

Lärmauswirkungen von Acoustic Vehicle Alerting Systems (AVAS) bei Elektro- und Hybridfahrzeugen

Ihre Kontaktperson: Vincent Roth
vincent.roth@grolimund-partner.ch, D 031 356 32 27

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)
A5322
15. Januar 2019

Impressum

Projektteam

Emanuel Hammer
Erik Bühlmann
Vincent Roth

Version	Datum	Autoren	Beschrieb	Verteiler
V 1.0	15.01.2019	E. Hammer	Rohentwurf	BAFU

Zusammenfassung

Mit der wachsenden Anzahl an Elektro- und Hybridfahrzeugen auf Schweizer Strassen wird die Frage zunehmend wichtiger, inwiefern diese Fahrzeuge im Einklang mit den Verkehrsteilnehmern interagieren. Die Europäische Union sah einen zwingenden Handlungsbedarf und verpflichtete die Hersteller mittels Verordnung ab 22.09.2019 eine künstliche Geräuscherzeugung einzubauen für Geschwindigkeiten zwischen Anfahren und ca. 20 km/h. Hinsichtlich des Lärmschutzes ist es wichtig, dieses AVAS nur bei sicherheitsrelevanten Szenarien einzusetzen, so dass dies nicht zu neuen Problemen für den Lärmschutz führt (z.B. in städtischen Situationen oder bei Tempo30 als Lärmschutzmassnahme).

Um die Lärmäuswirkungen der Acoustic Vehicle Alert Systems (AVAS) bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen ermitteln zu können, wurden Fahrzeuge unterschiedlicher Fahrzeugkategorien auf einem Testgelände mit verschiedenen Fahrsituationen und verschiedenen AVAS erfasst. Um eine repräsentative Fahrzeugflotte in dieser Studie zu erfassen, wurde in den Fahrzeugkategorien Kleinwagen, untere Mittelklasse, obere Mittelklasse und Luxusklasse Fahrzeuge mit Elektro- sowie Verbrennungsmotor ausgewählt. Der Vergleich der Lärmemissionen zwischen elektrischem Antrieb und Antrieb mit Verbrennungsmotor ergab Differenzen im Frequenzbereich 80 und 200 Hz sowie 630 und 1'600 Hz. Ab einer Geschwindigkeit von 30 km/h gab es kaum Abweichungen zwischen den unterschiedlichen Antrieben; das Rollgeräusch dominiert somit ab 20 bis 30 km/h. Es zeigte sich, dass bei tiefen Geschwindigkeiten die Lärmemissionen mit eingeschaltetem AVAS bis zu 9 dB lauter waren als mit ausgeschaltetem AVAS. Zudem sind die Lärmemissionen mit eingeschaltetem AVAS um ca. 3 bis 7 dB bei den tiefen Geschwindigkeiten lauter als die sonROAD18 Modellierungen für ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor.

Aus dieser von Grolimund + Partner AG durchgeführte Studie entstanden folgende Empfehlungen:

- AVAS soll nur eingesetzt werden, wenn die Lärmemissionen des Fahrzeuges mit Elektroantrieb leiser sind als die der Fahrzeuges mit Verbrennungsmotor
- Die Lärmemissionen des Fahrzeuges mit Elektromotor mit eingeschaltetem AVAS sollten die Lärmemissionen eines ähnlichen Fahrzeuges mit Verbrennungsmotor nicht übersteigen.
- Lästige (impulshaltig und zu hohe Frequenzen) der AVAS vermeiden
- Ab ca. 20 bis 30 km/h kein AVAS mehr einsetzen, da Rollgeräusch bereits deutlich wahrnehmbar sind

Inhalt

1. Ausgangslage.....	5
2. Übersicht AVAS in heutigen Fahrzeugen	5
3. Messkampagne	8
3.1 Fahrzeugflotte.....	8
3.2 Fahrsituationen.....	9
3.3 getestete AVAS Samples	10
4. Resultate	11
4.1 Vergleich der Lärmauswirkungen Antrieb elektrisch und mit Verbrennungsmotor.....	11
4.2 Akustische Eigenschaften der AVAS.....	13
4.3 Vergleich der Lärmauswirkungen beim Einsatz vom AVAS in versch. Fahrsituationen	14
5. Schlussfolgerungen.....	17
Literaturverzeichnis	18

Anhang

I Übersicht AVAS in heutigen Fahrzeugen	19
II Rohdaten Fahrszenarien bei Messkampagne	20
III Resultate Messkampagne pro Fahrzeug.....	22
IV Inputparameter für sonROAD18 Modellierung.....	32

1. Ausgangslage

Mit der wachsenden Anzahl an Elektro- und Hybridfahrzeugen auf Schweizer Strassen wird die Frage, inwiefern diese Fahrzeuge im Einklang mit den Verkehrsteilnehmern interagieren, zunehmend wichtiger. Eine Studie von Grolimund + Partner AG belegt, dass die Lärmemissionen von Elektrofahrzeugen bei geringen Geschwindigkeiten geringer sind, als dies bei Motorfahrzeugen gleicher Kategorie der Fall ist (Hammer et al., 2016). Die Europäische Union sah einen zwingenden Handlungsbedarf und verpflichtete die Hersteller mittels Verordnung ab 22.09.2019 eine künstliche Geräuscherzeugung einzubauen für Geschwindigkeiten zwischen Anfahren und ca. 20 km/h. Hinsichtlich des Lärmschutzes ist es wichtig, dieses AVAS nur bei sicherheitsrelevanten Szenarien einzusetzen, so dass dies nicht zu neuen Problemen im Lärmschutz führt (z.B. in städtischen Situationen oder bei Tempo30 als Lärmschutzmassnahme). Es gilt also abzuwagen, für welche Geschwindigkeiten, bzw. Fahrszenarien, ein AVAS sinnvoll ist um schwächere Verkehrsteilnehmer, wie Passanten oder Radfahrer, vor einem Sicherheitsrisiko zu schützen aber auch die Anliegen und Bestrebungen des Lärmschutzes nicht zu missachten. Da das Gesetz vorsieht das AVAS vom Nutzer per Mechanismus ein-/auszuschalten, erachten wir es als sinnvoll Grundlagen zu schaffen um abschätzen zu können in welchen Situationen ein AVAS lärm- und sicherheitstechnisch sinnvoll ist, bzw. inwiefern und wo ungewünschte Lärmäuswirkungen entstehen könnten.

