr. Kerstin Runda Jasmin Daum, BSc Anna M. K. Müller Dorothea Koniszewski

Anhang C		
Version: FINAL	Ergebnisbericht AP5 + AP6	Seite 2/42

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	4
Abstract	6
1 Einleitung.....	8
2 AP5 - Beobachtung der Interaktion zwischen E-Kfz und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen 10	
2.1 Methode	10
2.2 Ergebnisse der persönlichen Beobachtung	17
2.3 Eindrücke der E-Kfz-Lenkerinnen	22
2.4 Ergebnisse der Videobeobachtung	24
2.5 Schlussfolgerungen	26
3 AP6 - Befragung von VerkehrsteilnehmerInnen.....	27
3.1 Methode	27
3.2 Ergebnisse Telefoninterviews	29
3.3 Ergebnisse persönliches Interview	29
3.4 Ergebnisse Fragebogen Hörversuch	30
3.5 Schlussfolgerungen	34
4 Zusammenfassung/Ausblick	35
Abbildungsverzeichnis	37
Tabellenverzeichnis	38
Anhang A: Checklisten für die persönliche Beobachtung	39
Anhang B: Fragebogen zum Hörversuch	41
Anhang C: Interviewleitfaden Telefoninterviews	42

Kurzzusammenfassung

Das Projekt drivEkustik beschäftigte sich mit den Auswirkungen der geräuscharmen E-Mobilität auf das Konfliktpotential bei Begegnungen zwischen E-Fahrzeugen und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen.

Im Arbeitspaket 5 wurde mittels Beobachtungen im Feld erforscht, ob Unterschiede im Verhalten

ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen mit E-Kfz vs. Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (V-Kfz) bestehen.

Hierfür wurden sowohl ortsfeste Beobachtungen als auch ortsunabhängige Beobachtungen (aus der Perspektive von LenkerInnen von E-Kfz) durchgeführt. Zusätzlich untergliederte sich das Vorgehen in persönliche Beobachtung und Videobeobachtung und -analyse.

Es konnten keine Unterschiede im Verhalten von FußgängerInnen und RadfahrerInnen gegenüber E-Kfz im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor festgehalten werden. Aus LenkerInnenperspektive liegt allerdings die Vermutung nahe, dass besonders solche ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen gefährdet sind, das E-Kfz zu übersehen, die bereits durch andere Tätigkeiten wie z.B. Telefonieren abgelenkt sind.

Im Arbeitspaket 6 ging es darum, wie E-Kfz von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen sowie TestlenkerInnen wahrgenommen werden. Besonderes Augenmerk lag auf der Perspektive blinder Menschen und Personen mit Sehbehinderungen im Straßenverkehr.

Hierfür wurde ein qualitatives Design gewählt. Zunächst wurden telefonische Interviews mit TestlenkerInnen von E-Kfz durchgeführt. Außerdem wurde eine Ortsbegehung mit integriertem Interview mit einer blinden Person vorgenommen. Zusätzlich wurde ein Fragebogen für die Hörversuche, die im Rahmen des Arbeitspaketes 1 durchgeführt wurden, entwickelt und deskriptive Daten ausgewertet.

Generell ergab sich aus Sicht der TestlenkerInnen ein positives Gesamtbild zum E-Kfz, es wurde als Alternative zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor angesehen sofern es sich um ein Stadt- bzw. Zweitfahrzeug handelt. Bei der Ortsbegehung und dem Interview mit der blinden Person wurde deutlich, dass E-Kfz durch blinde Personen praktisch nicht hörbar sind und somit eine neue Gefährdung im Straßenverkehr darstellen. Die Befragung zu den Hörversuchen zeigte, dass die überwiegende Mehrheit an ProbandInnen Pkw als gefährlichste Fahrzeuge beim Überqueren einer Straße erachtet.

Empfehlungen, die als Ergebnis der beiden Arbeitspakete gegeben werden, sind zum einen die Durchführung weiterer Studien mit Fokus auf die Wahrnehmbarkeit von E-Kfz unter Ablenkung. Zudem wird empfohlen, in weiteren Studien die Bedürfnisse von Menschen mit Sehbehinderungen bzw. blinden Menschen im elektromobilisierten Straßenverkehr genauer zu erfassen.

In jedem Fall erscheint es sinnvoll, LenkerInnen und ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen durch bewusstseinsbildende Maßnahmen auf potentielle Gefahren durch E-Kfz aufmerksam zu machen und so Präventionsarbeit zu leisten.

Abstract

The work packages 5 and 6 of the project 'drivEkustik' will be presented in the subsequent report.

Generally, the project is dealing with interaction and conflicts between E-cars and cyclists as well as pedestrians.

In work package 5, quantitative studies were carried out in order to observe if there are any differences in

the behavior of cyclists and pedestrians towards E-cars and cars with CL engine ("CL-cars" in this abstract).

Therefore, field observations were carried out. Additionally, in-car observations from the perspective of E-car drivers were made. Both types of observation were carried out personally in a first step and via video in a second step.

There was no difference found in the behavior of pedestrians and cyclists towards E-cars and CL-cars.

However, from E-car driver's perspective it seemed that pedestrians distracted by some other activity (e.g. use of mobile phone) often overlook the approaching E-car.

This aspect should be investigated in a following study.

Work package 6 is dealing with E-car drivers' and pedestrians' perception of E-cars. An additional aspect investigated is the perception of E-cars of blind and visually impaired persons.

Therefore, qualitative interviews were carried out. E-car drivers were interviewed over the telephone. A blind person was interviewed and accompanied in traffic situations with E-cars. As a final step, a questionnaire for investigations in work package 1 was developed and analyzed.

Generally, E-car drivers reported a mostly positive attitude towards E-cars. Most of them stated that having an E-car as second car or city car could be an interesting alternative to conventionally powered vehicles. The interview with the blind person showed that, for a blind person, it is nearly impossible to identify E-cars in common traffic situations. It was concluded that E-mobility may hazard blind and visually impaired people. Questionnaire results showed that most of the test persons regarded cars in general as most dangerous vehicles when crossing a street.

As recommendations from the subsequent study, two main points were identified. Firstly, more specific studies should be carried out focusing on perception of E-cars while being distracted (e.g. by use of mobile phone). Furthermore, research should be done concerning requirements of blind and visually impaired persons in E-car traffic.

Anyway, awareness-raising projects and campaigns, calling E-car drivers', pedestrians' and cyclists' attention to E-cars' hazards, should be designed.

1 Einleitung

Das Projekt drivEkustik verfolgte das Ziel, die Auswirkungen der geräuscharmen Bewegung von E-Fahrzeugen auf die Verkehrssicherheit systematisch von allen Seiten zu beleuchten.

Arbeitspaket 5 - Beobachtung der Interaktion zwischen E-Kfz und ungeschützten

VerkehrsteilnehmerInnen - ging dabei der Frage nach, ob es Unterschiede im Verhalten von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen gegenüber Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit

Verbrennungsmotoren gibt. Unterstützt durch die Erkenntnisse aus Arbeitspaket (AP) 1 wurden im ersten Schritt vier Beobachtungsstellen ausgewählt und akustisch vermessen. Dies erfolgte durch den Projektpartner AIT.

Für die Beobachtung der ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen wurde ein E-Kfz von

ProjektmitarbeiterInnen mehrmals durch vorher definierte Beobachtungsbereiche bewegt. Die Beobachtung erfolgte in zwei Schritten.

Im ersten Schritt wurde eine ortsfeste Erhebung durch persönliche Beobachtung durchgeführt. An insgesamt vier Standorten beobachteten jeweils zwei Projektmitarbeiterinnen FußgängerInnen beim Queren der Straße. Hierbei wurde insbesondere darauf geachtet, wie weit das jeweils nächste Fahrzeug entfernt ist, um welches Fahrzeug (E-Fahrzeug oder Fahrzeug mit Verbrennungsmotor) es sich dabei handelt und wie sich die FußgängerInnen vor und während des Querens verhalten.

Im zweiten Schritt wurde aufgrund der bereits vorliegenden Ergebnisse und der Erfahrungen aus der persönlichen Beobachtung ein Beobachtungsort ausgewählt, an dem zusätzlich eine naturalistische Beobachtung²⁵ mittels Videoaufzeichnung durchgeführt wurde.

Um ergänzend die LenkerInnenperspektive einzuholen, wurden von zwei Projektmitarbeiterinnen Vergleichsfahrten mit einem E-Kfz und einem V-Kfz auf einer Strecke unternommen. Eine ortsunabhängige Videobeobachtung aus einem fahrenden E-Kfz heraus bildete den Abschluss der Erhebungen für AP5.

Arbeitspaket 6 - Befragung von VerkehrsteilnehmerInnen und deren Zusammenhänge mit technischen Messungen - untersuchte, ob sich Zusammenhänge zwischen dem technisch messbaren und dem subjektiv wahrnehmbaren Geräuscheindruck nachweisen lassen.

Zusätzlich erfolgte an ausgewählten Beobachtungsorten aus den Erhebungen für AP5 eine Einschätzung der Identifizierbarkeit von E-Kfz durch eine blinde Person.

Der Inhalt dieses Berichtes fokussiert auf die subjektive Wahrnehmung und zum Teil auf deren Zusammenhänge mit technischen Messungen. Die subjektive Wahrnehmung wurde durch qualitative und quantitative Befragungen in ausgewählten Settings erfasst. Es sollen in weiterer Folge Empfehlungen und Themenfelder für die Zukunft entwickelt werden. Da hierbei die Ergebnisse aus allen Arbeitspaketen einfließen, werden umfassende Empfehlungen in einem separaten Gesamt-Endbericht detailliert beschrieben.

Mit „naturalistischer Beobachtung“ ist die Beobachtung von Personen in ihrer natürlichen Umwelt gemeint. Hierbei wird der Einfluss der beobachtenden Person auf ein Minimum reduziert.

2 AP5 - Beobachtung der Interaktion zwischen E-Kfz und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen

2.1 Methode

Die Erhebung erfolgte auf Basis mehrerer Beobachtungselemente. Ziel war die Erfassung der Interaktion zwischen E-Kfz und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen aus verschiedenen Perspektiven: Beobachtungen am Straßenrand, aus Sicht der LenkerInnen von E-Fahrzeugen sowie aus der Vogelperspektive mittels „site-based observation“²⁶. Das Vorgehen gliedert sich chronologisch in vier Abschnitte:

Im ersten Schritt erfolgte die Erhebung durch persönliche Beobachtung, ohne technische Unterstützung, an vier ausgewählten Beobachtungsstellen im ersten und siebten Wiener Gemeindebezirk (siehe persönliche Beobachtung, S.13).

Im zweiten Schritt wurde an einer während der persönlichen Beobachtung als geeignet befundenen Beobachtungsstelle im siebten Wiener Gemeindebezirk eine Beobachtung mittels Video durchgeführt. Um auch aus der Perspektive von E-Kfz-LenkerInnen Schlussfolgerungen über Konflikte mit ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen ziehen zu können, wurden begleitend zu den ersten beiden Schritten persönliche Beobachtungen aus dem fahrenden E-Kfz heraus vorgenommen.

Während einer abschließenden Videoaufzeichnung aus dem fahrenden E-Kfz wurden die Beobachtungen aus LenkerInnenperspektive filmisch festgehalten.
Beobachtungsstellen

Aufgrund bisheriger Erfahrungen (vgl. AP1 und AP4) ist davon auszugehen, dass die Akustik von Elektrofahrzeugen vor allem im niedrigen Geschwindigkeitsbereich (bis 50 km/h) eine Rolle spielt.

Als relevant für die Beobachtung wurde vor allem das Querungsverhalten von FußgängerInnen erachtet. Aus diesem Grund wurde für die Beobachtung ein innerstädtischer Bereich gewählt, indem sich Fahrzeuge mit eher niedrigen Geschwindigkeiten bewegen und mit vielen

FußgängerInnenquerungen zu rechnen ist.

Die Beobachtungspunkte wurden in Zusammenarbeit mit dem AIT und dem BSVÖ definiert.

Es wurden persönliche Beobachtungen und Videobeobachtungen durchgeführt (nähere Beschreibung der Methodik siehe „Persönliche Beobachtung“, S.13, und „Videobeobachtung“, S.14). Für die persönliche Beobachtung wurden jeweils zwei Erhebungsorte im ersten sowie im siebten Wiener Gemeindebezirk festgelegt (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2).

