



*An der Universität Duisburg-Essen hat man eine Studie zur Wahrnehmung von Elektromobilen durch blinde und sehbehinderte Personen durchgeführt. Dieser Beitrag stellt einige Ergebnisse vor. Weitere Forschungen über Assistenzsysteme zur Verkehrssicherheit stehen an.*

# Hörbare Vehikel

## Experimente zur Geräuschwahrnehmung von Elektroautos durch Handicap-Gruppen

Von Kathrin Dudenhöffer und Leonie Hause

**L**eise Autos als Zukunftsbild? Die ersten Prototypen und Serienmodelle von Elektroautos fahren bereits fast geräuschfrei. Vor allem bei geringen Geschwindigkeiten macht sich das fehlende Geräusch des Verbrennungsmotors bemerkbar: Lediglich das leise Summen des Elektromotors ist wahrnehmbar. Was für viele Anwohner verkehrsintensiver Straßen als Traum erscheint, ist für blinde und sehbehinderte Personen, aber auch ältere Mitbürgerinnen und -bürger sowie Kinder eine Gefahr. Das Motorengeräusch dient den betroffenen Personen nicht nur zur Warnung, sondern trägt ebenfalls einen wesentlichen Teil zur Orientierung im Straßenverkehr bei. Deshalb stehen Blinde und Sehbehinderte der Kommerzialisierung und Ausbreitung von Elektroautos mit großer Skepsis und Furcht gegenüber. In einer Studie am CAR-Institut der Universität Duisburg-Essen wurde diesem Problem nachgegangen. Folgende Fragen standen im Fokus: Wie nehmen Handicap-Gruppen Geräusche in Verkehrssituationen mit Elektrofahrzeugen wahr? Wie empfinden diese Personen ihre per-

sönliche Sicherheit bei Elektroautos im Straßenverkehr? Welche Gefahren sind für Handicap-Gruppen daraus ableitbar – und, wie sehen potenzielle Lösungsmöglichkeiten aus? Die Untersuchung wurde im Rahmen des *colognE-mobil*-Projektes durchgeführt. Sie bildet gleichzeitig die Grundlage für weiterführende Arbeiten der Universität Duisburg-Essen auf dem Gebiet der Sicherheit. Assistenzsysteme sollen in Zukunft erlauben, trotz Einschränkungen der Geräusch-Wahrnehmung von Elektroautos, die leisen Fahrzeuge für Handicap-Gruppen als auch für die Fahrzeuglenkerinnen und -lenker auf neue Art wahrnehmbar werden zu lassen.

In Deutschland leben 1,1 Millionen blinde und sehbehinderte Menschen<sup>1</sup>. Dies entspricht 1,3 Prozent der deutschen Bevölkerung. Zudem kommt es nach Berechnungen des statistischen Bundesamtes in Deutschland zu einer Verschiebung der Alterspyramide, verursacht durch eine sinkende Geburtsrate. Da mit zunehmendem Alter Seh- und Hörqualität nachlassen, ist zu erwarten, dass die Zahl der Menschen

mit Sehbeeinträchtigungen weiter steigt. Darüber hinaus sind Kinder als potenziell gefährdete Gruppe zu sehen. Im Jahr 2008 verunglückten auf deutschen Straßen insgesamt 25.714 Kinder im Alter von 6 bis 14 Jahren. Am häufigsten waren Pkw-Fahrer an Unfällen mit jungen Radfahrerinnen und -fahrern sowie Fußgängerinnen und Fußgängern (78 %) beteiligt<sup>2</sup>.

Moderne Autos verfügen bereits über Assistenzsysteme wie etwa Einparkhilfen, Abblendautomatik, Bremsassistenten, Abstandshalter und Nachtsichtgeräte. Die Assistenzsysteme sind überwiegend isoliert. Eine Aufgabe der Zukunft ist daher, die Vernetzung der Assistenten und damit die Entwicklung „schlauerer“ Assistenten zu entwickeln sowie die Vernetzung der Assistenten von unterschiedlichen Fahrzeugen (Car2X). Fahrzeuge werden durch Car2X-Technologien in die Lage versetzt, miteinander zu kommunizieren und Informationen auszutauschen. Zusätzlich sollte ein Informationsaustausch zwischen Verkehrsregelsystemen, wie etwa Ampeln, Verkehrsschildern

und sogar mit Fußgängerinnen und Fußgängern möglich sein. Greift die Stabilitätskontrolle etwa bei einem Fahrzeug auf nasser Straße ein, kann ein Assistenzsystem dafür sorgen, dass andere Fahrerinnen und Fahrer über die Stelle der Schleudergefahr gewarnt werden<sup>3</sup>. Diese Assistenzsysteme, die sich noch in der Forschungsphase befinden, tragen dazu bei, den oben beschriebenen Gefahren eines leisen Elektroautos entgegen zu wirken.