2. Übersicht AVAS in heutigen Fahrzeugen

Acoustical Vehicle Alert Systems (AVAS) werden noch relativ selten serienmäßig in Elektrofahrzeuge eingebaut (Stand: 2018). Bei einigen Elektro- sowie auch Hybridfahrzeugen sind AVAS eingebaut, welche automatisch bei Einschalten des Fahrzeuges eingeschaltet sind. Oft lassen sich die AVAS aber durch Betätigen eines Schalters ausschalten. Die in der Schweiz meistverbreiteten Elektrofahrzeuge (rein batteriebetrieben) mit serienmässiger Ausstattung eines AVAS sind der Nissan Leaf und der Renault Zoe. Seit 2018 neu auf dem Markt und ebenfalls mit einem AVAS ausgerüstet ist der Jaguar i-Pace.

Die Minimalanforderungen an die Pegel pro Frequenz der AVAS sind durch die EU Verordnung (Europäisches Parlament, 2014) festgelegt und treten ab 1. Juli 2019 in Kraft. Tabelle 1 zeigt dies Anforderungen für die beiden Geschwindigkeiten 10 und 20 km/h sowie für die Rückwärtsfahrt (hierbei wird lediglich ein minimaler Gesamtpiegel verlangt).

Tabelle 1: Minimale Anforderung an die AVAS von Elektro- und Hybridfahrzeugen bei Geschwindigkeiten von 10 und 20 km/h sowie bei Rückwärtsfahrt.

Minimum Sound Level Requirements in dB(A)				
Frequency in Hz	Constant Speed Test paragraph 3.3.2. (10 km/h)	Constant Speed Test paragraph 3.3.2. (20 km/h)	Reversing Test paragraph 3.3.3.	
Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5
Overall	50	56	47	
1/3rd Octave Bands				
160	45	50		
200	44	49		
250	43	48		
315	44	49		
400	45	50		
500	45	50		
630	46	51		
800	46	51		
1,000	46	51		
1,250	46	51		
1,600	44	49		
2,000	42	47		
2,500	39	44		
3,150	36	41		
4,000	34	39		
5,000	31	36		

Tabelle 2 zeigt die in der Schweiz verkehrenden Fahrzeugmodelle mit rein elektrischem Antrieb (BEV) und mit Plug-in Hybrid (PHEV). Bei allen Fahrzeugen ist den Autoren nicht bekannt, dass ein AVAS serienmäßig eingebaut wird. Bei einigen Fahrzeugen wie z.B. bei den VW-Modellen ist ein optionales AVAS für einen Aufpreis erhältlich. Beim Fahrzeugmodell Opel Ampera ist ein AVAS eingebaut, welches aber wie eine sanfte Hupe funktioniert. Dies bedeutet, dass ein sanfter Ton ausgegeben wird, solange der dafür vorgesehenen Schalter betätigt wird; das Signal stoppt sobald der Schalter nicht mehr gedrückt wird.

Tabelle 2: In der Schweiz verfügbare Fahrzeugmodelle (Elektrisch, BEV und Plug-in Hybrid, PHEV). Stand: Oktober 2018.

Marke	Modell	Antriebsart
AUDI e-tron	A3 & Q7	PHEV
BMW	i3	BEV
BMW	225xe, 330e, 530e, 740e, i8, x5 40e	PHEV
Citroën	C-Zero	BEV
Ford	Focus	BEV
Hyundai	Kona & Ioniq	BEV/PHEV
KIA	Soul & Niro	PHEV
LANDROVER	Range Rover	PHEV
Mercedes-Benz	B-Klasse	BEV
Mercedes-Benz	C350e, GLE 500e, GLC 350e, E 350e & S 500e	PHEV
Mitsubishi	i-MiEV	BEV
Mitsubishi	Outlander	PHEV
Opel	Ampera(-e)	BEV/PHEV
Peugeot	iON	BEV

Porsche	Panamera & Cayenne	PHEV
Renault	Twizy & Zoe	BEV
Smart	ForTwo & ForFour	BEV
Tesla	Model S & X	BEV
Toyota	Prius	PHEV
Volvo	V60, XC60, S90, V90 und XC90	PHEV
VW	e-Golf & e-UP	BEV
VW	Golf GTE & Passat GTE	PHEV

3. Messkampagne

Um die Lärmauswirkungen der Acoustic Vehicle Alert Systems (AVAS) bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen ermitteln zu können, wurden Fahrzeuge unterschiedlicher Fahrzeugkategorien auf einem Testgelände mit verschiedenen Fahrsituationen und verschiedenen AVAS erfasst. Um Hintergrundgeräusche möglichst gering halten zu können, wurde die Messkampagne in einem ländlichen Gebiet auf der Wangenriedstrasse in Inkwil durchgeführt (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Situation Messungen