Wollzeile, Durchgang Figlmüller



Abbildung 1: Beobachtungsstellen, 1. Bezirk

Wollzeile, Morawa



²⁶ „site-based observation“ bezeichnet die Beobachtung von natürlichen (Verkehrs-)Situationen aus einer möglichst unauffälligen und somit einflussarmen Beobachtungsposition heraus.

Lindengasse/Zollergasse



Kirchengasse



Abbildung 2: Beobachtungsstellen, 7. Bezirk

Auf Basis der Erfahrungen der persönlichen Beobachtungen wurde der Ort für die Videobeobachtung definiert. Die Beobachtung im ersten Bezirk zeigte, dass aufgrund der sehr hohen FußgängerInnen-Frequenz viele Personen die Straße queren, unabhängig

davon, ob sich ein (E-)Kfz nähert oder nicht. Um bessere (Einzel-) Beobachtungen durchführen zu können wurde entschieden, einen Punkt mit guter, aber nicht derart hoher Frequenz zu wählen. Als geeignet zeigte sich hierfür die Ecke Lindengasse/Zollergasse im siebten Wiener Gemeindebezirk (Abbildung 3).

Lindengasse/Zollergasse



Abbildung 3: Beobachtungsstelle für die Videobeobachtung, 7. Bezirk
Beobachtungszeitraum

Die persönliche Beobachtung wurde an zwei Wochentagen jeweils um die Mittagszeit sowie am Nachmittag im Sommer 2012 durchgeführt. Die Beobachtung mittels Video erfolgte im Mai 2013 an 2 Tagen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Erhebungszeitraum und Beobachtungsorte

Datum	Zeit	Beobachtungsstelle	Art der Beobachtung
27.08.2012	11:00 - 13:00	1. Bezirk, Wollzeile, Figlmüller	persönlich
27.08.2012	15:00 - 18:00	1. Bezirk, Wollzeile, Figlmüller	persönlich
27.08.2012	11:00 - 13:00	1. Bezirk, Wollzeile, Morawa	persönlich
27.08.2012	15:00 - 18:00	1. Bezirk, Wollzeile, Morawa	persönlich
28.08.2012	11:00 - 13:00	7. Bezirk, Kirchengasse, Eingang Gerngroß	persönlich
28.08.2012	15:00 - 18:00	7. Bezirk, Kirchengasse, Eingang Gerngroß	persönlich
28.08.2012	11:00 - 13:00	7. Bezirk, Lindengasse/Zollergasse	persönlich
28.08.2012	15:00 - 18:00	7. Bezirk, Lindengasse/Zollergasse	persönlich
07.05.2013	11:45 - 15:00	7. Bezirk, Lindengasse/Zollergasse	Video
28.05.2013	15:00 - 19:00	7. Bezirk, Lindengasse/Zollergasse	Video

Persönliche Beobachtung

Die Beobachtung erfolgte zunächst ohne Einsatz von Videokameras. Je zwei BeobachterInnen pro Beobachtungsort führten die Beobachtung durch, während eine Mitarbeiterin das E-Kfz immer wieder durch den Beobachtungsbereich bewegte.

Dokumentiert wurde jede Querung der FußgängerInnen in einem vordefinierten Bereich. Es wurde eine Kriterienliste („Checkliste“) für die Beobachtung erstellt, auf der relevante Aspekte der jeweils festgehaltenen Querung notiert wurden. Abbildung 4 zeigt am Beispiel „Kirchengasse“ eine Checkliste für die Beobachtung.

KIRCHENGASSE

Beobachtungsbogen DrivEkustik

☐ Vormittag
 ☐ Nachmittag

Nr. 1 A. Beobachtete Person:			
A.1. Geschlecht ☐ männlich ☐ weiblich	A.2. geschätztes Alter ☐ Kind (bis 14) ☐ 15 – 29 ☐ 30 – 59 ☐ 60+	A.3. Sonstige Auffälligkeiten ☐ Behinderung (Gehstock, Rollator) ☐ telefoniert, schreibt SMS ☐ schiebt Kinderwagen / Fahrrad ☐ Kopfhörer	A.4. Gruppe ☐ Elternteil mit Kindern, Anzahl: ____ ☐ Pärchen ☐ sonstige Folgende, Anzahl: ____
B. Beobachtung:			
B.1. Person quert → Mariahilfer Str.	B.3. Person ☐ wartet ☐ geht ☐ läuft (noch schnell)	B.3.a Person wartet – Position des ersten Fahrzeuges: 	
B.2. Person schaut vorher ☐ ja ☐ nein	B.4. Während des Querens ☐ behält den Verkehr im Blick ☐ achtet nicht (mehr) auf den V.		
B.5. Wo befinden sich die nächsten Fahrzeuge zum Zeitpunkt des Betretens der Fahrbahn? 			Art des Fahrzeugs V: v-PKW E: e-PKW M: Motorrad/Roller eM: e-Roller F: Fahrrad Sonstiges ausschreiben
B.6. Sonstige Beobachtungen: 			

Abbildung 4: Checkliste zur persönlichen Beobachtung, KIRCHENGASSE

Um zu beurteilen, in welcher Entfernung sich das nächste Fahrzeug aufhält, wenn eine Person die Straße überquert, wurden Beobachtungszonen definiert. Beobachtet wurden alle Personen in der sogenannten Querungszone, einem Bereich von rund 10m Breite. Nur Querungen innerhalb dieses Bereichs wurden dokumentiert. Zone 1 ist ein definierter Bereich im Abstand bis zu 20 Metern zur Querungszone, Zone 2 der Bereich von 20 bis 40 Metern zur Querungszone (siehe Tabelle 2). Auf der abgebildeten Checkliste (siehe Abbildung 4) sind unter Punkt B.5. die Beobachtungszonen grafisch dargestellt: Auf dem Kartenabschnitt ist die Querungszone eingezeichnet; die senkrechten Linien grenzen die daran anschließenden Beobachtungszonen voneinander ab.

drivEkustik - Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen Tabelle 2:

Beobachtungszonen

Zone	Beobachtungsstelle
Querungszone	Definierter Bereich, Breite ca. 10m
Zone 1	Bereich ab Querungszone bis ca. 20m entfernt
Zone 2	20m bis 40m zur Querungszone
Außerhalb	mehr als 40m zur Querungszone, bereits für BeobachterIn sichtbar

Zusätzlich wurden von den BeobachterInnen Konflikte dokumentiert. Bei beobachteten Konflikten zwischen FahrzeuglenkerInnen und FußgängerInnen wurden mögliche Gründe für den Konflikt festgehalten:

- AutofahrerIn war unaufmerksam

- FußgängerIn war unaufmerksam
 - **drivEkustik - Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen**
 - Beide waren unaufmerksam
 - Missverständnis, wer zuerst geht bzw. fährt
- Zudem wurde die Lösung der Situation dokumentiert:
- AutofahrerIn bremste ab und FußgängerIn ging weiter
 - FußgängerIn wich aus und AutofahrerIn fuhr weiter
 - Beide blieben stehen

Neben den Beobachtungsergebnissen wurden auch die Eindrücke der Elektrofahrzeuglenkerinnen gesammelt. Dazu fanden zu einem späteren Zeitpunkt Vergleichsfahrten mit einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor statt.

Videobeobachtung

Die Videobeobachtung erfolgte mithilfe eines VW Caddy Maxi und eines Hydraulikmasts. Der Hydraulikmast ermöglicht einen guten Blickwinkel. Der Caddy Maxi wurde während des ersten Tags der Videobeobachtung in der Zollergasse mit Blick auf die Lindenstraße geparkt, am zweiten Tag der Videobeobachtung wurde er in der Zollergasse geparkt. Eine Projektmitarbeiterin bewegte das E-Kfz durch den Beobachtungsraum. Zwei weitere Projektmitarbeiterinnen beobachteten die Interaktionen zwischen ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen und dem E-Kfz, außerdem zeichneten sie sich verantwortlich für die technische Durchführung der Erhebung. Das gesamte Geschehen wurde durch eine laufende Videoaufzeichnung gefilmt. (Abbildung 5)

Caddy Maxi mit Videomast



Abbildung 5: Videobeobachtung

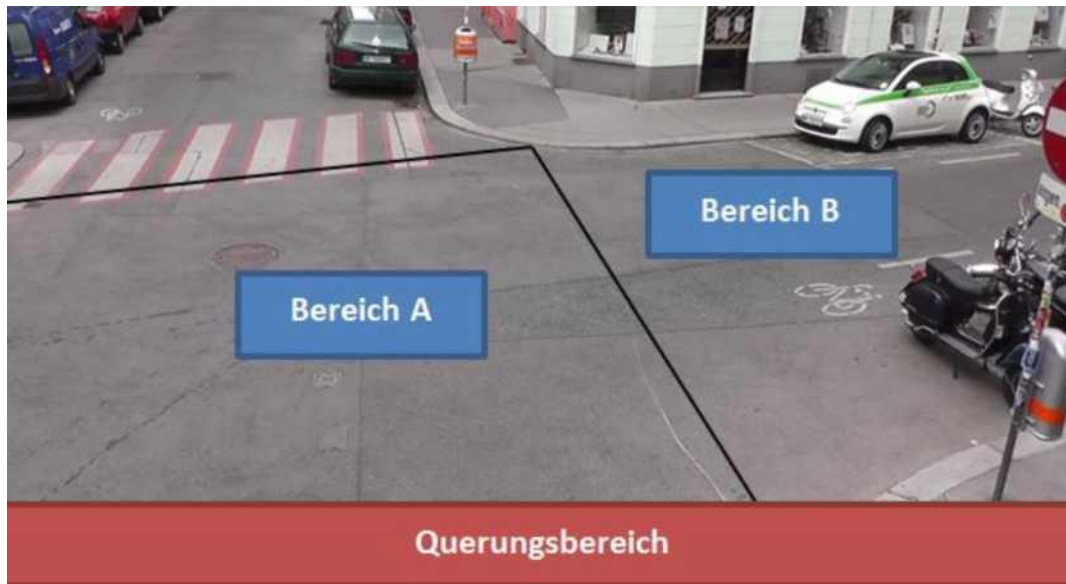


Abbildung 6: Kameraperspektive
Videomast mit Kamera



Um die Entfernung des nächsten Fahrzeuges beim Queren der Straße durch eine Person im Video beurteilen zu können, wurden im Sichtfeld Bereiche markiert. In Abbildung 6 sind die Beobachtungsbereiche bei Querung der Zollergasse zu sehen. Querte eine Person die Zollergasse (unterer Bildrand, roter „Querungsbereich“), so wurden diejenigen Fahrzeuge beobachtet und gezählt, die sich im Bereich zwischen den schwarzen Markierungslinien und dem linken Bildrand bzw. dem „Querungsbereich“ befanden („Bereich A“) sowie die, die sich in der Lindengasse zwischen der schwarzen Markierungslinie und dem rechten Bildrand befanden („Bereich B“).

Abbildung 7 zeigt die Beobachtungsbereiche bei Querung der Lindengasse. Es wurden Querungen zwischen der ersten und der zweiten schwarzen Markierungslinie beobachtet („Querungsbereich“); Wenn sich bei Betreten der Fahrbahn das nächste sich nähernde Fahrzeug zwischen der zweiten und der dritten Markierungslinie befand, so wurde es als in der ersten Beobachtungszone befindlich notiert („Bereich 1“). Ebenfalls festgehalten wurden Annäherungen von Fahrzeugen, die sich zwischen der dritten Markierungslinie und dem rechten Bildrand befanden („Bereich 2“) (Abbildung 7).