### Stand der Forschung zur Geräuschwahrnehmungen von Elektroautos

Erste Untersuchungen zur Geräuschwahrnehmung von Fahrzeugen mit elektrischen Antrieben wurden in Japan und den USA<sup>4</sup> nahezu zeitgleich mit den Experimenten der Universität Duisburg-Essen durchgeführt. Im Unterschied zur Universität Duisburg-Essen, die reine Elektroautos untersuchte, arbeiteten die japanischen und amerikanischen Forscher mit Hybridfahrzeugen, die im Elektromodus gefahren wurden. Die Akustikmessungen auf den Teststrecken zeigten, dass die Geräuschpegel der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren insgesamt höher waren als die der Hybridfahrzeuge. Zudem ergaben beide Studien, dass sich die Fahrzeuggeräusche in einem Intervall zwischen 15 bis 30 Stundenkilometern annähern. Ursache dafür ist das zunehmende Reifenabrollgeräusch bei höheren Geschwindigkeiten. Im Standbetrieb waren die Hybridfahrzeuge von Toyota zu leise, um wahrgenommen und aufgenommen werden zu können. Die beiden Studien zeigen, dass das Problem der Wahrnehmung von Elektrofahrzeugen vor allem im Bereich geringer Geschwindigkeiten bis etwa 30 Kilometern pro Stunde und im Stand liegt.

Der zweite Schritt der Studien in Japan und den USA mit Tests zur Geräuschwahrnehmung erfolgte in einer künstlichen Laborsituation.

Blinde und sehbehinderte Personen bekamen die Aufnahmen per Kopfhörer zu hören und sollten angeben, wann bestimmte Geräusche für sie wahrnehmbar waren. So wurden „Times-to-Vehicle-Arrivals“ (in Sekunden) gemessen. Die Hintergrundgeräusche wurden variiert. Die durchschnittliche Time-to-Vehicle-Arrival war bei den getesteten Hybridfahrzeugen signifikant kürzer als bei den Verbrennern<sup>5</sup>. Die kritische Geschwindigkeit, bis zu welcher Hybridfahrzeuge weniger gut wahrnehmbar sind, liegt nach JASIC (2009) bei 20 km/h nach NHTSA (2010) bei 30 km/h. Es wird diskutiert, dass das Gefahrenpotenzial vor allem bei geringen Geschwindigkeiten durch den Einbau eines künstlichen Geräusches reduziert werden kann. So präferierten die blinden Personen, die an der amerikanischen Studie teilgenommen haben, ein Geräusch, das dem charakteristischen Motorengeräusch eines Verbrenners in verschiedenen Fahrmodi ähnelt.

### Studien-Design des CAR-Institut Experiments

Das Ziel der CAR-Studie ist die Untersuchung von Geräuschwahr-

die Geräusche der Fahrzeuge am Versuchsort gemessen. Die Akustikmessungen erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Bauphysik sowie mit Unterstützung von HEAD acoustics. Im zweiten Teil der Studie wurden Geräuschwahrnehmungen und Sicherheitsbeurteilungen mittels eines experimentellen Designs in einer realen Straßenumgebung (kein Laborexperiment) gemessen. Im dritten Teil der Studie wurden die Ergebnisse mit blinden und sehbehinderten Personen diskutiert.

Im Vergleich zu den bisherigen Studien wurde der Versuchsaufbau modifiziert. Erstens wurden „reine“ Elektrofahrzeuge untersucht. Hybridfahrzeuge befinden sich nur bei sehr geringen Geschwindigkeiten im leisen Elektromodus, reine Elektrofahrzeuge, wie sie in dieser Studie verwendet werden, dagegen immer. Tabelle (1) zeigt die untersuchten Fahrzeuge.

Zweitens erweitert die Studie den Begriff der leisen Fahrzeuge. Auch moderne Fahrzeuge mit Ottomotoren werden zunehmend leiser. Drittens wurden neben blinden und sehbehinderten Personen sehende Personen jeden Alters einbezogen.

Modell	Antrieb	Anmerkungen	Studie
Smart Fortwo	Elektroantrieb (Battery Electric Vehicle, BEV)	Pressefahrzeug von Daimler zur Verfügung gestellt	2
Smart Fortwo	Verbrennungsmotor Diesel	Neuwertiger Mietwagen von SIXT	2
Smart Fortwo	Verbrennungsmotor Benzin	Neuer Mietwagen von SIXT	2
Peugeot Partner	Elektroantrieb (BEV)	Älteres BEV mit Bleibatterien aus dem Fuhrpark von RWE	1
Peugeot Partner	Verbrennungsmotor Benzin	Neuwagen über Peugeot	1
Transporter	Elektroantrieb (BEV)	Prototyp	1
Transporter	Verbrennungsmotor Diesel	Fuhrparkfahrzeug des Herstellers	1

(1) Fahrzeuge der Studien.

\*Hersteller anonymisiert

nehmung und Sicherheitsempfinden in Verkehrssituationen mit Elektrofahrzeugen sowie die Aufdeckung von Gefahrenpotenzialen bei deren Einsatz. Der erste Teil der Studie umfasst Akustikmessungen der Fahrzeuge. Diese wurden zum einen auf der Teststrecke Köln-Merkech durch den Projektpartner Ford durchgeführt. Zum anderen wurden

So soll nicht vernachlässigt werden, dass auch ältere Menschen oder Kinder ein Problem mit leisen Fahrzeugen haben können. Die breite Altersspanne der Probandinnen und Probanden war wichtig, um eventuelle Einflüsse des Alters auf die Geräuschwahrnehmung miteinzubeziehen<sup>6</sup>. Viertens wurde das Experiment in einer natürlichen Situation,



(2) Vorbeifahrt des Smart Fortwo Benzin.