3.1 Fahrzeugflotte

Um eine repräsentative Fahrzeugflotte in dieser Studie zu erfassen, wurde in den Fahrzeugkategorien Kleinwagen, untere Mittelklasse, obere Mittelklasse und Luxusklasse Fahrzeuge mit Elektro- sowie Verbrennungsmotor ausgewählt. In Tabelle 3 sind die in der Messkampagne verwendeten Fahrzeuge gelistet und Abbildung 2 zeigt die die sechs Fahrzeuge am Messstandort ab. Das einzige Fahrzeug, welches ein integriertes und mittels Knopf ausschaltbares AVAS installiert hat ist der Renault Zoe (3. v.l.). Für alle anderen Fahrzeuge wurde mittels 360° Lautsprecher ein AVAS-Geräusch simuliert (siehe detailliertere Informationen dazu unter Kapitel 3.3).

Tabelle 3: In der Messkampagne verwendete Fahrzeuge und deren Bereifung. Die Antriebsart ist angegeben mit BEV für rein-elektrisch betriebenes Fahrzeug (engl. „battery electric vehicle“), PHEV für Plug-in Hybrid (engl. „plug-in hybrid electric vehicle“) und BF für benzinbetriebenes Fahrzeug.

Fahrzeugmodell	1. Inverkehrs- setzung	Hub- raum	Leis- tung	Antriebs- art	Reifenmodell	Reifendimension
Citroën C1	2015	998	51	BF	Michelin	165 / 60 R15 77Hs
Citroën C-Zero	2014	-	49	BEV	Bridgestone Blizzak LM-20	175 / 55 R15 77T
Renault Zoe	2013	-	65	BEV	Michelin Energy E-V	195 / 55 R16 91 Q
VW Golf VII GTE	2015	1395	110	PHEV	Goodyear Ultragrip 9 MS	205 / 55 R16 91 H
AUDI Q7 e-tron	2016	2967	190	PHEV	Goodyear Eagle F1	285 / 45 R 20 112Y
Tesla Model S 75 D	n.b.	-	386	BEV	Michelin Primacy 3	245 / 45 R19 102 Y



Abbildung 2: In der Messkampagne verwendete Fahrzeugflotte

3.2 Fahrsituationen

Für die Messkampagne wurden realistische Fahrszenarien gefahren, bei deren Geschwindigkeiten das AVAS nach EU Regelung Nr. 540/2014 (Europäisches Parlament, 2014) eingeschaltet war. Somit gab es die Fahrszenarien „Stopp & Go“ (aus dem Stand beschleunigen auf 20 km/h), rückwärts Parkieren sowie freie Fahrten mit Geschwindigkeiten 10 km/h (vergleichbar mit vorwärts parkieren), 20 km/h (fahren in Fußgängerzone) und 30 km/h (fahren in Zone 30). Zusätzlich wurde geschaut, dass die Messungen mit dem Rollgeräusch nach den Methoden Close-Proximity-Method (CPX; ISO 11819-2:2017, 2017) und Statistical Pass-by Method (SPB; EN ISO 11819-1:2002, 2002) verglichen werden kann. Deshalb wurde auch das Fahrszenario freie Fahrt mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h durchgeführt. Es gilt anzumerken, dass für das Fahrszenario rückwärts parkieren ein anderes Messsetup gewählt werden musste als für die anderen Szenarien und deshalb die Pegel nur im gleichen Szenario, nicht aber mit den anderen Szenarien verglichen werden dürfen.

Tabelle 4: Durchgeführte Fahrszenarien in der Messkampagne

Fahrszenarien	Simulation für
Stopp & Go (Beschleunigung aus Stand von 0 auf 20 km/h)	Beschleunigung aus Stand heraus, z.B. Zone 30 wegen Hindernis oder Fahrt aus Parksituation
rückwärts Parkieren	Rückwärts und seitwärts parkieren blaue Zone
freie Fahrt 10 km/h	vorwärts parkieren und langsames Fahrt in Quartierstrassen
freie Fahrt 20 km/h	Durchfahrt Fußgängerzone
freie Fahrt 30 km/h	Durchfahrt Zone 30
freie Fahrt 50 km/h	Vergleich Rollgeräusch mit Methoden nach Norm (CPX und SPB)

3.3 getestete AVAS Samples

Da lediglich das batteriebetriebene Fahrzeugmodell Renault Zoe ein eigen installiertes AVAS installiert hat, wurden für die anderen elektrisch betriebenen Fahrzeuge ein AVAS simuliert. Für die Simulation des AVAS wurden Tonbeispiele der folgenden original eingesetzten AVAS verwendet:

- Renault Zoe (wurde vorgängig durch Grolimund + Partner AG aufgenommen mittels akustischem Messgerät Nor121 (siehe Abbildung 3). Dies ist ein konstantes Geräusch im eher tieffrequenten Bereich (kleiner 1'000 Hz) mit weniger Emissionen im Bereich von 5'000 Hz. Das Tonbeispiel wurde für die Simulation in den Fahrszenarien freie Fahrt bei Geschwindigkeiten von 10, 20 und 30 km/h verwendet.
- Chevrolet Volt. Dieses AVAS befindet sich eher im hochfrequenten Bereich (Peakfrequenz um 5'000 Hz). Das Tonbeispiel wurde für die Simulation in den Fahrszenarien freie Fahrt bei Geschwindigkeiten von 10, 20 und 30 km/h verwendet.
- Nissan Leaf (Beschleunigung). Dies ist ein ansteigendes Geräusch vom mittleren zum höheren Frequenzbereich. Das Tonbeispiel wurde für die Simulation im Fahrszenario „Stopp & Go“ verwendet.
- Nissan Leaf (Rückwärtsfahrt). Dies ist ein impulsartiges Geräusch im hochfrequenten Bereich (zwischen 5'000 bis 1'000 Hz). Das Tonbeispiel wurde für die Simulation im Fahrszenario rückwärts parkieren verwendet.

