

Experimentelle Erfahrungen mit der akustischen Wahrnehmbarkeit von Elektrofahrzeugen

Marco Conter¹, Martin Czuka¹, Martin Kriegisch¹

¹AIT Austrian Institute of Technology GmbH, A-1210 Wien,
E-Mail: Marco.Conter@ait.ac.at

Einleitung

Das vom österreichischen Verkehrssicherheitsfonds (VSF) geförderte Projekt *driveKustik* untersuchte von 2011 bis 2013 das Fahrverhalten und die akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen. Ziel des ersten Arbeitspakets dieser Studie war, die akustische Wahrnehmbarkeit von Elektrofahrzeugen mit jener von Verbrennungskraftfahrzeugen, insbesondere für ungeschützte Verkehrsteilnehmer wie beispielsweise sehbehinderte Personen, zu vergleichen. Dabei wurden die möglichen Unterschiede aufgezeigt, um aus akustischer Sicht potentielle Risiken für den Straßenverkehr frühzeitig erkennen zu können. Für die Untersuchung wurden kontrollierte Vorbeifahrten und Ausparkmanöver auf geeigneten Teststrecken akustisch aufgezeichnet und messtechnisch analysiert. Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt dabei in der Ermittlung der akustischen Wahrnehmungszeitpunkte durch einen Hörversuch. Dafür werden Hintergrundgeräusche repräsentativer Orte aufgenommen, die die akustische Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen beeinträchtigen können. Aus diesem generierten Aufnahmeportfolio werden im Labor reproduzierbare Verkehrssituationen akustisch nachgestellt und Versuchspersonen vorgespielt. Für eine möglichst realitätsnahe Aufnahme und Wiedergabe kommt ein binaurales Messsystem zum Einsatz. In diesem Beitrag werden die wichtigsten Ergebnisse der messtechnischen Analyse sowie vom Hörversuch zusammengefasst.

Motivation und Zielsetzung

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.

Für den Hörversuch wurden Vorbeifahrten mit konstanter Geschwindigkeit von 10, 20, 30 und 50 km/h sowie eine beschleunigte Vorbeifahrt ausgewählt, da bei diesen Geschwindigkeitsniveaus verstärkt Interaktionen zwischen Fahrzeuglenkerinnen und Fußgängerinnen anzunehmen sind. Zusätzlich wurde ein Ausparkmanöver untersucht.

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.

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.

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.

Zusammensetzung der Aufnahmen

Die geplanten Verkehrssituationen konnten insgesamt in drei verschiedene Gruppen eingeteilt werden:

- konstante Vorbeifahrt: das Fahrzeug fährt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 10, 20, 30, 40 oder 50 km/h 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.

Bei jeder Aufnahme handelte es sich um eine akustisch nachgestellte Gesamtsituation, die aus einer Verkehrssituation und einem Hintergrundgeräusch bestand. Kombiniert mit verschiedenen Fahrzeugen setzte sich eine Gesamtaufnahme zusammen.

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.

Alle Verkehrssituationsmessungen wurden mit dem binauralen Kunstkopfmesssystem HSU.III. 2 von Head Acoustics aufgenommen. Gleichzeitig kamen zwei geeichte Norsonic Messmikrophone vom Typ 1220 zum Einsatz.

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:

- Seitenstraße in einer ländlichen 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.

Durch Kombination der Aufnahmen der ausgewählten Fahrzeuge in den festgelegten Verkehrssituationen mit den verschiedenen Hintergrundgeräuschen ergaben sich insgesamt 36 unterschiedliche Stimuli. Damit die Konzentration der Probanden über den gesamten Versuch konstant gehalten werden konnte, wurde die Gesamtzeit des Hörversuches auf 30 Minuten festgelegt.

Zusammenfassung der Ergebnisse

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

- 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).
- 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.
- 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.

Die Ergebnisse nach Analyse des Hörversuches können wie folgt zusammengefasst werden:

- Von den untersuchten Fahrzeugen wurde das E-Kfz (Mitsubishi i-MiEV) generell später gehört als das V-Kfz (BMW X3).
- Ganz allgemein kann angemerkt werden, dass die Wahrnehmungsentfernung umso größer ist, je höher die gefahrene Geschwindigkeit ist.
- Bei hohem Umgebungsgeschwindigkeit 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).

- 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.
- 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 es sich um statistische Schwankungen.
- 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.
- 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.

Danksagung

Das Projekt drivEkustik wurde vom österreichischen Verkehrssicherheitsfonds (VSF) im Jahr 2011 gefördert. Die Organisation der Probanden wurde mit der Unterstützung vom Blinden- und Sehbehindertenverband Österreich (ÖBSV) und das Kuratorium für Verkehrssicherheit (KFV) durchgeführt.

Literatur

- [1] JASIC; A study on approach warning systems for hybrid vehicle noise in motor mode; 2009
- [2] NHTSA; Quieter cars and the safety of blind pedestrians: Phase I; 2010
- [3] Morgan, Miller; TRL Project Report PPR525, 2011
- [4] BAST, Glaeser, Schmidt, Geräuschwahrnehmung von Elektrofahrzeugen durch Blinde und Sehbehinderte, 2012
- [5] Endbericht „drivEkustik, Fahrverhalten in und akustische Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen“, Anhang A – Juli 2013
- [6] Bech S. et al.: Perceptual Audio Evaluation, 2006