Foto: Car-Institut



(3) Straßenquerung mit Hilfestellung.

Foto: Car-Institut

einem Wohngebiet, durchgeführt. Im Gegensatz zu den bisherigen Laborstudien sollte dies die Realitätsnähe fokussieren.

Da die Fahrzeuggröße einen Einfluss auf die Wahrnehmung hat<sup>7</sup>, wurden hier wie in vorherigen Studien zum Vergleich die jeweils baugleichen Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb in der

selben Ausstattung herangezogen. Es wurde darauf geachtet, dass die Fahrzeugpaare mit denselben Reifen ausgestattet waren. Zudem wurden unterschiedliche Aufbauarten (Kleinwagen, Kleintransporter, Transporter) untersucht. Die Farben der Fahrzeuge sollten vergleichbar oder zumindest neutral sein, um Farbeinflüsse zu vermeiden<sup>8</sup>. War auf einem Fahrzeug

ein Logo angebracht, wurden die Zwillinge-Fahrzeuge identisch abgelebt. Um Abstrahlungseffekte zu vermeiden, sollten die Fahrzeuge einzeln an den Probanden vorbeifahren. Diese Vorbeifahrten wurden von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern anschließend per Fragebogen bewertet. Für die Vorbeifahrten wurde eine konstante Geschwindigkeit von 30 Kilometern pro Stunde gewählt, da dies eine übliche Geschwindigkeit in Verkehrssituationen ist, wo Fußgängerinnen und Fußgänger ohne Hilfsmittel die Straße überqueren müssen. Zudem besteht bei 30 Stundenkilometern ein kritischer Punkt, da bei höheren Geschwindigkeiten die Reifenabrollgeräusche überwiegen.

Um Sequenzeffekten vorzubeugen, wurde die Reihenfolge der Fahrzeuge für die verschiedenen Teilnehmergruppen über einen Messwiederholungsplan festgelegt (Balancierung). Der erste Durchgang bildete dabei die Baseline zur Anpassung des Wissensstandes und des Erwartungsniveaus der Teilnehmer und wurde nicht in die Auswertung mit aufgenommen. Die Reihenfolge der Fahrzeuge war den Teilnehmerinnen und Teilnehmern nicht bekannt. Zudem wussten die Probandinnen und Probanden im Vorfeld nicht, dass es sich bei der Studie um eine Untersuchung von Elektrofahrzeugen handelt. Das Thema wurde grob als „Fußgängersicherheit im Straßenverkehr“ bezeichnet. Nach jeder Vorbeifahrt beziehungsweise nach jedem Überholvorgang beantworteten die Teilnehmer einen kurzen Fragebogen. Den blinden und sehbehinderten Personen wurde dabei Hilfestellung geleistet. Die Abbildungen (2) bis (4) zeigen den Ablauf der zweiten Experiment-Studie im November 2010.

### Akustikmessungen beim CAR-Experiment

Die Akustikmessungen fanden auf der Außengeräuschmessstrecke der Ford-Werke in Köln-Merkenich statt. Die Messkette gemäß ISO 362



(4) Ausfüllen der Fragebögen mit Unterstützung.  
Foto: CAR-Institut

umfasste mobile Mikrone B&K 4188 in 7,5 Metern Entfernung. Es wurde jeweils der Mittelwert der maximalen Pegel LHS und RHS betrachtet. Für alle Fahrten wurde die Geschwindigkeit an der Mikrofonlinie ausgewertet. Diese entspricht der mittleren Geschwindigkeit während der Testfahrt. Folgende drei Betriebsbedingungen wurden gemessen:

- Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit
- Vor Einfahrt in die Strecke wird das Gaspedal losgelassen und die Fahrstufe N eingestellt beziehungsweise ausgekuppelt (Rollgeräusche)
- Nach Einfahrt in die Teststrecke wird Vollgas gefahren.

#### *Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit*

Diese Betriebsbedingung entspricht dem Mitfahren im fließenden Verkehr. Die Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb zeigten das übliche Verhalten mit Geräuschpegeln, die in den höheren Gängen aufgrund der dann niedrigeren Motordrehzahlen abnehmen und sich dem Reifenrollgeräusch annähern. Die Geräuschpegel der Fahrzeuge waren vergleichbar. Beim Smart BEV und Peugeot BEV unterschieden sich die Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit kaum von den Rollgeräuschen, da die Antriebsgeräusche konventioneller Fahrzeuge nicht

vorhanden waren. Abbildung (5) zeigt, dass die Geräuschkurven der Fahrzeuge ineinander fallen; Ausnahmen stellen die Verbrenner im zweiten Gang dar. Beim Smart BEV war zwar ein Pfeifton deutlich hörbar, dieser wirkt aber kaum auf den mit dem A-Filter bewerteten Pegel aus. Der Smart Benzin war im dritten Gang fast so leise wie der Smart BEV. Ursache dafür ist in der regennassen Fahrbahn zu sehen, wodurch die Pegel-Unterschiede zwischen den Fahrzeugen geringer ausfallen.