Während der Messkampagne wurde erkannt, dass das eingebaute AVAS vom Renault Zoe bei einer Geschwindigkeit von über 20 km/h automatisch abgeschaltet wird. Da auch bei den simulierten Fahrszenarien mit AVAS bei freier Fahrt mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h kein Warnsignal mehr hörbar war, wurden letztlich nur Fahrszenarien bis zu einer Geschwindigkeit von 20 km/h mit AVAS simuliert. Für die Szenarien mit einer Geschwindigkeit von über 20 km/h wurde kein AVAS simuliert und lediglich die Lärmemissionen der unterschiedlichen Antriebstypen gemessen.



Abbildung 3: Aufnahme AVAS vom Renault Zoe bei konstanter Fahrgeschwindigkeit

Um die verschiedenen Tonbeispiele während den Fahrszenarien abspielen zu können, wurde ein 360° Lautsprecher verwendet der Marke Ultimate Ears UE Wonderboom. Dieser spielte die Tonbeispiele im Frequenzbereich von 80 bis 20'000 Hz ab. Der Lautsprecher wurde vorne am Scheibenwischer montiert. Damit die Emissionen der AVAS Simulation verglichen werden konnten, wurden die AVAS Emissionen vorgängig mittels Standmessung eruriert und das Lautsprechervolumen angepasst, so dass der Einfluss fahrzeugspezifischer Reflexionen und/oder Absorptionen minimiert werden konnte (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: AVAS Standmessungen für Vergleichbarkeit der Emissionen des simulierten AVAS mit allen Fahrzeugen.

4. Resultate

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Resultate präsentiert, welche während der Messkampagne mit den sechs Fahrzeugen erhoben wurden. Dabei wird ermittelt, bei welchen Fahrszenarien ein AVAS sinnvoller eingesetzt werden kann und wann es eher störend für die Außenstehende wirkt. In Kapitel 4.1 wird der Unterschied der Lärmemissionen zwischen elektrischem Antrieb und Antrieb mit Verbrennungsmotor derselben Fahrzeuge diskutiert. In Kapitel 4.2 wird näher auf die akustischen Eigenschaften der momentan auf dem Markt erhältlichen AVAS eingegangen und Kapitel 4.3 diskutiert die spezifischen Lärmauswirkungen AVAS-relevanter Fahrszenarien für alle elektrischen Fahrzeuge.

4.1 Vergleich der Lärmauswirkungen Antrieb elektrisch und mit Verbrennungsmotor

Um die Relevanz der Lärmauswirkungen von AVAS diskutieren zu können, wird der lärm spezifische Unterschied zwischen einem rein elektrischen Antrieb und einem Antrieb mit Verbrennungsmotor verglichen.

Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen eine Übersicht der Lärmemissionen der Fahrszenarien aufgeteilt nach Verbrennungsmotor und Elektromotor. Es ist zu erkennen, dass bei tiefen Fahrgeschwindigkeiten das Fahrzeug VW Golf GTE die tiefsten Lärmemissionen aufweist im Vergleich zu den anderen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Ab der Geschwindigkeit 30 km/h scheint der Citroën C1 das leiseste Fahrzeug zu sein. Dies ist höchstwahrscheinlich auf die im Vergleich zu den anderen Fahrzeugen schmaleren Reifen zurückzuführen. Bei den Fahrzeugen mit Elektroantrieb weist das Fahrzeugmodell Renault ZOE die tiefsten Lärmemissionen auf. In den Geschwindigkeiten ab 30 km/h, wo die Rollgeräusche dominant werden, scheint auch der VW Golf GTE ähnlich tiefe Lärmemissionen aufzuweisen. Obwohl der VW Golf GTE mit deutlich breiteren Reifen ausgestattet ist als die beiden Fahrzeuge Renault Zoe und Citroën C-Zero sind die Lärmemissionen des VW Golf GTE bei Geschwindigkeiten ab 30 km/h vergleichbar. Dies kann auf die beim VW Golf GTE eingesetzten leisen Reifen zurückzuführen sein. Das Rollgeräuschlabel (Hammer and Bühlmann, 2018) der Reifen am VW Golf GTE beträgt 69 dB während die Reifen des Renault Zoe 70 dB und diejenigen des Citroën C-Zero 72 dB aufweisen.