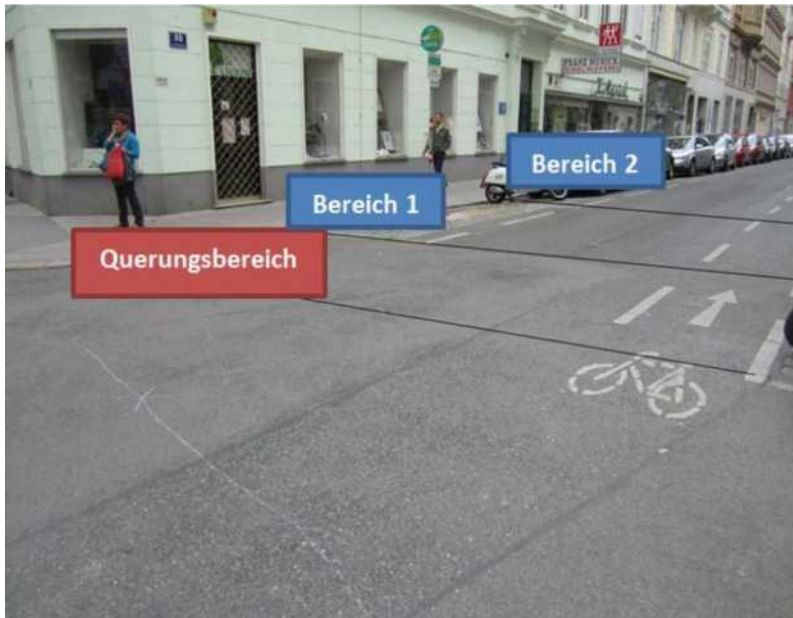


Abbildung 7: Markierungen für die Abstandsabschätzung

2.2 Ergebnisse der persönlichen Beobachtung

Insgesamt wurden bei der persönlichen Beobachtung 257 Querungen durch FußgängerInnen dokumentiert, 103 davon am Vormittag, 154 am Nachmittag. In Abbildung 8 sind die beobachteten Querungen, aufgeschlüsselt nach Beobachtungsstellen, dargestellt. Über die Hälfte aller notierten Querungen wurden in der Lindengasse verzeichnet.

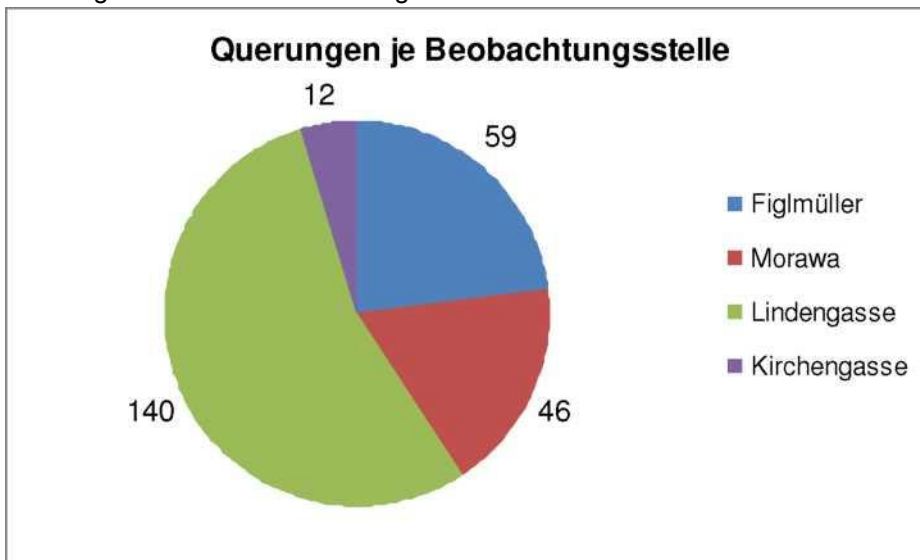


Abbildung 8: Dokumentierte Querungen je Beobachtungsstelle (absolut, N=257)

Bei den beobachteten Querungen war das Elektrofahrzeug 33 Mal das erste Fahrzeug, das sich näherte (Abbildung 9). Sechs Mal haben Personen gewartet, bevor sie die Straße überquert haben, weil sich das Elektrofahrzeug genähert hat.

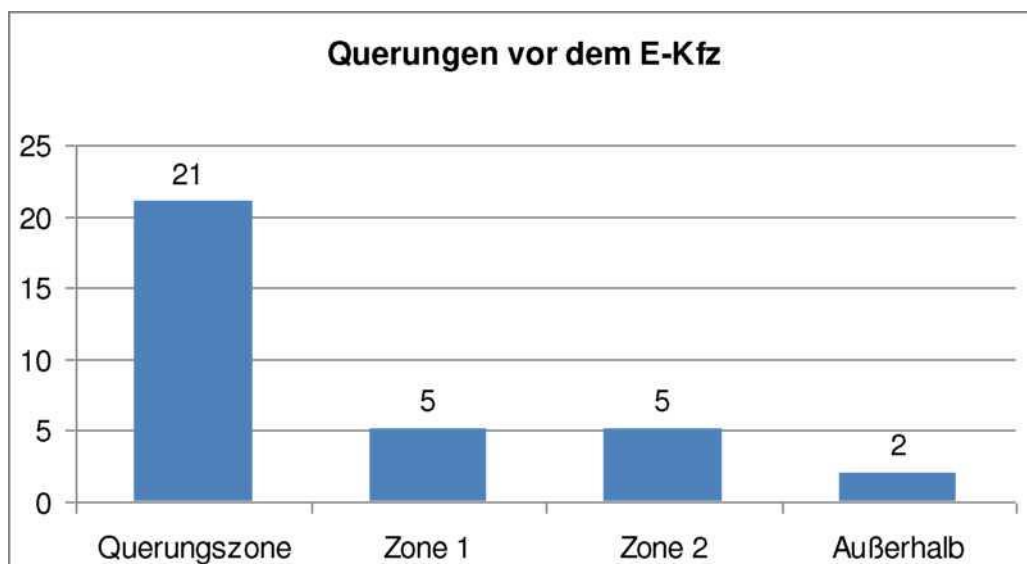


Abbildung 9: Dokumentierte Querungen vor dem E-Kfz (als erstes Fahrzeug) (absolut, N=33)

Wie in Abbildung 9 ersichtlich, haben insgesamt 21 Personen die Fahrbahn gequert, obwohl sich das Elektrofahrzeug bereits in der Querungszone befand.

Beschreibung der beobachteten Personen

Insgesamt waren jeweils rund die Hälfte der beim Überqueren der Straße beobachteten Personen männlich bzw. weiblich (Abbildung 10). Der Großteil der Personen wurde zwischen 30 und 59 Jahre alt geschätzt (siehe Abbildung 11).

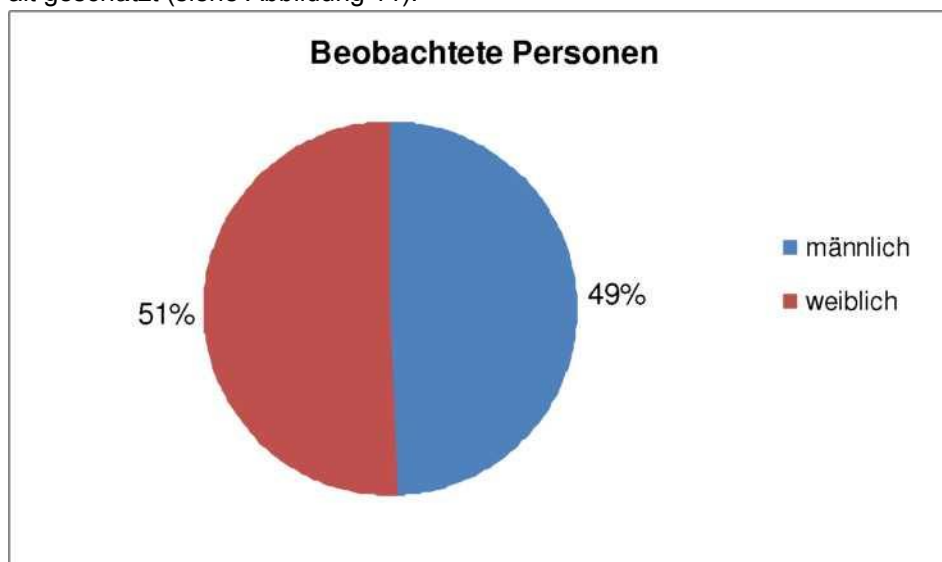


Abbildung 10: Beobachtete Personen nach Geschlecht (in %, N=257)

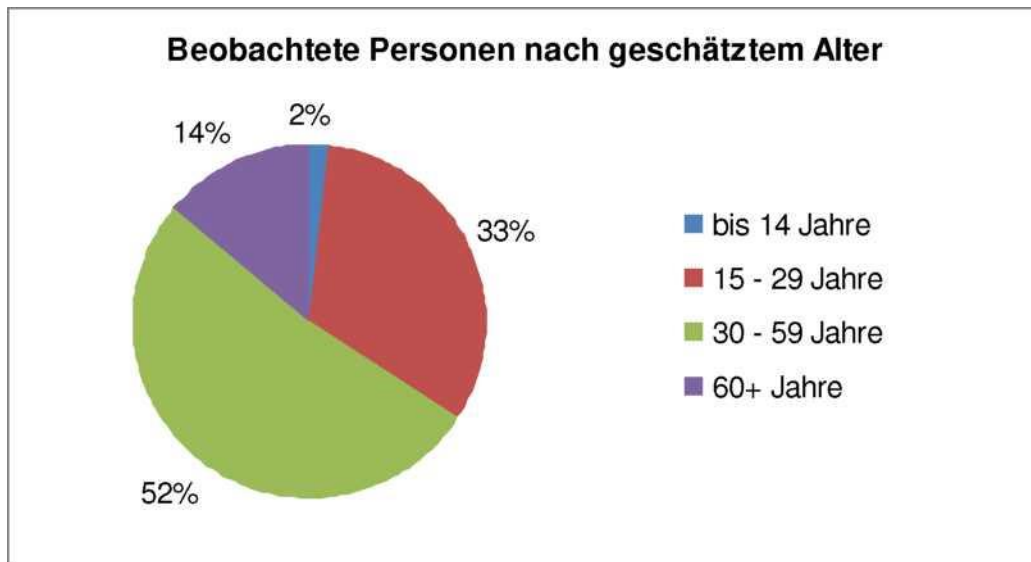


Abbildung 11: Beobachtete Personen nach geschätztem Alter (in %, N=257)

16 Personen haben beim Überqueren einen Kinderwagen oder ein Fahrrad geschoben. 15 Personen haben beim Überqueren telefoniert. 4 Personen hatten einen Hund dabei. Nur eine beobachtete Person trug Kopfhörer. 65% der Personen überquerten die Straße alleine, rund 14% waren in Begleitung eines Partners/einer Partnerin, rund 9% waren in Begleitung von Kindern unterwegs.

Beobachtetes Verhalten

Rund ein Drittel der beobachteten Personen überquerte die Fahrbahn, ohne vorher zu schauen, ob sich ein Fahrzeug nähert (Abbildung 12).

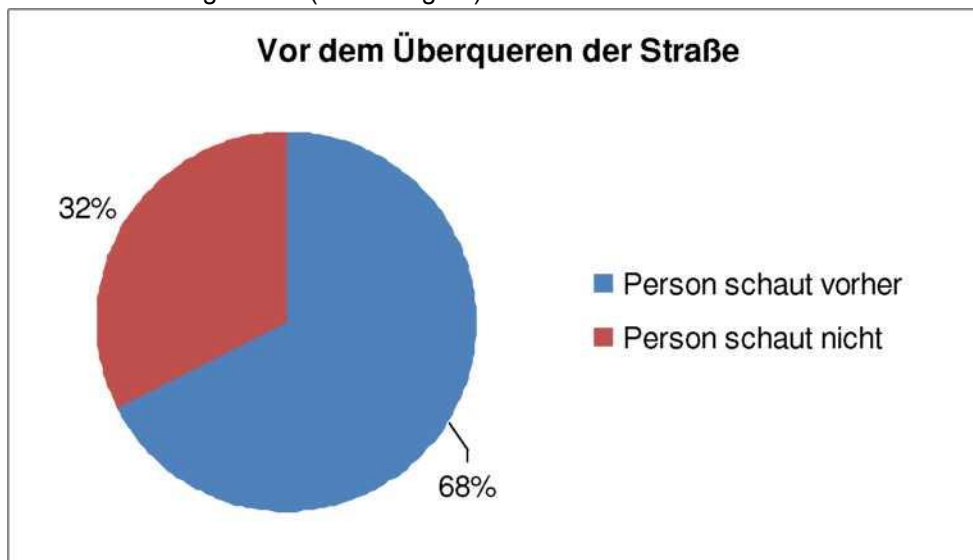


Abbildung 12: Vor dem Überqueren der Straße (in %, N=257)

Von allen beobachteten Personen gingen drei Viertel in normalem Schrittempo über die Straße, während 2% (noch schnell) liefen (Abbildung 13). Darunter fallen sowohl Personen, die vorher schauten als auch solche, die einfach gingen, ohne zu schauen. 23% aller beobachteten Personen warteten das nächste Fahrzeug ab, bevor sie die Straße querten. Von jenen Personen, die vor dem Überqueren schauten (N=175), wartete rund ein Drittel vor der Querung das nächste Auto ab.