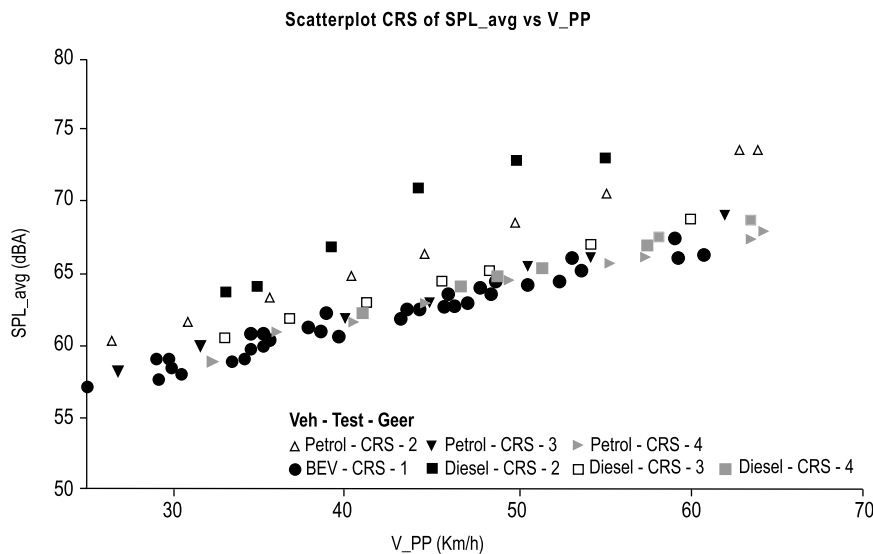
Der Transporter BEV zeigte bei 30 Stundenkilometern ein ungewöhnliches Umschalten auf ca. 5 dB niedrigere Werte. Durch diese Unregelmäßigkeiten der Geräuschpegel wurde für den ersten Durchlauf des Experiments eine Geschwindigkeit von 40 Kilometern pro Stunde gewählt. Folgende Pegel wurden für die Fahrbedingungen (Fahrt bei konstanter Geschwindigkeit) beim Experiment auf der Teststrecke gemessen (Abb. 6).

#### *Rollgeräusche*

Bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor lässt sich durch Treten der Kupplung der Antriebsstrang von den Rädern trennen, um die reinen Rollgeräusche zu messen. Für BEV gilt das nicht, da der Antriebsstrang beim Rollen mit gedreht wird. Mit Ausnahme des BEV-Transporters unterschieden sich die reinen Reifengeräusche kaum.

#### *Fahrt mit Vollgas*

Die beschleunigte Vorbeifahrt betont die Motorengeräusche, da der Antriebsstrang unter Vollast läuft. Die Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb zeigten wieder das übliche Verhalten mit Geräuschpegeln, die in den höheren Gängen aufgrund der dann niedrigeren Motordrehzahlen abnehmen. An der Geräuschkurve des Smart BEV war zu erkennen, dass unter Last ein Grundgeräusch von etwa 64 dB(A) (Lautstärke) auftritt, das ab 45 km/h zunehmend



(5) Akustikmessungen der Smart-Fahrzeuge an der Teststrecke.

vom Reifengeräusch maskiert wird. Der Peugeot BEV war leiser als der baugleiche Verbrenner im 4. Gang. Der Transporter BEV verhielt sich wieder untypisch.

Wie bereits angemerkt, handelte es sich bei dem Transporter um einen nicht serienreifen Prototypen. Untersuchungen, die durch die Akustikmessungen angeregt wurden, ergaben, dass ein Fehler in der Antriebswelle ein Fahrzeug-untypisches, „pfeifendes“ Geräusch hervorgerufen hatte. Der Fehler konnte nach dieser Untersuchung eliminiert werden.

**Akustikmessungen am Versuchsort**

Die Akustikmessungen am Versuchsort dienten in erster Linie der Dokumentation der Geräusche während der Durchführung der Experiment-Studie. Da Geräuschmessungen und -wahrnehmungen in bisherigen Studien in Laborsituationen durchgeführt wurden, sollten diese Messungen helfen, die Ergebnisse vergleichbar zu machen. So enthalten die Messungen auch Störgeräusche, die durch die örtlich vorhandenen Geräuschquellen verursacht wurden (vgl. Abb. 7).

Versuchsort war zum einen ein Wohngebiet in Nähe der Universität Duisburg-Essen. Hier wurde

eine Einbahnstraße mit geringem Verkehrsaufkommen gewählt. An beiden Straßenrändern parkten Autos und die Asphaltdecke war neu und ohne Erhaltungsmaßnahmen. Für die Radfahrer wurde ein Versuchsort mit einer längeren Fahrstrecke auf einem Freizeitgelände in Duisburg gewählt. Im ersten Durchlauf der Experiment-Studie wurden die Begleitmessungen durch das Fraunhofer Institut für Bauphysik durchgeführt<sup>9</sup>, im zweiten Durchlauf durch das CAR-Institut selber<sup>10</sup>. Die Messungen orientierten sich an der Position einer Fußgängerin/eines Fußgängers, der die Straße überqueren möchte.