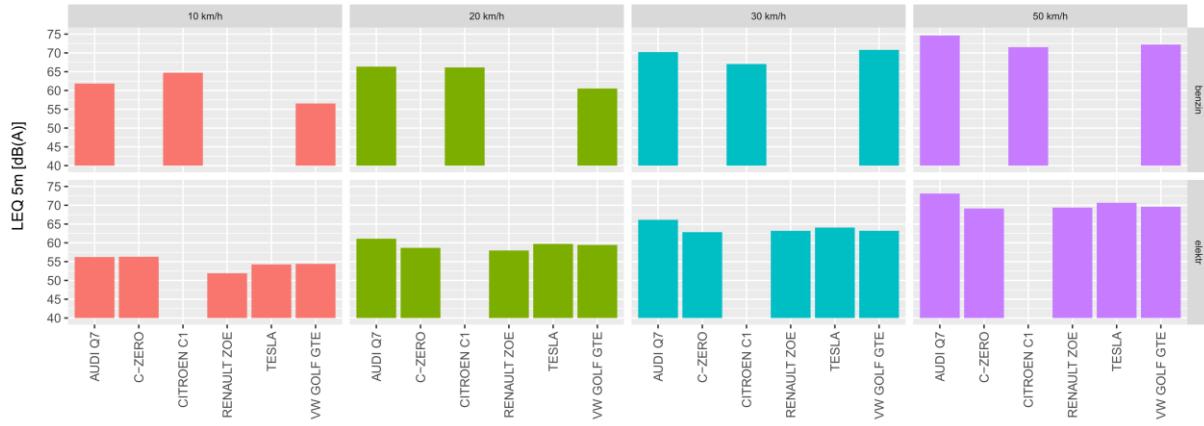


Abbildung 5: Übersicht der Lärmemissionen (Leq, 5m) pro Fahrszenario konstante Fahrt für alle Fahrzeuge.

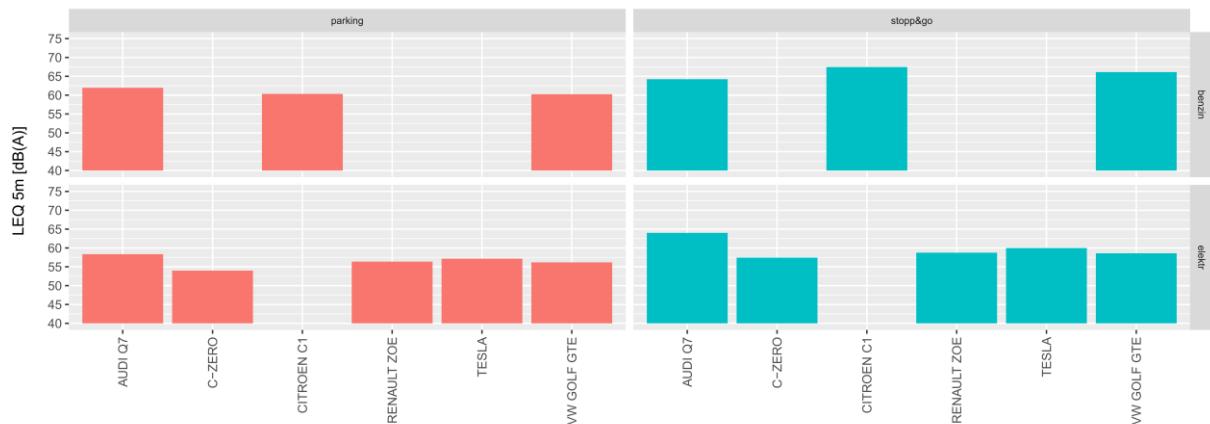


Abbildung 6: Übersicht der Lärmemissionen (Leq, 5m) pro Fahrszenario Parkieren und „Stopp & Go“ für alle Fahrzeuge.

Abbildung 7 zeigt für die drei Fahrzeugkategorien Kleinwagen, untere Mittelklasse und obere Mittelklasse (Citroën C-Zero/C1, VW Golf GTE und AUDI e-tron Q7) die unterschiedlichen Lärmemissionen bei Verwendung des Verbrennungsmotors im Vergleich zur Verwendung des Elektromotors als Antrieb. Es sind deutliche Unterschiede in der Lärmemission beider Antriebsarten bei tiefen Geschwindigkeiten (< 20 km/h) zu erkennen. Bei der gemessenen Geschwindigkeit von 10 km/h ist zu erkennen, dass die Pegel im Frequenzbereich zwischen 80 und 200 Hz sowie 630 und 1'600 Hz teilweise bis zu ca. 10 dB höher sind beim Antrieb mit Verbrennungsmotor im Vergleich zum Antrieb mit Elektromotor. Bei höheren Geschwindigkeiten (bereits ab 30 km/h) ist eine Reduktion des Unterschieds der Lärmemissionen zwischen den beiden Antrieben feststellbar. Dies bedeutet, dass der Einfluss des Rollgeräusches bereits ab ca. 20 bis 30 km/h die dominierende Quelle der Lärmemissionen ist für diese drei Fahrzeuge. Beim AUDI e-tron Q7 scheint bereits ab der Geschwindigkeit von 10 km/h kein grosser Unterschied zwischen Antrieb mit Elektromotor und Antrieb mit Verbrennungsmotor feststellbar zu sein. Dies könnte auf die relativ breiten Reifen zurückzuführen sein, welche ein eher lautes Rollgeräusch erzeugen im Vergleich zu einem effizienten und leisen Motor. Bei Citroën C-Zero/C1 ist zu beachten, dass zwei unterschiedliche Fahrzeuge verwendet wurden und der Motor des Citroën C1 als eher laut wahrgenommen wurde. Dies könnte dazu führen, dass auch bei der Geschwindigkeit von 30 km/h noch ein ausgeprägter Unterschied der Lärmemissionen zwischen elektrischem Antrieb und Verbrennungsmotor feststellbar ist.