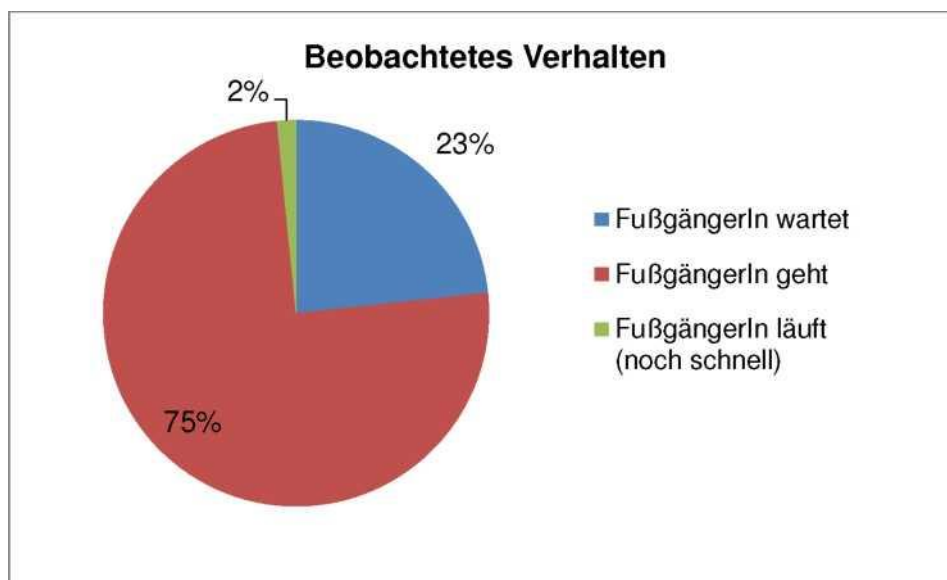


Abbildung 13: Beobachtetes Verhalten (in %, N=257)

Es wurden keine Unterschiede dahingehend beobachtet, ob das nächste Fahrzeug ein Elektrofahrzeug oder ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor ist. Beim Überqueren der Straße achtete der Großteil der Querenden (70%) nicht mehr auf den Verkehr (Abbildung 14).

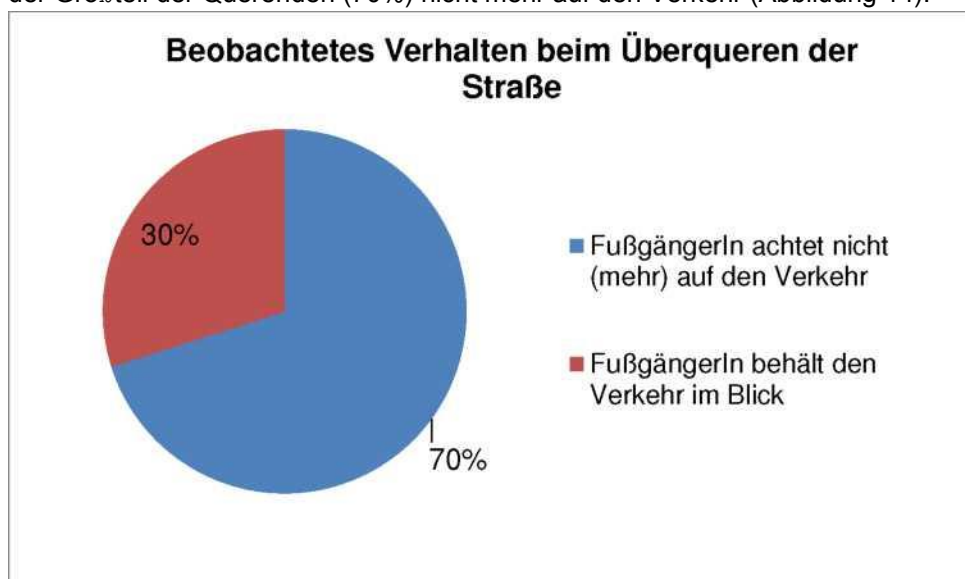


Abbildung 14: Beobachtetes Verhalten beim Überqueren der Straße (in %, N=257)

Position der Fahrzeuge beim Überqueren der Straße

Bei den Personen, die warteten, ist eine Unterscheidung nach Fahrzeug nicht sinnvoll, da insgesamt nur in sechs Fällen das E-Kfz das erste sich nähernde Fahrzeug war. Wo sich das nächste Fahrzeug jeweils befand, wenn Personen die Straße nicht mehr überquert und stattdessen gewartet haben, ist in Abbildung 15 ersichtlich.

70%
60%
50%
40%
30%

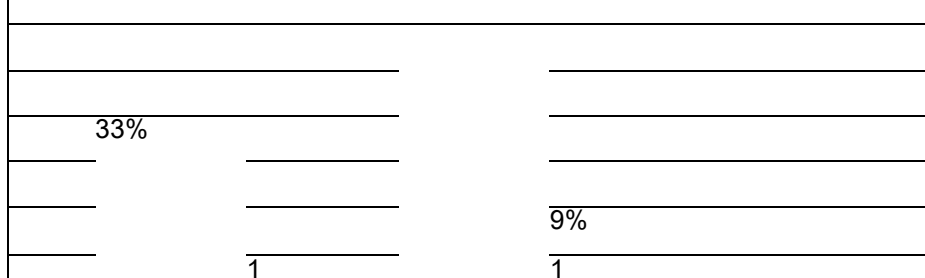
20%

10%

0%

Position des nächsten Fahrzeuges beim Warten vor dem Überqueren

59%



Querungszone

Zone 1

Zone 2

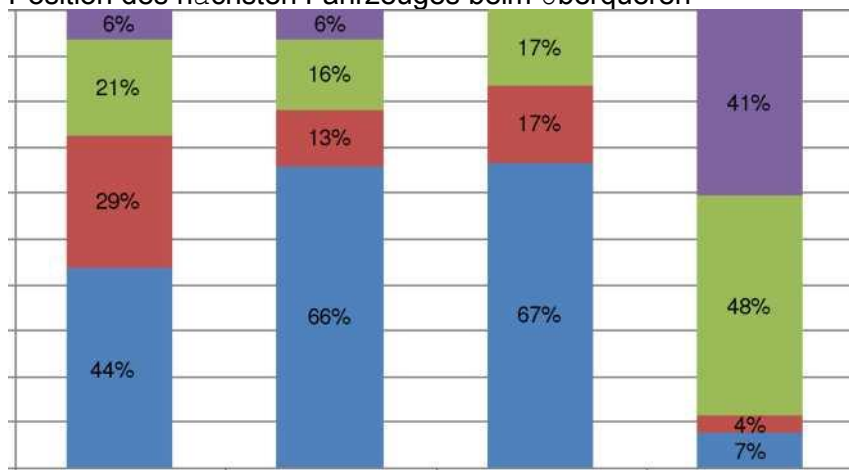
Abbildung 15: Position des nächsten Fahrzeuges beim Warten vor dem überqueren (in %, N=257)

In einem Drittel der beobachteten Fälle, in denen Personen gewartet haben, befand sich das nächste Fahrzeug bereits innerhalb der Querungszone.

Interessant ist, vor allem in Hinblick auf Unterschiede zwischen den Fahrzeugen, wo sich beim Überqueren der Fahrbahn das jeweils nächste Fahrzeug befand (Abbildung 16).

100%

Position des nächsten Fahrzeuges beim Überqueren



Außerhalb Zone 2 Zone 1

Querungszone

V-Kfz (n=156) E-Kfz (n=32) Motorrad/Roller Bus (n=24)

(n=6)

Fahrzeuge

90%

80%

70%

60%

50%

40%

30%

20%

10%

0%

Abbildung 16: Position des nächsten Fahrzeuges beim Überqueren - nach Fahrzeug, ausgenommen sonstige Fahrzeuge (in %, N=218)

In Abbildung 16 ist ersichtlich, dass sich das jeweils nächste Fahrzeug schon oftmals in unmittelbarer Nähe befand, wenn Personen die Fahrbahn querten. Am wenigsten häufig war das der Fall, wenn das nächste Fahrzeug ein Bus war. Bei 66% der beobachteten Querungen befand sich das E-Kfz bereits innerhalb der Querungszone, dieser Anteil ist höher als jener bei einem annähernden V-Kfz. Im Fall von Motorrädern ist der Anteil noch höher, hier befand sich das nächste sich nähernde Fahrzeug bei 67% der Querungen bereits in der Querungszone. Anzumerken ist allerdings, dass wesentlich mehr Querungen bei herannahenden V-Kfz beobachtet wurden als bei allen anderen Fahrzeugtypen. Die häufigen Querungen legen die Vermutung nahe, dass aufgrund des Umfeldes (schmale Straße, Einbahn, hohe FußgängerInnenfrequenz) FußgängerInnen eher davon ausgehen, dass FahrzeuglenkerInnen Rücksicht nehmen (müssen). Tendenziell zeigt sich zwar, dass Personen häufiger noch gingen, wenn das nächste Fahrzeug ein E-Kfz war im Vergleich zu einem V-Kfz, dennoch sind Aussagen aufgrund der unterschiedlichen Anzahl von Beobachtungen nicht zu generalisieren.

2.3 Eindrücke der E-Kfz-Lenkerinnen

Im Rahmen der Erhebungen wurden zusätzlich Fahrten mit dem E-Kfz durchgeführt, um die LenkerInnenperspektive mitzuerheben. Im Anschluss an die persönliche Beobachtung erfolgten Testfahrten mit dem E-Kfz durch zwei Mitarbeiterinnen des KfV, als Vergleich dazu wurden zusätzlich Fahrten der gleichen Strecke mit dem V-Kfz unternommen. Nach der ortsfesten Videobeobachtung wurde eine mobile Videobeobachtung aus dem fahrenden E-Kfz heraus unternommen, um etwaige Unterschiede im Verhalten ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen festzuhalten.

Zunächst kann festgehalten werden, dass die beiden Testlenkerinnen teils unterschiedliche Erfahrungen dokumentierten.

Die erste Testlenkerin hatte den Eindruck, Unterschiede im Verhalten ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen wahrzunehmen, so wurde bei der Fahrt mit dem E-Kfz z.B. von erschrockenen RadfahrerInnen und FußgängerInnen berichtet. Allgemein entstand der Eindruck, dass das E-Kfz durch ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen erst sehr spät erkannt wird. Potentielle Konfliktsituationen mit RadfahrerInnen und FußgängerInnen wurden berichtet. Ein Vorfall wurde beispielsweise berichtet, bei dem ein telefonierender Fußgänger das E-Kfz nicht bemerkte und direkt davor die Straße queren wollte. Ebenfalls wurde ein Vorfall berichtet, bei dem ein offensichtlich nicht auf den Straßenverkehr konzentrierter Radfahrer das E-Kfz nicht bemerkte.

Im Fall der zweiten Testlenkerin konnten keine Unterschiede im Verhalten ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen zwischen E- und V-Kfz festgehalten werden. Es wurde weder von veränderten Querungstendenzen noch von erschrockenen FußgängerInnen und RadfahrerInnen berichtet.

Mittels mobiler Videobeobachtung konnten ebenfalls kaum Vorfälle in der Begegnung von E-Fahrzeug und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen festgehalten werden. Lediglich ein Vorfall war auffällig und stand vermutlich mit der Akustik des E-Kfz in Verbindung: eine telefonierende Fußgängerin wollte die Straße überqueren, lief unmittelbar vor das E-Kfz auf die Straße und erschrak. Hier ist allerdings anzumerken, dass es sich um eine durch ein Mobiltelefon abgelenkte Person handelte - fraglich ist, ob es zu dem Vorfall auch gekommen wäre, wenn keine Ablenkung durch das Mobiltelefon vorhanden gewesen wäre.