**Die Ergebnisse des Experiments**

Die Teilnehmer der Experiment-Studien wurden über Flyer, Blin-

den- und Sehbehindertenverbände, Seniorentreffs sowie die Universität Duisburg-Essen rekrutiert. Insgesamt konnten 111 Probandinnen und Probanden gewonnen werden. Abbildung (7) zeigt die Struktur der Teilnehmerinnen und Teilnehmer der beiden Studiendurchläufe.

Zur Datenauswertung wurden multivariate Varianzanalysen verwendet<sup>11</sup>. Unterschiede zwischen den Gruppen wurden über Mittelwertvergleiche für unabhängige Stichproben via t-Test untersucht. Die Erfahrungen mit Elektroautos war in beiden Probandengruppen gering. Lediglich acht Prozent der Teilnehmerinnen und Teilnehmer waren zuvor mit einem Elektroauto gefahren.

**Sicherheit im Straßenverkehr**

Insgesamt gaben die Teilnehmerinnen und Teilnehmer an, sich im Straßenverkehr eher sicher zu fühlen. Allerdings stellen bestimmte Wetterbedingungen ein erhebliches Gefahrenpotenzial für Blinde und Sehbehinderte dar – wie bei Schnee, starkem Wind sowie bei Regen und Nässe. Da sich Blinde und Sehbehinderte an Fahrzeuggeräuschen im Straßenverkehr orientieren, sind diese für sie besonders wichtig. Gefährlich werden dementsprechend Situationen eingeschätzt, in denen sehr laute oder sehr leise Geräusche eine Orientierung im Straßenverkehr verhindern, wie zum Beispiel Motorräder, Straßenbahnen, Fahrräder und Inlineskater.

Fahrzeug	Testbedingung	Pegel	Studie
Smart Fortwo Diesel	30 km/h (2. Gang)	ca. 62,5 dB(A)	2
Smart Fortwo Benzin	30 km/h (2. Gang)	ca. 61,5 dB(A)	2
Smart Fortwo BEV	30 km/h	ca. 58,0 dB(A)	2
Peugeot Partner Benzin	40 km/h (2. Gang)	ca. 65,0 dB(A)	1
Peugeot Partner BEV	40 km/h	ca. 60,0 dB(A)	1
Transporter Diesel	40 km/h (3. Gang)	ca. 65,0 dB(A)	1
Transporter BEV	40 km/h	ca. 65,0 dB(A)	1

(6) Akustikmessungen der Testbedingungen.

## Geräuschwahrnehmung

Die Bewertung der Fahrzeuggeräusche wurde über ein semantisches Differential gemessen. Die Elektrofahrzeuge von Smart und Peugeot wurden signifikant leiser wahrgenommen als ihre Zwillinge. Wie die Akustikmessungen schon vermuten ließen, wurde der BEV-Transporter nicht leiser wahrgenommen als der Transporter mit Verbrennungsmotor. Alle drei Elektrofahrzeuge wurden im Vergleich zu ihren Zwillingen signifikant einzigartiger eingestuft.

Der Transporter zeigte wie auch bei der Akustikmessung Eigenheiten. Interessantes Ergebnis war, dass auch der Smart Benzin leiser bewertet wurde als der Smart Diesel. Dies bestätigte sich in der offenen Bewertung: Viele Befragte kennzeichneten den Benziner als leise, zwei konnten kein Motorengeräusch hören und ein Befragter identifizierte ihn fehlerhaft als Elektrofahrzeug. Die Annahme, dass auch Fahrzeuge mit Ottomotor immer leiser wahrgenommen werden, scheint damit bestätigt.

Merkmal	Studie 1 (Juli 2010)	Studie 2 (November 2010)
Anzahl	47 Personen	64 Personen
Gruppe	70 % Fußgänger, 30% Radfahrer/ Inlineskater	100 % Fußgänger
Geschlecht	47% Frauen, 53% Männer	24% Frauen, 76% Männer
Alter	14-94 Jahre (im Durchschnitt 52 Jahre)	10-71 Jahre (im Durchschnitt 34 Jahre)
Senioren	30% über 65 Jahre	5% über 65 Jahre
Sehbehinderte	43% blinde/ sehbehinderte Personen	9% blinde/ sehbehinderte Personen
Gehbehinderte	6% Rollstuhlfahrer	-
Hörvermögen	74% normal hörend, 22% schwerhörig, 13% mit Hörgerät	81% normal hörend, 16% schwerhörig, 5% mit Hörgerät

(7) Stichprobenbeschreibung.

In einer offenen Bewertung fielen Begriffe wie surrend und pfeifend für den Smart BEV und den Peugeot BEV. Das ungewöhnliche, durch die Antriebswelle verursachte Geräusch des Transporters wurde zudem mit Begriffen wie turbinenhaft und hochfrequent beschrieben. Im semantischen Differential wurde der Transporter BEV signifikant als metallischer und höher bewertet. Zudem waren die Tendenzen der BEV von Smart und Peugeot in Richtung der Begriffe schwach, gedämpft und weich signifikant. Obwohl im zweiten Durchlauf des Experiments die Straßen nass waren und die Abrollgeräusche intensiver wahrgenommen wurden, zeigen die semantischen Differentiale starke Übereinstimmungen. Aufgrund dieser ähnlichen Bewertungen kann angenommen werden, dass diese beiden Fahrzeuge ein „typisches Elektrogeräusch“ repräsentieren.