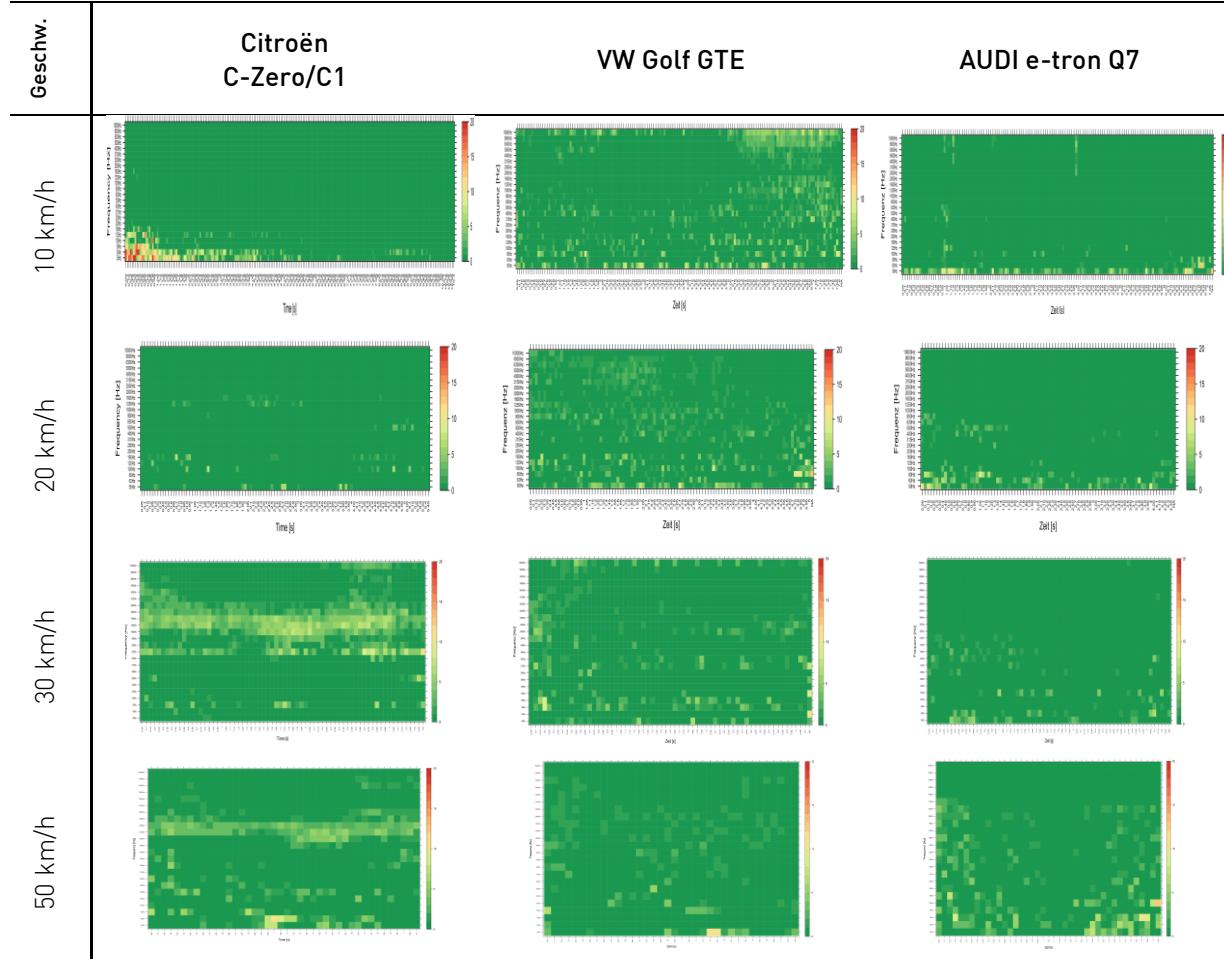


Abbildung 7: Vergleich der Fahrszenarien freie Fahrt mit Geschwindigkeiten von 10, 30 und 50 km/h zwischen Antrieb mit Benzin und Elektrisch für die Fahrzeuge Citroën C-Zero/C1, VW Golf GTE und AUDI e-tron Q7.

4.2 Akustische Eigenschaften der AVAS

In dieser Studie wurden verschiedene AVAS Tonbeispiele verwendet, welche aus dem Internet frei verfügbar sind. Zudem wurde ein Fahrzeug des Modells Renault ZOE mit einem eingebauten AVAS in der Messkampagne verwendet. Abbildung 8 zeigt den Frequenzgang der in der Messkampagne für die verschiedenen Fahrszenarien verwendeten AVAS Tonbeispielen. Es ist zu erkennen, dass bei den AVAS für die Fahrszenarien Beschleunigung und Rückwärtsfahrt ein dynamisches AVAS über Zeit verwendet wird und bei konstanter Fahrt keine Veränderung der Tonalität über Zeit feststellbar ist. Die Lärmemissionen des dynamischen AVAS vom Fahrzeugmodell Nissan Leaf befinden sich hauptsächlich im Frequenzbereich zwischen 5'000 und 10'000 Hz. Somit sind diese AVAS in einem für das menschliche Gehör relativ gut hörbaren Bereich. Das AVAS des Fahrzeugmodells Renault ZOE befindet sich eher in einem tieffrequenten Bereich unterhalb von 1'000 Hz und weist sowohl bei Vorwärts- wie auch bei Rückwärtsfahrt keine Veränderung der Tonalität auf. Das AVAS des Fahrzeugmodells Chevrolet Volt weist die Geräuschemissionen im mittleren Frequenzbereich um ungefähr 5'000 Hz auf.