Da drei Vorfälle mit abgelenkten Personen berichtet wurden (zweimal durch Mobiltelefone, einmal durch mangelnde Konzentration auf den Straßenverkehr), lässt sich vermuten, dass Unterschiede zwischen der Wahrnehmbarkeit von E- und V-Kfz insbesondere dann bestehen, wenn Sinneskanäle bereits durch die Durchführung von Parallelaufgaben ausgelastet sind. Ratsam wäre es, in einer Folgestudie spezifisch Konflikten zwischen abgelenkten ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen und E- vs. V-Kfz nachzugehen, um festzustellen, ob hier erhöhte Gefahr besteht.

2.4 Ergebnisse der Videobeobachtung Ortsfeste Beobachtung:

Die Aufzeichnungen wurden an zwei sonnigen Tagen mit relativ hoher FußgängerInnenfrequenz durchgeführt, dennoch konnten nur vereinzelt Querungen von FußgängerInnen beobachtet werden, bei denen sich ein E-Kfz näherte (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Ergebnisse Videobeobachtung

Fahrzeug	Querungsbereich	Fahrbahnbereich des nächsten Kfz	Anzahl der Fälle
E-Kfz	Lindengasse	Bereich 1	7
		Bereich 2	2
	Zollergasse	Bereich A	11
		Bereich B	10
V-Kfz	Lindengasse	Bereich 1	26
		Bereich 2	39
	Zollergasse	Bereich A	54
		Bereich B	71

In Tabelle 3 sind die laut Definition der Querungs- und Fahrbahnbereiche beobachteten Fälle, aufgeteilt nach E- und V-Kfz, abgebildet. Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen die definierten Zonen. Hierbei wurden diejenigen Querungen von FußgängerInnen gezählt, bei denen sich das nächste sich nähernde Fahrzeug in einer der vorab definierten Fahrbahnmarkierungen befand. Bei den Begegnungen der FußgängerInnen und des V-Kfz an der Querungsstelle Lindengasse fällt auf, dass sich ein Großteil der beobachteten Fahrzeuge noch in Zone 2, das heißt noch nicht im Konfliktbereich, befand. Betrachtet

man die Querungsstelle Zollergasse (V-Kfz) so zeigt sich ein ähnliches Bild. Generell waren die meisten FußgängerInnenquerungen zu verzeichnen, wenn sich das V-Kfz noch nicht im unmittelbaren Querungsbereich befand. Aufgrund der zahlenmäßigen Verteilung ist allerdings höchstens von einem Trend, nicht jedoch von einem kausal interpretierbaren Unterschied zu sprechen. Im Falle des E-Kfz lässt sich kein klares Muster erkennen, da die absolute Anzahl der beobachteten Begegnungen mit FußgängerInnen relativ klein ist.

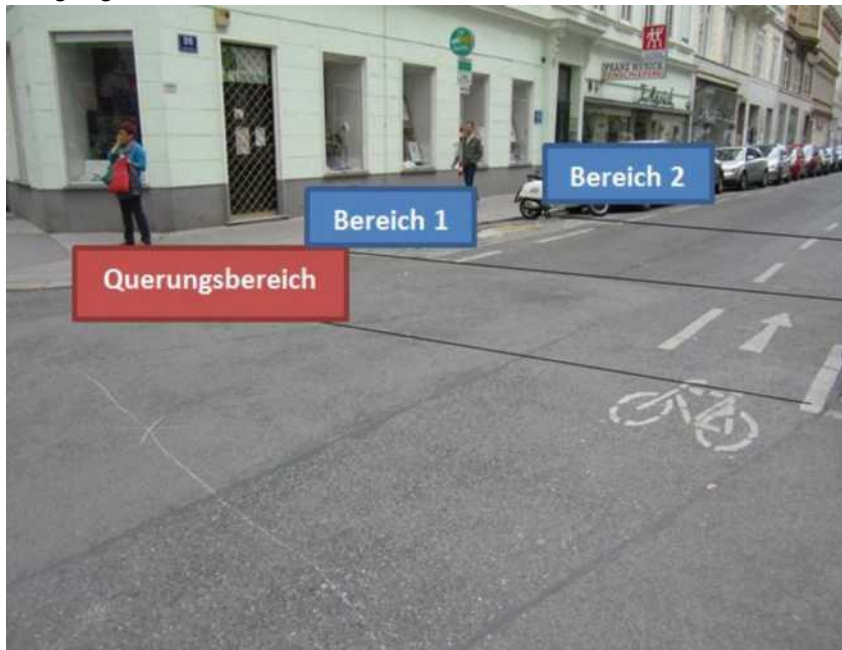


Abbildung 17: Bereichsdefinitionen bei Querung Lindengasse

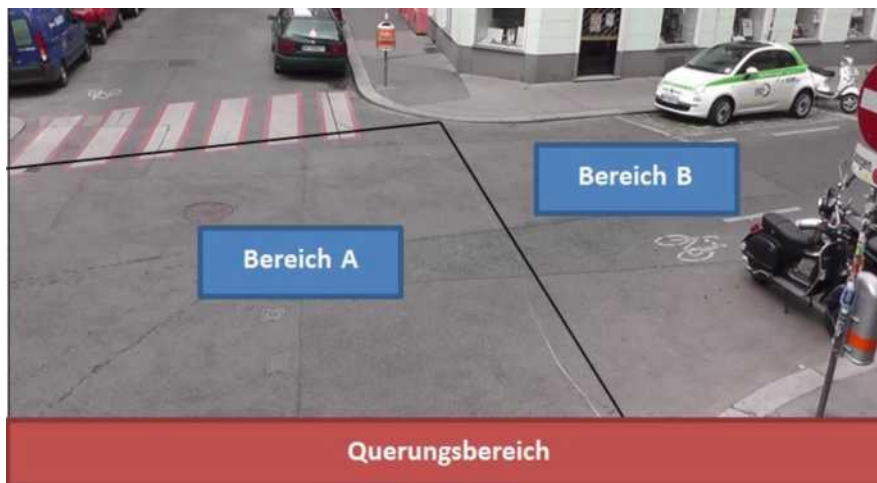


Abbildung 18: Bereichsdefinitionen bei Querung Zollergasse

Zusätzlich ist anzumerken, dass deutlich weniger Vorbeifahrten des E-Kfz als des V-Kfz beobachtet wurden. In einer stichprobenartigen Zählung der vorbeifahrenden Fahrzeuge (10 Minuten des Videomaterials) wurden 40 V-Kfz und zwei E-Kfz festgehalten. Das gesamte Videomaterial umfasst knapp sieben Stunden Aufzeichnung.

Ortsunabhängige Beobachtung:

Im Videomaterial, das aus dem fahrenden E-Kfz aufgenommen wurde, konnten kaum Konfliktsituationen mit FußgängerInnen festgehalten werden. Lediglich eine Situation zeigt eine

Fußgängerin die während der Bedienung ihres Smartphones die Straße betritt, das herannahende E-Kfz nicht wahrnehmend, und erschrickt. In diesem Fall war ein Bremsvorgang des E-Kfz notwendig um die Konfliktsituation aufzulösen. Da es sich bei dieser Beobachtung um einen Einzelfall handelte, können keine Kausalschlüsse gezogen werden. Zu überlegen ist allerdings, ob bei verstärkter Ablenkung von FußgängerInnen (z.B. durch Smartphones, Kopfhörer, etc.) die schwächere Geräuschkulisse des E-Kfz problematisch sein kann.

2.5 Schlussfolgerungen

Aus den durchgeführten persönlichen Beobachtungen, Beobachtungsfahrten und Videobeobachtungen können keine substantiellen Unterschiede im Verhalten von ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen gegenüber E-Kfz vs. V-Kfz abgeleitet werden.

Da die absoluten Zahlen an beobachteten Interaktionen zwischen E-Kfz und ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen jedoch verhältnismäßig klein sind, sollte von Kausalinterpretationen Abstand genommen werden.

Zusätzlich muss bei Feldstudien immer bedacht werden, dass Kontextbedingungen eine Rolle spielen und man nur von eingeschränkter Vergleichbarkeit ausgehen kann, so sollten z.B. die Witterungsbedingungen, die Uhrzeit und der Wochentag einer Beobachtung konstant gehalten werden, um Verzerrungen zu vermeiden. Dies war in der vorliegenden Studie nicht immer möglich; zwar fand der Großteil der Erhebungen bei sonnigem Wetter statt, Uhrzeit und Wochentag konstant zu halten war jedoch aus organisatorischen Gründen nicht möglich. Das Studiendesign weist in diesem Fall einen explorativen Charakter auf.

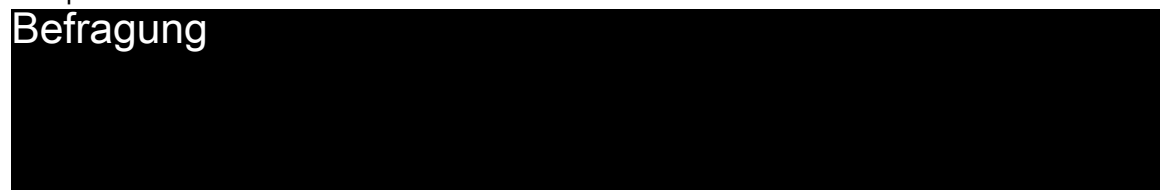
Vereinzelte Konfliktsituationen legen nahe, dass bei bereits vorhandener Ablenkung, wie etwa durch Mobiltelefone, die schlechtere Hörbarkeit des E-Kfz insofern eine Rolle spielt, als das E-Kfz relativ spät bemerkt werden.

Daher ist zu empfehlen, die Wirkung von E-Kfz im Vergleich zu V-Kfz unter ablenkenden Bedingungen in einer Folgestudie zu erfassen. Ergänzende Laborstudien zum Thema Hörbarkeit von E-Kfz unter Ablenkung erscheinen ebenfalls zielführend.

3 AP6 - Befragung von VerkehrsteilnehmerInnen

3.1 Methode

Die Befragung setzte sich aus drei Bestandteilen zusammen. Abbildung 19 veranschaulicht diese Komponenten.



Telefoninterviews Fragen und Antworten in Bezug auf:	Persönliches Interview HörbeobachterInnen:	Hörversuch Fragebogen in Bezug auf:
- Erfahrungen mit E-Kfz	- Hörbarkeit von E- Kfz	- Diagnostizierte
- Innenraumakustik	- Vergleich E- Kfz vs.	Einschränkungen:
- Konflikte mit anderen	V-Kfz	* Hörvermögen
VerkehrsteilnehmerInnen		* Sehvermögen
- Empfehlungen		- Straßenquerungsverhalten

Abbildung 19: Aufbau Befragung

Die Befragung bezog sich auf Konfliktsituationen und Hörbarkeit. Im Rahmen der Befragung wurde auf die Gesamtsituation im Straßenverkehr, nicht nur in Bezug auf die Hörbarkeit von E-Kfz, eingegangen. Als Werkzeug für die qualitativen bzw. quantitativen Befragungen wurden Interviews bzw. Fragebögen eingesetzt.

Telefoninterviews mit LenkerInnen von Elektrofahrzeugen des „Lebenslandes Kärnten“³

Nach Abschluss der Erhebungsphase (AP2) wurden im Rahmen des AP6 acht Telefoninterviews mit zufällig ausgewählten TestfahrerInnen durchgeführt. Die telefonische Befragung erfolgte im Juni 2012. Das „Lebensland Kärnten“ ist eine Initiative, die es sich zum Ziel gesetzt hat, „für die aufkommende Elektromobilität Infrastruktur zu schaffen, neue Mobilitätskonzepte zu erarbeiten und die Marktentwicklung in den Bereichen Elektromobilität und erneuerbare Energien zu fördern.“ (Quelle:

<http://www.lebensland.com/de/ueber-uns/einleitung>)

Folgenden Fragestellungen wurde nachgegangen:

- Wie wurde das Fahren im Elektrofahrzeug wahrgenommen (im Vergleich zum Gebrauch eines Kfz mit Verbrennungsmotor)?
- Wie war die Handhabung des Elektrofahrzeuges?
- Welche Auffälligkeiten in Bezug auf die Innenraumakustik (Geräuschentwicklung) gab es?
- Welche Konflikte gab es mit anderen VerkehrsteilnehmerInnen?
- Welche Empfehlungen können die TeilnehmerInnen für die zukünftige Nutzung von Elektrofahrzeugen abgeben?