## Sicherheitsbeurteilung

30 Prozent der Befragten gaben an, dass der Peugeot Partner BEV unerwartet auftauchte (signifikant mehr als beim konventionellen Zwilling), zwei Prozent waren unsicher. Für den Smart BEV und den Transporter BEV waren diese Ergebnisse nicht signifikant. Von den Personen, für die der Peugeot BEV unerwartet auftauchte, waren 79 Prozent sehbehindert oder blind. Dieses Ergebnis lässt die Vermutung zu, dass die leisen Fahrzeuggeräusche bei einer bestimmten Bevölkerungsgruppe tatsächlich zu einer geringeren Wahrnehmung des Autos im Straßenverkehr führen. Bei der offenen Bewertung dieser Verkehrssituationen sagten die Teilnehmer, dass der Peugeot BEV schlechter einschätzbar wäre und die Reaktionszeiten kürzer wären. Die erwartete Unfallwahrscheinlichkeit

war beim Transporter BEV mit 14 Prozent am höchsten. Die Differenz zum Transporter Diesel war signifikant. Hier erwarten die Befragten im Durchschnitt, dass in acht von 100 Fällen ein Fußgänger verletzt wird. Signifikant sind diese Werte auch für den Smart BEV (11 %) im Vergleich zum Smart Diesel (4 %). Dieses Ergebnis lässt den Schluss zu, dass ungewöhnliche Fahrzeug-Geräusche (wie die der Elektrofahrzeuge im Gegensatz zu den Verbrennern) die Menschen im Straßenverkehr verunsichern.

Angst vor einem Unfall hatten signifikant mehr Probanden in den Verkehrssituationen mit dem Smart BEV und mit dem Smart Benzin jeweils im Vergleich zum Dieselfahrzeug (je 7 %). Beim BEV war die Hälfte dieser Personen schwerhörig ohne ein Hörgerät zu benutzen. Für diese Menschen können leise Elektroautos eine Gefahr darstellen. Hier zeigt sich aber auch wieder, dass leise Benzin-Fahrzeuge ebenfalls eine Gefahr darstellen können. Insgesamt werden die Verkehrssituationen, an denen die Probanden teilgenommen haben, als neutral bis eher sicher eingestuft. Beim Smart BEV wurde die Situation für sich selbst und für andere signifikant gefährlicher eingeschätzt als beim Diesel-Zwilling. Beim Peugeot BEV war die Differenz zum Verbrenner nur bei der Sicherheitseinschätzung für andere signifikant.

## Diskussion der Ergebnisse mit blinden und sehbehinderten Personen

Im Rahmen der Tagung der Fachgruppe „Umwelt, Verkehr und Mobilität“ der Blinden- und Sehbehindertenvereine in Nordrhein-Westfalen (BSVNRW) führte das CAR-Institut der Universität Duisburg-Essen mit den Teilnehmern eine Gruppendiskussion durch.

Die Gruppendiskussion machte deutlich, dass die betroffenen Personen die Verbreitung der Elektroautos sehr kritisch sehen und Motoren-

geräusche für zwingend notwendig halten. Die anwesenden Blinden und Sehbehinderten fürchteten, dass sie durch lautlose Fahrzeuge so sehr in ihrem Bewegungsmuster eingeschränkt werden, dass eine Teilhabe am öffentlichen Leben nicht mehr oder nur eingeschränkt möglich ist. Aus diesem Grund fordert der BSVNRW wie auch andere Blindenverbände aktiv, lautlose Fahrzeuge auch für Blinde wahrnehmbar zu machen. Die aktuellen Bestrebungen der Politik und Autohersteller gehen dahin, die Fahrzeuge mit einem künstlich erzeugten Signal auszustatten, das in den gefährlichen Geschwindigkeiten (geringe Geschwindigkeiten bis etwa 30 km/h, ohne starke Reifenabrollgeräusche) sein Kommen mit einem Ton ankündigt. Jedoch stellt ein einfaches akustisches Warnsignal nicht die perfekte Lösung dar.

Zum einen ist es den blinden und sehbehinderten Personen äußerst wichtig, die Bewegung des Fahrzeuges aufgrund der Geräuschkulisse verfolgen zu können. Laut Aussage der Teilnehmerinnen und Teilnehmer ist ein gewöhnliches, traditionelles Motorengeräusch wesentlich besser einschätzbar als ungewöhnliche und neuartige Geräusche. So sind selbst die Geräusche einer fahrenden Straßenbahn für die Teilnehmer deutlich schwerer einzuschätzen als die eines Autos mit Verbrennungsmotor. Zum anderen dienen stehende, aber durch Motorgeräusch wahrnehmbare Fahrzeuge an einer Ampel den Blinden und Sehbehinderten als Orientierungshilfe. So erkennen sie, wo eine Überquerung möglich ist und können Kreuzungsbereiche besser einschätzen. Eine Start-Stopp-Automatik, die das Fahrzeug an der Ampel kurzzeitig ausschaltet und damit geräuschlos macht, wird hier ebenfalls als Gefahr gesehen. Als problematisch werden zudem Kreuzungsbereiche mit Kreisverkehren beschrieben. In dieser Verkehrssituation ist eine Einschätzung der Gefahrensituation am Überquerungsweg aufgrund der weiteren Fahrzeuge, die im Kreisver-

kehr fahren, nur sehr schwer möglich. Verbunden mit lautlosen beziehungsweise ungewöhnlichen Geräuschen wird diese Situation vermutlich deutlich verschärft werden.