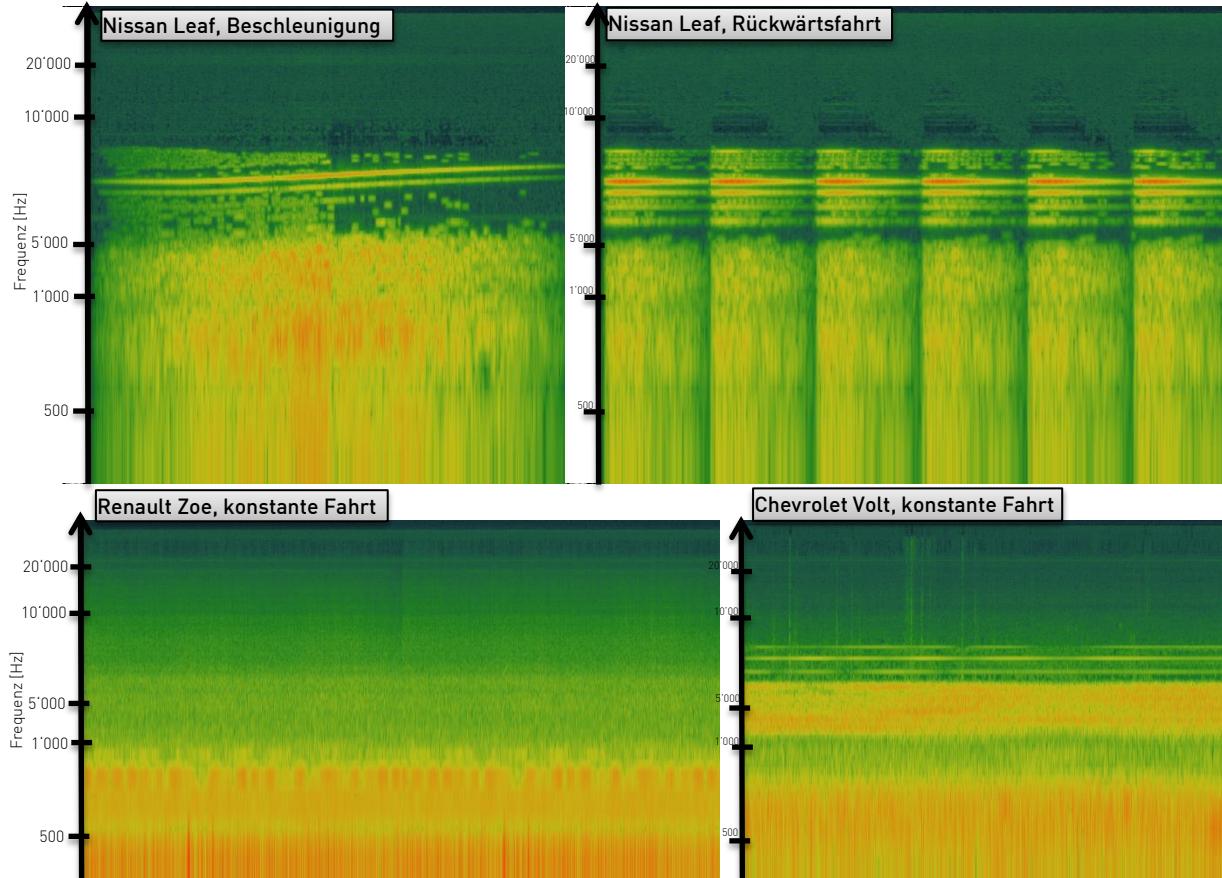


Abbildung 8: Spektren der in der Messkampagne verwendeten AVAS Tonbeispiele

Es ist bekannt, dass für den Mensch als lästig empfundene Geräusche sich im Frequenzbereich ab 1'000 Hz und höher befinden. Zudem sind unstetige Pegelschwankungen wie die AVAS Tonbeispiele für Rückwärtsgang (Nissan Leaf) und Beschleunigungsvorgang (Nissan Leaf) für den Menschen als eher lästig einzustufen.

4.3 Vergleich der Lärmauswirkungen beim Einsatz vom AVAS in versch. Fahrsituationen

In diesem Kapitel werden die Lärmemissionen aller Fahrsituationen mit eingeschaltetem und ausgeschaltetem AVAS verglichen. Abbildung 9 zeigt die Lärmemissionen des Renault ZOE in den Fahrsituationen Parkieren, „Stopp & Go“ sowie bei freier Fahrt mit Geschwindigkeiten 10, 20, 30 und 50 km/h. Das ausgefüllte Dreieck zeigt die Lärmemissionen des Fahrzeugs bei eingeschaltetem AVAS und das leere Dreieck zeigt es bei ausgeschaltetem AVAS. Bei den meisten Elektrofahrzeugen wird das AVAS ab einer Geschwindigkeit von ca. 20 km/h automatisch abgeschaltet, so auch beim Renault ZOE. Es ist zu erkennen, dass die Lärmemissionen mit AVAS beim Renault ZOE um ca. 9 dB lauter sind als bei freier Fahrt bei 10 km/h und ca. 7.5 dB bei 20 km/h. Beim Fahrszenario „Stopp & Go“ sind die Lärmemissionen mit AVAS um ca. 6 dB lauter. Auch beim Szenario rückwärts parkieren ist immer noch eine um ca. 2.5 dB lautere Lärmemissionen zu verzeichnen als ohne AVAS.

In Abbildung 9 sind zusätzlich die mit sonROAD18 modellierten Lärmemissionen für die Geschwindigkeiten 10, 20, 30 und 50 km/h als Linie dargestellt (die verwendeten Inputparameter befinden sich in

Anhang IV). Es ist deutlich zu erkennen, dass die Lärmemissionen mit AVAS um 7 dB bei 10 km/h und um 3 dB lauter sind als die für einen Verbrennungsmotor modellierten sonROAD18 Lärmemissionen. Bei ausgeschaltetem AVAS mit Geschwindigkeiten von 20, 30 und 50 km/h sind die Lärmemissionen des Elektrofahrzeugs Renault ZOE um ca. 5 dB leiser als die für einen Verbrennungsmotor modellierten sonROAD18 Lärmemissionen.