Schriftliche Befragung bei den Hörtests

Der Hörversuch des AP1 wurde begleitet von AP6. In AP6 wurde der Fragebogen für alle TeilnehmerInnen, die am Hörversuch teilgenommen haben, entwickelt. Inhalte waren das Hör- und Sehvermögen, das Straßenquerungsverhalten und demografische Daten.

Am Hörversuch nahmen u.a. Personen mit einer Einschränkung des Sehvermögens teil, diese wurden zusätzlich zum oben genannten Fragebogen noch im Detail zu ihren Erfahrungen in Bezug auf mögliche Unterschiede in der Hörbarkeit von Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren befragt (der Fragebogen befindet sich im Anhang).

Beim Hörversuch wurden den ProbandInnen Geräusche von E-Kfz und V-Kfz mit unterschiedlicher Hintergrundbeschallung vorgespielt. Hintergrundgeräusche waren Audioaufnahmen aus ländlichem Gebiet, Parkplatzsituation und Stadtverkehr (genauere Informationen siehe Anhang A Ergebnisbericht AP1+4). Nach dem Hörversuch wurden die ProbandInnen zur Teilnahme an einer Befragung mittels Fragebogen gebeten. Der Hörversuch sowie die Befragung wurden im November 2012 durchgeführt.

Für die Realisierung des Hörversuchs wurden drei Standorte gewählt:

- KfV- Kuratorium für Verkehrssicherheit, Schleiergasse 18, 1100 Wien
- BSVÖ - Blinden- und Sehbehindertenverband Österreich, Hietzinger Kai 85/DG, 1130 Wien
- AIT - Austrian Institute of Technology, Giefinggasse 2, 1210 Wien

Befragung bei Begehungen mit einer blinden Person vom Blindenverband im Rahmen der Beobachtung In Arbeitspaket 5 wurde u.a. eine Teststrecke festgelegt, durch die ein E-Kfz bewegt wurde. In diesem Zeitraum wurde ein blinder „Hörbeobachter“ an zwei Stellen der Teststrecke positioniert und befragt. Hier wurde die Hörbarkeit eines E-Kfz mittels Vergleich zu einem V-Fahrzeug untersucht. Bei der Befragung wurde thematisiert, was an vorbeifahrenden Fahrzeugen wahrnehmbar ist, an welcher Stelle im Teststreckenbereich eine blinde Person queren würde und welche anderen Auffälligkeiten im Straßenraum wahrnehmbar sind.

Dieses Interview diente der qualitativen Datensammlung. Für das Interview wurden zwei Standorte ausgewählt, die auch im Rahmen von AP5 bei Beobachtungen herangezogen wurden: Zum einen die Ecke Lindengasse / Zollergasse, zum anderen die Kirchengasse auf Höhe des Gerngross⁴-

Hintereinganges.

3.2 Ergebnisse Telefoninterviews

Positiv äußerten sich die Teilnehmenden zu Beschleunigung und Erscheinungsbild des E- Fahrzeuges. Geteilter Meinung sind die TestfahrerInnen in Bezug auf das Motorengeräusch. Negativ beurteilten die teilnehmenden FahrerInnen den hohen Verbrauch auf Autobahnen und die Organisation der Fahrten (Auflademöglichkeiten, Aufladedauer).

Die TestfahrerInnen empfahlen die Ladezeit zu verkürzen, die Reichweite zu erweitern und den Preis zu verringern. Die Befragten waren sich einig, dass sich das getestete E-Kfz als Stadt- bzw. Zweitauto eignet. Als Anregungen wurden unter anderem eine Miet-Kaufvariante für Akkus und zusätzliche Geräusche für FußgängerInnen genannt. Die Befragten regten an, dass der benötigte Strom für das E-Kfz aus Photovoltaik- oder Solaranlagen stammen sollte.

3.3 Ergebnisse persönliches Interview

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein blinder Mensch im Straßenverkehr mehr denn je auf sein Gehör angewiesen ist. Aufgrund des fehlenden Motorengeräusches beim E-Kfz ist es nicht möglich, vor allem im normalen Straßenverkehr, ein Elektroauto herauszuhören. Im Gegenteil, die befragte Person konnte bis auf einmal das E-Kfz nie heraushören obwohl hier kaum Hintergrund- und keine Motorengeräusche zu hören waren. Besonders kritisch sind Situationen, in denen das E-Kfz zwischen oder unmittelbar vor einem Gefährt mit Verbrennungsmotor entlangfährt, da hier sog. „Geräuschlöcher“ entstehen und für sehbeeinträchtigte Personen der Anschein erweckt wird, die Fahrbahn sei frei.

„Gerngross“ ist ein großes Einkaufszentrum in der Mariahilfer Straße in Wien. Der hier angesprochene Hintereingang befindet sich in der Kirchengasse.

3.4 Ergebnisse Fragebogen Hörversuch

Am Hörversuch nahmen insgesamt 105 Personen teil, ein Drittel davon weiblichen und zwei Drittel männlichen Geschlechts. Die Mehrheit der Teilnehmenden gab an, unter 30 Jahre alt zu sein. Die Altersklasse 31 bis 45 bildete ein Drittel der Teilnehmenden (siehe Abbildung 20 und Abbildung 21).

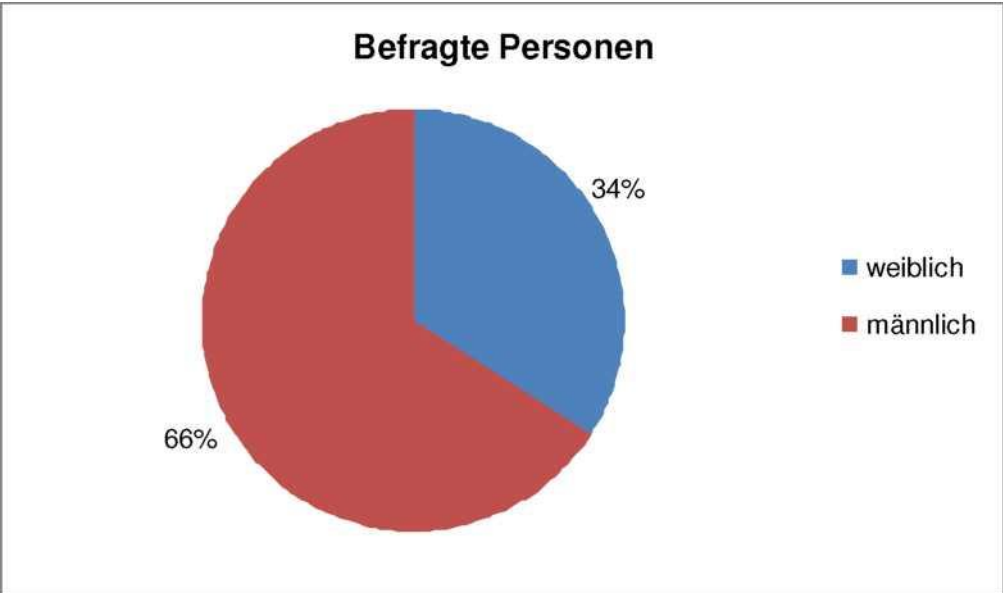


Abbildung 20: Befragte Personen nach Geschlecht (in %, N=105)

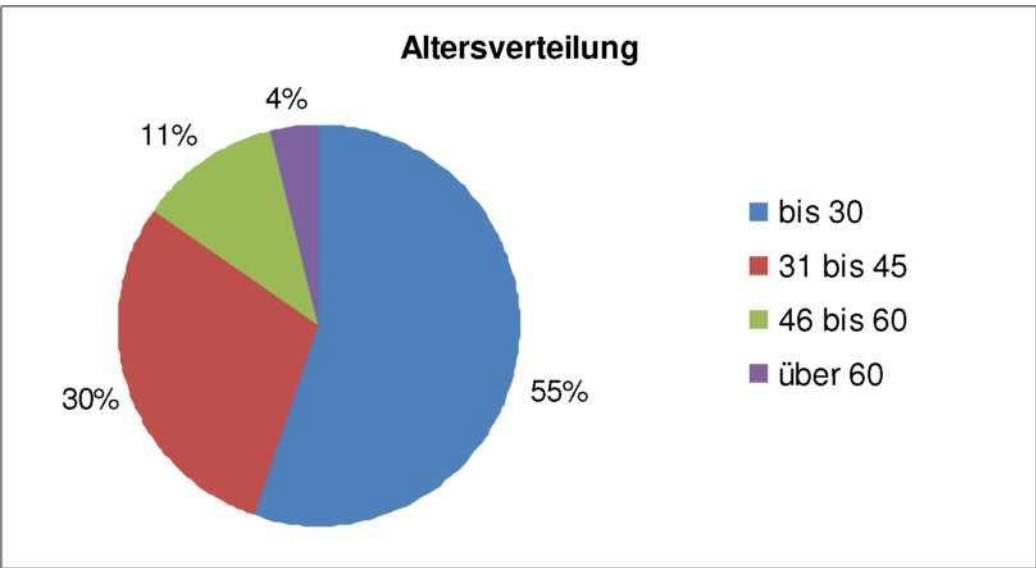


Abbildung 21: Altersverteilung (in %, N=105)

Im Hörversuch wurde auf Einschränkungen des Hör- und Sehvermögens eingegangen. Die Mehrheit der Teilnehmenden wies weder auf dem linken noch auf dem rechten Ohr diagnostizierte Einschränkungen auf und war somit nicht hörbeeinträchtigt. Eine teilweise Einschränkung des linken Ohres lag bei acht Personen und des rechten Ohres bei fünf Personen vor. Eine Person gab von sich aus an, eine Einschränkung des Hörvermögens des rechten Ohres zu haben. Als Korrektur benützten zwei Personen ein Hörgerät (induktive Höranlage). Keine der teilnehmenden Personen war taub (siehe Abbildung 22).

1 nn	Diagnostizierte Einschränkung des Hörvermögens
1 uu	
90	

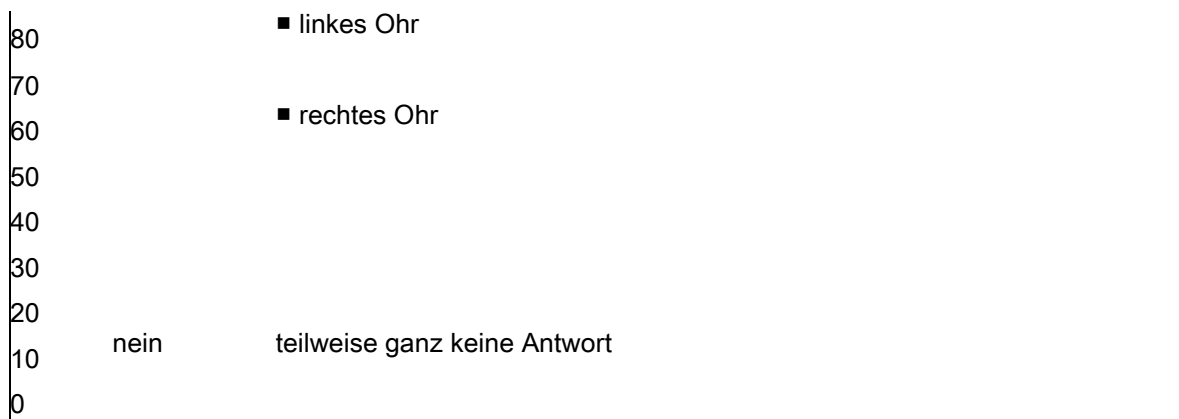


Abbildung 22: Diagnostizierte Einschränkung: Hörvermögen, linkes und rechtes Ohr (absolut, N=105)

Ein Drittel der teilnehmenden Personen besaß zum Zeitpunkt des Hörversuchs ein hundertprozentiges Sehvermögen. 60 bzw. 61 Teilnehmerinnen wiesen eine Einschränkung des Sehvermögens jeweils auf dem linken und dem rechten Auge auf. Acht Personen waren auf beiden Augen blind (siehe Abbildung 23).