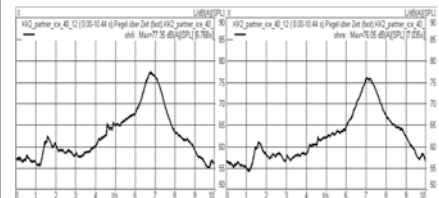
Erste Erfahrungen mit einem Linienbus, der mit Wasserstoff angetrieben wird, zeigen, dass durch das fehlende Motorengeräusch der Einstieg in den entsprechenden Bus um ein vielfaches erschwert wird. Die Halteposition kann nicht mehr richtig eingeschätzt werden, was im schlimmsten Fall dazu führt, dass der wartende Passagier an einer falschen Stelle steht und letztendlich den Bus verpasst. Als ähnliches Beispiel wurde das Eintreffen einer U-Bahn beschrieben. Hält die U-Bahn bereits an der Station, wird sie von den Betroffenen nicht wahrgenommen und das mögliche Resultat ist hier ebenfalls die verpasste U-Bahn. In diesen Fällen sind die Blinden und Sehbehinderten auf die Hilfestellung anderer Personen angewiesen. Zum aktuellen Zeitpunkt sind diese Ereignisse noch Einzelfälle. Ein wachsender Anteil elektrifizierter Fahrzeuge wird diese Situationen vermutlich vervielfachen. Dies führt dazu, dass blinde und sehbehinderte Personen in ihrer persönlichen Bewegungsfreiheit stark eingeschränkt werden und ihre Selbstständigkeit deutlich gemindert wird. Die Ergebnisse der Diskussion verdeutlichen die Notwendigkeit des Einsatzes eines intelligenten Warngeräusches oder Warnsystems.

### Experiment-Ergebnisse und Ausblick

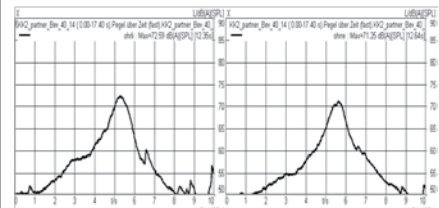
Das vorgestellte Experiment ist eine der ersten Studien zur Sicherheit von Fußgängerinnen und Fußgängern, die reine Elektrofahrzeuge in den Versuchsaufbau integriert. Die Untersuchung zeigt, dass das Gefahrenpotenzial in Verkehrssituationen mit Elektrofahrzeugen nicht zu unterschätzen ist. Geräuschwahrnehmung und Sicherheitsbeurteilung korrelieren mit den gefahrenen Geschwindigkeiten. Selbst bei Geschwindigkeiten von

30 km/h beziehungsweise 40 km/h und unterschiedlichen Witterungsbedingungen ist der Unterschied zwischen Elektrofahrzeug und konventionellem Fahrzeug wahrnehmbar. Gleichzeitig zeigt das Experiment, dass künstliche Geräusche, wie es hier bei einem Fahrzeug fehlerbedingt

Peugeot Partner Benzin, 40km/h, konstant



Peugeot Partner BEV, 40km/h, konstant



(8) Akustikmessungen am Versuchsort.

der Fall war, nur bedingt hilfreich sind, da vor allem blinde und sehbehinderte Personen solche Fahrzeuge schwer einschätzen können. Nicht der Geräuschpegel ist das alles entscheidende Kriterium, sondern die Art des Geräusches wird mit Sicherheit assoziiert.

Der Fortschritt des geräuschlosen Fahrens der Elektroautos hat also nicht nur Vorteile. Wegen der möglichen Gefahrenpotenziale hat der Gesetzgeber in den USA sich dazu entschlossen, für Hybrid-Fahrzeuge wie den Toyota Prius ein künstliches Geräusch zu fordern. Nach Einschätzung des CAR-Instituts ist dies das falsche Signal. Statt geräuschlose Fahrzeuge – wie Elektroautos – künstlich laut zu machen, sollte moderne Ingenieurtechnik dazu verwendet werden, andere Wahrnehmungsinstrumente zu nutzen. In der Fortsetzung des Experiments wird daran gearbeitet, ein Assistenten-System zu generieren, das Blinde oder Handicap-Gruppen für das Elektroauto wahrnehmbar macht und umgekehrt, jedoch ohne neue künstliche Geräusche. Durch Assis-





tenzsysteme dieser Art lassen sich die Vorteile der Elektroautos in Städten nutzen und Verkehrsgeräusche deutlich reduzieren. Gleichzeitig erlauben Assistenten deutlich höhere Sicherheitsniveaus als Geräusche, da der Assistent das Fahrverhalten des Fahrzeugs in kritischen Situationen zusätzlich optimiert. Für den Fahrer eines leisen Autos wird die Handicap-Gruppe schneller und präziser erkennbar und so die Sicherheit im Straßenverkehr aufrecht erhalten oder sogar erhöht.