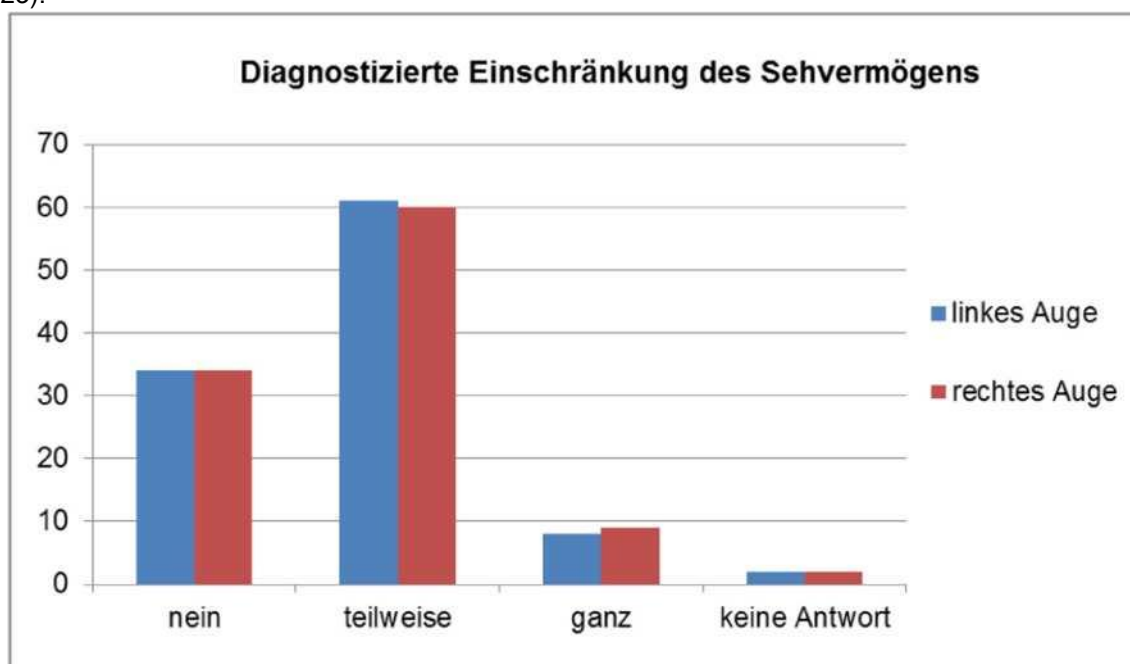
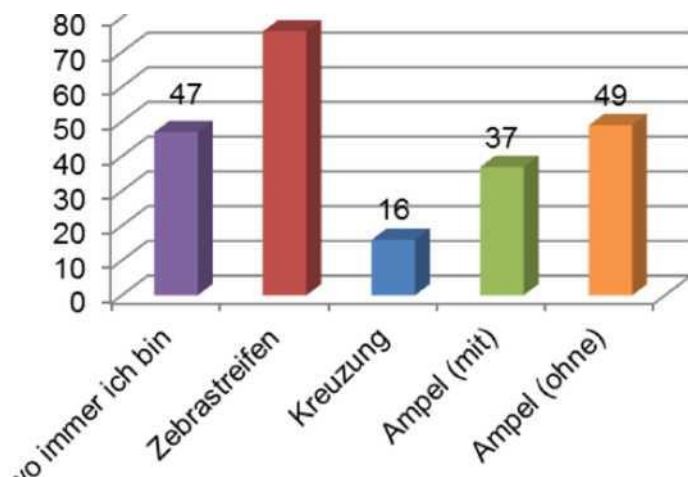


Abbildung 23: Diagnostizierte Einschränkung: Sehvermögen, linkes und rechtes Auge (absolut, N=105)

Die Mehrheit gab an, die die Straße bevorzugt an einem Zebrastreifen zu queren. 49 Personen gaben an, bevorzugt an einer Ampel ohne akustisches Signal die Straße zu überqueren, 37 Personen sagten aus, Ampeln zu bevorzugen, die ein akustisches Signal abgeben. 47 Teilnehmerinnen gaben an, die Straße an jeglichen Stellen zu überqueren. (Abbildung 24)

> ----- 76 -----

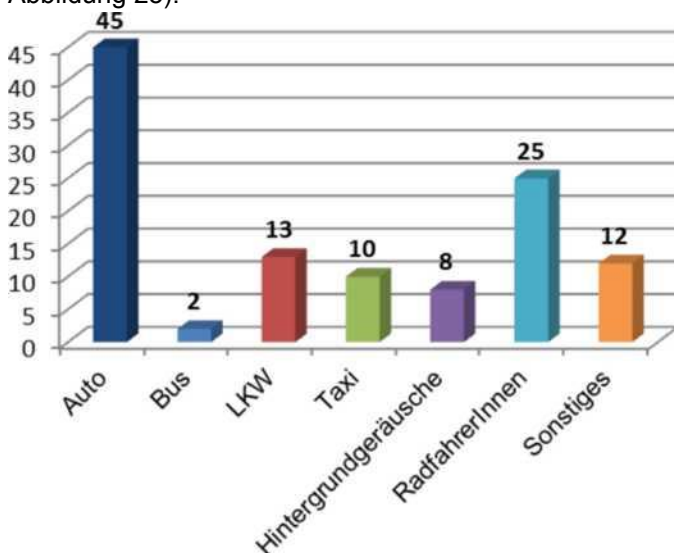


Bevorzugte Stelle beim Überqueren der Straße

wo immer ich bin | Zebrastreifen | Kreuzung | Ampel (mit) | Ampel (ohne)

Abbildung 24: An welcher Stelle bevorzugen Sie es die Straße zu überqueren? (mit Mehrfachnennung, absolut, N=105, absolut)

Das Verkehrsmittel Pkw wurde von den meisten Teilnehmenden als größte Gefahr beim Überqueren der Straße angegeben. Radfahrerinnen wurden von 25 Personen als Gefahr wahrgenommen. LKW und sonstige Verkehrsmittel empfanden 13 beziehungsweise zwölf Personen gefährlich (siehe Abbildung 25).



Größte Gefahr beim Überqueren der Straße

■ Auto Bus

■ LKW Taxi

■ Hintergrundgeräusche RadfahrerInnen Sonstiges

Abbildung 25: Was stellt für Sie die größte Gefahr beim Überqueren der Straße dar? (mit Mehrfachnennung, absolut, N=105, absolut)

Sechs Personen gaben an, dass ihr berufliches Umfeld eine hohe Lärmbelastung aufweist. (Abbildung 26)

Anzahl Personen mit Lärmbelastung im beruflichem Umfeld



Abbildung 26: Haben Sie in Ihrem beruflichen Umfeld eine hohe Lärmbelastung? (absolut, N=105)

3.5 Schlussfolgerungen

Von TestlenkerInnen werden E-Kfz durchaus als Alternative zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor angesehen, sofern es sich um Stadt- oder Zweitautos handelt. Allgemein werden E-Kfz von TestlenkerInnen eher positiv wahrgenommen, besonders die Beschleunigung und das Erscheinungsbild wurden genannt. Dass kein Motorengeräusch vorhanden ist, wurde unterschiedlich angenehm wahrgenommen. Als negativ wurden die geringe Reichweite, der Verbrauch und die Organisation der Akku-Aufladung (z.B. Tankdauer) genannt. Eine Verkürzung der Ladezeit, Verlängerung der Reichweite und Senkung des Preises wäre aus Sicht der TestlenkerInnen wünschenswert.

Betrachtet man die Situation blinder Personen im Straßenverkehr, so können E-Kfz auch eine Bedrohung darstellen. Menschen mit Sehbehinderungen bzw. blinde Menschen sind besonders in diesem Kontext auf ihr Gehör angewiesen. Das Interview zeigt, dass E-Kfz von der befragten blinden Person nicht identifiziert werden konnten. Besonders kritisch sind hier sogenannte „Geräuschlöcher“, die Vorkommen, wenn ein E-Kfz direkt vor oder hinter einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor fährt - es entsteht der Eindruck, die Fahrbahn sei frei.

Deskriptive Analysen der Teilnehmenden des Hörversuches attestieren dem Großteil der Personen ein vollständiges Hörvermögen, einigen Personen jedoch Einschränkungen im Sehvermögen. Als bevorzugte Querungsstelle gilt der Zebrastreifen (von ca. % der Teilnehmenden angegeben), jedoch queren laut eigenen Angaben ca. die Hälfte der Personen, wo immer sie gerade sind bzw. an Ampeln. Als gefährlichstes Fahrzeug beim Überqueren einer Straße wurden mit Abstand an erster Stelle Kfz allgemein genannt, gefolgt von RadfahrerInnen. Nur ein geringer Anteil an TeilnehmerInnen ist laut eigenen Angaben im beruflichen Umfeld großem Lärm ausgesetzt.

4 Zusammenfassung/Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse der Arbeitspakete 5 und 6 des Projektes drivEkustik setzten sich mit der Wahrnehmung von E-Kfz durch ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen auseinander sowie mit Kommunikation und Konflikten zwischen diesen beiden NutzerInnengruppen im Straßenverkehr.

In AP5 konnten generell keine gravierenden Unterschiede im Verhalten ungeschützter VerkehrsteilnehmerInnen gegenüber Elektro-Fahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor

festgehalten werden. In Einzelfällen kam es jedoch sehr wohl zu Konfliktsituationen, die vermutlich auf die mangelnde Hörbarkeit von E-Kfz zurückzuführen sind, in denen das E-Kfz durch ungeschützte VerkehrsteilnehmerInnen nicht oder erst sehr spät in realen Verkehrssituationen bemerkt wurde.

Diese Ergebnisse sind durch die relativ kleine Anzahl an Begegnungen zwischen E-Kfz und ungeschützten VerkehrsteilnehmerInnen limitiert.

Als Quintessenz von AP6 kann festgehalten werden, dass E-Kfz von TestlenkerInnen eher positiv wahrgenommen werden, es jedoch auch Aspekte gibt, die bemängelt werden. Dies sind insbesondere der hohe Stromverbrauch, die geringe Reichweite und die Organisation der Aufladung (z.B. Tanken). Menschen mit Sehbehinderungen bzw. blinde Menschen stellt die E-Mobilität vor gänzlich neue Herausforderungen, da sie sich nicht wie gewohnt im Straßenverkehr auf ihr Gehör verlassen können und die Gefahr besteht, E-Kfz zu überhören. Von Personen, die am Hörversuch teilgenommen haben, verfügten die meisten über gutes Hörvermögen, im Sehvermögen waren jedoch einige eingeschränkt. Als bevorzugte Querungsstelle wurden Zebrastreifen und Ampeln genannt, gefährlich beim Queren werden in erster Linie Kfz wahrgenommen.

Einschränkungen bestehen in der vorliegenden, explorativ konzipierten Studie vornehmlich in der Anzahl an Beobachtungen bzw. Befragungen. Es ist ratsam, die angedeuteten Trends näher mittels hypothesenprüfenden Designs zu erforschen. Insbesondere die folgenden Aspekte sollten weiterführend erforscht werden:

Wahrnehmbarkeit von E-Kfz durch abgelenkte ungeschützte Verkehrsteilnehmerinnen: Da während der Beobachtungen im Rahmen von AP5 besonders abgelenkte FußgängerInnen und RadfahrerInnen erschrocken auf das E-Kfz reagierten, sollte eingehend geprüft werden, ob diese einer erhöhten Gefahr für Konflikte mit E-Kfz unterliegen. Hierfür sind sowohl Laborstudien denkbar (es könnte z.B. untersucht werden, wann abgelenkte vs. nicht abgelenkte Personen E-Kfz wahrnehmen), Feldstudien mit Fokus auf abgelenkte Personen oder Befragungsstudien wären allerdings auch von Interesse.