---

### Summary

This study analyzes people's sound perceptions and sense of safety in traffic situations with electric cars and aims to discover the risk potential of electrified road traffic. The focus is on people with disabilities; especially blind and visually impaired individuals. Integrated into the study were three pairs of vehicles, each consisting of a BEV (battery electric vehicle) and one or two identical vehicles with ICE (internal combustion engine). The first part of this study covers acoustic measures of the vehicles, and research was conducted both at a dedicated vehicle measurement site and at the test location. Second part covers sound perceptions and safety estimations via experimental design and questionnaires. In the third part the results are discussed with blind and visually impaired people. The main finding is that there exist problems of perception for certain quiet electric vehicles, even for speeds of 30 to 40 km/h and different weather conditions, because those cars are too quiet to be heard by pedestrians. A solution could be a natural ICE-sound or a kind of intelligent warning system.

---

### Anmerkungen

- 1) Blindenmuseum Berlin 2009
- 2) Destatis 2009
- 3) vgl. u.a. Ziegler et. al in diesem Heft
- 4) JASIC 2009, NHTSA 2010
- 5) vgl. auch Rosenblum 2008
- 6) vgl. Bernhoft & Carstensen 2008, Lobjois & Cavallo 2007, Oxley et al. 2005
- 7) Höger & Greifenstein 1988
- 8) vgl. Patsouras et al. 2002
- 9) Die Messausrüstung bestand aus zwei binauralen Kunstköpfen (HEAD HMS III digital), SQLab (Heim, DATARec3-Serie) und einem HEAD Recorder und Artemis V11 (Aufnahme-/Analysesoftware, HEAD Acoustics).
- 10) mittels eines Handhelds von HEAD Acoustics
- 11) Kontrolliert für Gruppe (Fußgänger – Radfahrer), Sehbehinderung (nicht sehbehindert – sehbehindert oder blind), Schwerhörigkeit (normal – schwerhörig ohne Hörgerät)

### Literatur

- Bernhoft, I. M., Carstensen, G.: Preferences and behavior of pedestrians and cyclists by age and gender, in: *Transportation Research* 2008/11, 83–95.
- Blindenmuseum Berlin: Statistische Angaben zu Blindheit, Sehbehinderung und Punktschriftnutzung, <http://www.blindenmuseum-berlin.de/uploads/media/statistik-erlaeuterungen.pdf>, 2009.
- Destatis: Achtung! Schulanfang erhöht die Unfallgefahr für Kinder, [http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/STATmagazin/Verkehr/2009\\_09/2009\\_09Unfallgefahr\\_templateId=renderPrint.psm1](http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/STATmagazin/Verkehr/2009_09/2009_09Unfallgefahr_templateId=renderPrint.psm1), 2009.
- Höger, R., Greifenstein, P.: Zum Einfluss der Größe von Lastkraftwagen auf deren wahrgenommene Lautheit, in: *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 1988/35, 128–131.
- Japanese Automobile Standards Internationalization Centre: A Study on Approach Warning Systems for Hybrid Vehicle in Motor Mode, presented at the 49th World Forum for Harmonization of Vehicle Regulation (WP.29) GRB Working Group on Noise, February 16–18, 2009, Document Number: GRB-49–10.
- Lobjois, R., Cavallo, V.: Age-related differences in street-crossing decisions, in: *Accident analysis & prevention*, 2007/39, 934–943.
- NHTSA: Quieter Cars and the Safety of Blind Pedestrians, National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, 2010.
- Oxley, J. A., Ihsen, E., Fildes, B. N., Charlton, J. L.: Crossing roads safely: An experimental study of age differences in gap selection by pedestrians, in: *Accident analysis & prevention*, 2005/37, 962–971.
- Patsouras, Ch., Filippou, T., Fastl H., Patsouras D., Pfaffelhuber, K. (2002): Semantisches Differential versus psychoakustische Empfindungsgrößen bei Außenstandsge-

räuschen von Fahrzeugen der oberen Mittelklasse, in: *Fortschritte der Akustik – DAGA 2002*. Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., Berlin.

– Rosenblum, L.: *Sound Measurement and Mobility*, 53–65. Transcript of the Quiet Cars Public Meeting on June 23, 2008. Docket ID NHTSA-2008-0108-0023. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

### Die Autorinnen

Kathrin Dudenhöffer studierte von 2004 bis 2009 Kommunikationswissenschaft (M.A.) und Betriebswirtschaftslehre mit Schwerpunkt Unternehmensführung und Marketing (B.Sc.) an der Universität München. Seit 2010 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für A-BWL und Automobilwirtschaft der Universität Duisburg-Essen; ihre Forschungsthemen sind: Sicherheit im Straßenverkehr bei Einsatz von Elektroautos, Akzeptanz von Elektromobilität und Ökologisches Fuhrparkmanagement.

Leonie Hause studierte von 2004 bis 2008 Wirtschaftsingenieurwesen an der Fachhochschule Gelsenkirchen. Seit 2008 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für A-BWL und Automobilwirtschaft (CAR-Institut) der Universität Duisburg-Essen tätig. Ihre Forschungsthemen sind: Sicherheit im elektrifizierten Straßenverkehr und Akzeptanz von Elektromobilität sowie Ökologie-Innovationen der Automobilindustrie im Rahmen des ÖkoGlobe-Instituts.