Menschen mit Sehbehinderungen bzw. blinde Menschen im Straßenverkehr mit E-Kfz: Hier ist es ratsam, noch weitere Befragungen von Menschen mit Sehbehinderungen bzw. blinden Menschen durchzuführen und eventuell gemeinsam mit InteressensvertreterInnen bewusstseinsbildende Maßnahmen, die Betroffene auf die Besonderheiten von E-Fahrzeugen aufmerksam machen, zu initiieren. Es sollte erforscht werden, an welchen Stellen im Straßenverkehr besondere Gefährdung herrscht, um präventive Maßnahmen in Gang zu bringen. Auch LenkerInnen von E-Kfz sollten auf die Gefährdung, die E-Mobilität für Menschen mit Sehbehinderungen bzw. blinde Menschen birgt, aufmerksam gemacht werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beobachtungsstellen, 1. Bezirk	11
Abbildung 2: Beobachtungsstellen, 7. Bezirk	11
Abbildung 3: Beobachtungsstelle für die Videobeobachtung, 7. Bezirk	12
Abbildung 4: Checkliste zur persönlichen Beobachtung, KIRCHENGASSE	13

Abbildung 5: Videobeobachtung	15
Abbildung 6: Kameraperspektive	15
Abbildung 7: Markierungen für die Abstandsabschätzung	16
Abbildung 8: Dokumentierte Querungen je Beobachtungsstelle (absolut, N=257)	17
Abbildung 9: Dokumentierte Querungen vor dem E-Kfz (als erstes Fahrzeug) (absolut, N=33)	17
Abbildung 10: Beobachtete Personen nach Geschlecht (in %, N=257)	18
Abbildung 11: Beobachtete Personen nach geschätztem Alter (in %, N=257)	18
Abbildung 12: Vor dem Überqueren der Straße (in %, N=257)	19
Abbildung 13: Beobachtetes Verhalten (in %, N=257)	20
Abbildung 14: Beobachtetes Verhalten beim Überqueren der Straße (in %, N=257)	20
Abbildung 15: Position des nächsten Fahrzeuges beim Warten vor dem Überqueren (in %, N=257)	21
Abbildung 16: Position des nächsten Fahrzeuges beim Überqueren - nach Fahrzeug, ausgenommen sonstige Fahrzeuge (in %, N=218)	22
Abbildung 17: Bereichsdefinitionen bei Querung Lindengasse	25
Abbildung 18: Bereichsdefinitionen bei Querung Zollergasse	25
Abbildung 19: Aufbau Befragung	27
Abbildung 20: Befragte Personen nach Geschlecht (in %, N=105)	30
Abbildung 21: Altersverteilung (in %, N=105)	30
Abbildung 22: Diagnostizierte Einschränkung: Hörvermögen, linkes und rechtes Ohr (absolut, N=105)	31
Abbildung 23: Diagnostizierte Einschränkung: Sehvermögen, linkes und rechtes Auge (absolut, N=105)	32
Abbildung 24: An welcher Stelle bevorzugen Sie es die Straße zu überqueren? (mit Mehrfachnennung, absolut, N=105, absolut)	32
Abbildung 25: Was stellt für Sie die größte Gefahr beim Überqueren der Straße dar? (mit Mehrfachnennung, absolut, N=105, absolut)	33
Abbildung 26: Haben Sie in Ihrem beruflichen Umfeld eine hohe Lärmbelastung? (absolut, N=105)	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erhebungszeitraum und Beobachtungsorte	12
Tabelle 2: Beobachtungszonen	14
Tabelle 3: Ergebnisse Videobeobachtung	24

Anhang A: Checklisten für die persQ nliche Beobachtung

KIRCHENGASSE
 Nr. 1 A. Beobachtete Person:
 A.I.
 Geschlecht
☐ männlich
☐ weiblich

A. 2. geschätztes Alter

☐ Kind (bis 14)

☐ 15-29

☐ 30-59 n 60+

Beobachtungsbogen DrivEkustik

A. 3. Sonstige Auffälligkeiten

☐ Behinderung (Gehstock, Rollator)

☐ telefoniert, schreibt SMS

☐ schiebt Kinderwagen / Fahrrad o Kopfhörer

c Vormittag c Nach

A. 4. Gruppe

☐ Elternteil mit Kindern, Anzahl: _

☐ Pärchen

☐ sonstige Folgende, Anzahl: _____

H. Beobachtung:

. Person quert
Mariahilfer Str.
B.2. Person schaut vorher
B.3. Person n wartet
☐ geht
n läuft (noch schnell)
B. 4. Während des Querens c behält den Verkehr im Blick
☐ achtet nicht (mehr) auf den V.
B.3.a Person wartet – Position des ersten Fahrzeuges:

II

S-9

4

Art des fahrzeugs
V. v-PKW E: e-PKW
M' Motorrad/Roller eM- e-Roller F: Fahrrad
Sonstiges ausschreiben
B. b. Wo befinden sich die nächsten Fahrzeuge zum Zeitpunkt des Betretens der Fahrbahn?

II ; 5*	-> Mariahilfer Str. 63 SI rti* Ro>M Beurn	4 J 1
G-rngroti InHr o	B--Inn T ► " " (T->	-> mgreu

B. 6. Sonstige Beobachtungen

LINDENGASSE/ZOLLERGASSE

Beobachtungsbogen DrivEkustik

☐ Vormittag ☐ Nachmittag

Nr. 1. A. Beobachtete Person:			
A.1. Geschlecht ☐ männlich ☐ weiblich	A.2. geschätztes Alter ☐ Kind (bis 14) ☐ 15 – 29 ☐ 30 – 59 ☐ 60+	A.3. Sonstige Auffälligkeiten ☐ Behinderung (Gehstock, Rollator) ☐ telefoniert, schreibt SMS ☐ schiebt Kinderwagen / Fahrrad ☐ Kopfhörer	A.4. Gruppe ☐ Elternteil mit Kindern, Anzahl: ____ ☐ Pärchen ☐ sonstige Folgende, Anzahl: ____
B. Beobachtung:			
B.1. Person quert Zollergasse Lindengasse 	B.3. Person ☐ wartet ☐ geht ☐ läuft (noch schnell)	B.3.a Person wartet – Position des ersten Fahrzeuges: 	
B.2. Person schaut vorher ☐ ja ☐ nein	B.4. Während des Querens ☐ behält den Verkehr im Blick ☐ achtet nicht (mehr) auf den V.		
B.5. Wo befinden sich die nächsten Fahrzeuge zum Zeitpunkt des Betretens der Fahrbahn?			Art des Fahrzeugs
			V: v-PKW E: e-PKW M: Motorrad/Roller eM: e-Roller F: Fahrrad Sonstiges ausschreiben
B.6. Sonstige Beobachtungen:			

WOLLZEILE, Figlmüller		Beobachtungsbogen DrivEkustik		☐ Vormittag	☐ Nachmittag
Nr.	1.	A. Beobachtete Person:			
A.1. Geschlecht		A.2. geschätztes Alter		A.3. Sonstige Auffälligkeiten	
☐ männlich ☐ weiblich		☐ Kind (bis 14) ☐ 15 – 29 ☐ 30 – 59 ☐ 60+		☐ Behinderung (Gehstock, Rollator) ☐ telefoniert, schreibt SMS ☐ schiebt Kinderwagen / Fahrrad ☐ Kopfhörer	
A.4. Gruppe					
☐ Elternteil mit Kindern, Anzahl: ____ ☐ Pärchen ☐ sonstige Folgende, Anzahl: ____					
B. Beobachtung:					
B.1. Person quert		B.3. Person		B.3.a Person wartet – Position des ersten Fahrzeuges:	
		☐ wartet ☐ geht ☐ läuft (noch schnell)			
B.2. Person schaut vorher		B.4. Während des Querens			
☐ ja ☐ nein		☐ behält den Verkehr im Blick ☐ achtet nicht (mehr) auf den V.			
B.5. Wo befinden sich die nächsten Fahrzeuge zum Zeitpunkt des Betretens der Fahrbahn?					Art des Fahrzeuges
					V: v-PKW E: e-PKW M: Motorrad/Roller eM: e-Roller F: Fahrrad Sonstiges ausschreiben
B.6. Sonstige Beobachtungen:					

WOLLZEILE, Morawa		Beobachtungsbogen DrivEkustik		☐ Vormittag	☐ Nachmittag
Nr.	1.	A. Beobachtete Person:			
A.1. Geschlecht		A.2. geschätztes Alter		A.3. Sonstige Auffälligkeiten	
☐ männlich ☐ weiblich		☐ Kind (bis 14) ☐ 15 – 29 ☐ 30 – 59 ☐ 60+		☐ Behinderung (Gehstock, Rollator) ☐ telefoniert, schreibt SMS ☐ schiebt Kinderwagen / Fahrrad ☐ Kopfhörer	
A.4. Gruppe					
☐ Elternteil mit Kindern, Anzahl: ____ ☐ Pärchen ☐ sonstige Folgende, Anzahl: ____					
B. Beobachtung:					
B.1. Person quert		B.3. Person		B.3.a Person wartet – Position des ersten Fahrzeuges:	
		☐ wartet ☐ geht ☐ läuft (noch schnell)			
B.2. Person schaut vorher		B.4. Während des Querens			
☐ ja ☐ nein		☐ behält den Verkehr im Blick ☐ achtet nicht (mehr) auf den V.			
B.5. Wo befinden sich die nächsten Fahrzeuge zum Zeitpunkt des Betretens der Fahrbahn?					Art des Fahrzeuges
					V: v-PKW E: e-PKW M: Motorrad/Roller eM: e-Roller F: Fahrrad Sonstiges ausschreiben
B.6. Sonstige Beobachtungen:					

Anhang B: Fragebogen zum Hörversuch

Fragebogennummer

KFV

Fragebogen Hörversuch

Fragebogen zum Hörversuch „DrivEkustik“

Wir möchten Sie um Ihre Teilnahme an einer kurzen freierwilligen Befragung zum Hörversuch „DrivEkustik“ bitten. Ihre Angaben werden anonym behandelt und ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke verwendet.

Vielen Dank!

1. Diagnostizierte Einschränkungen des Hörvermögens:

Ja	links	rechts
teilweise		
ganz		

korrigiert: ☐ nein ☐ C nein ☐ teilweise ☐ ganz

☐ nein

2. Diagnostizierte Einschränkungen des Sehvermögens:

Ja	links	rechts
Kurzsichtigkeit		
Weitsichtigkeit		

☐ G nein ☐ C teilweise ☐ - ganz ☐ gar nicht
korrigiert durch ☐ 0 Brille ☐ Kontaktlinsen

3. An welcher Stelle bevorzugen Sie es die StraÙe zu queren? (Mehrfachnennungen möglich)

- ☐ Wo immer ich bin
- ☐ Zebrastreifen
- ☐ Kreuzung
- ☐ Ampel (mit akustischem Signal)
- ☐ Ampel (ohne akustischem Signal)

4. Was stellt für Sie die größte Gefahr beim Überqueren der Straße dar? (Bitte nur 1 Antwort)

- ☐ Auto
- ☐ Bus
- ☐ Lkw
- ☐ Taxi
- ☐ Hintergrundgeräusche
- ☐ Radfahrerinnen
- ☐ Sonstiges:

5. Haben Sie in Ihrem beruflichen Umfeld eine hohe Lärmbelastung?

- ☐ ja ☐ nein
- ☐ wenn ja, welche:

6. Geschlecht

- ☐ weiblich ☐ männlich

7. Alter

- ☐ bis 30 ☐ 31 bis 45 ☐ 46 bis 60 ☐ über 60

Anhang C: Interviewleitfaden Telefoninterviews Naturalistic

Driving: e-cars

Interview TeilnehmerIn, Juni 2012

1. Hat Sie das Gerät pDrive gestört?
2. Welche Erfahrungen haben Sie mit dem E-Kfz gemacht? (Vorgeschichte zu anderen Autos, neues Erlebnis?)
 - Wie war die Verwendung des E-Kfz?
 - Wie war das Fahrgefühl?
 - Wie wurden die Geräusche empfunden?: lauter/leiser?
3. Hat es Konflikte mit anderen VerkehrsteilnehmerInnen gegeben?
4. Welche Empfehlung (bezüglich Fahren und darüber hinaus) haben Sie?

VP-

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

10

berücksichtigt näherungsweise die frequenzabhängige Eigenschaften des Gehörs bei der Lautstärkenabbildung