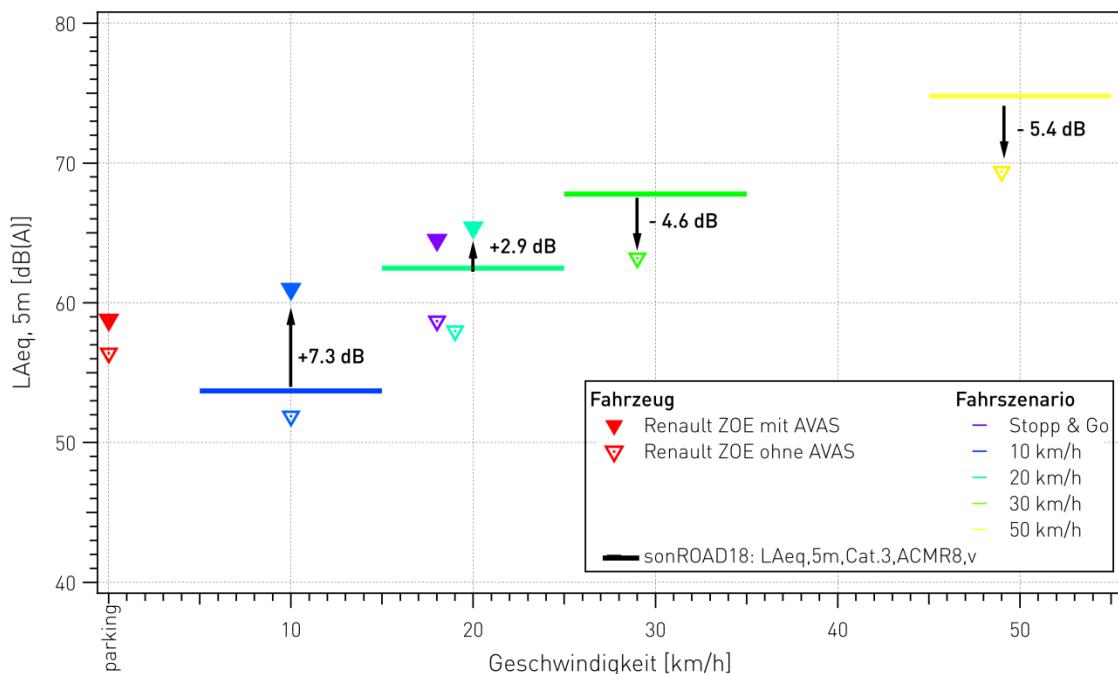


Abbildung 9: Lärmemissionen des Renault ZOE mit Fahrsituationen Parkieren (rot), „Stopp & Go“ (violett) sowie freie Fahrt mit Geschwindigkeiten 10 (blau), 20 (blaugrün), 30 (grün) und 50 km/h (gelb).

Abbildung 10 zeigt das mittlere Frequenzspektrum der kontrollierten Vorbeifahrtmessungen mit dem Renault ZOE bei einer Geschwindigkeit von 10 km/h (links) und 20 km/h (rechts) bei ausgeschaltetem (violett) sowie eingeschaltetem AVAS (blau). Es ist deutlich erkennbar, dass das AVAS des Renault ZOE eine Erhöhung des Pegels im Frequenzbereich von 160 bis 400 Hz im Vergleich ohne AVAS zur Folge hat. Im Vergleich zur Abbildung 7 ist erkennbar, dass das Geräusch des AVAS im ähnlichen Frequenzbereich wie die Lärmemissionen des Verbrennungsmotors emittieren.

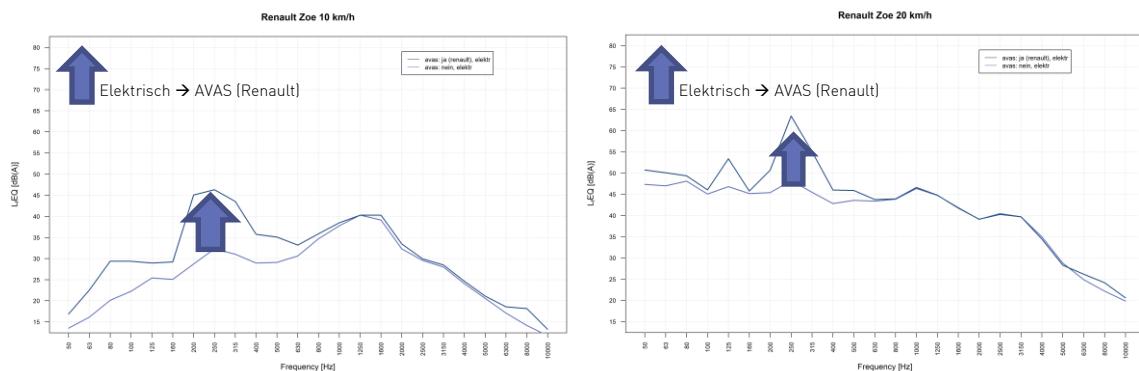


Abbildung 10: Frequenzspektrum der Fahrsituationen freie Fahrt mit Geschwindigkeit 10 (links) und 20 km/h (rechts) am Beispiel des Fahrzeugmodells Renault ZOE mit und ohne AVAS.

Abbildung 11 zeigt die mittleren Frequenzspektren der Fahrszenarien Parkieren und „Stopp & Go“ mit eingeschaltetem und ausgeschaltetem AVAS des Renault ZOE. Beim Fahrszenario Parkieren wurde zusätzlich das AVAS des Nissan Leaf simuliert (siehe Kapitel 3.3). Auch bei diesen Fahrszenarien weist das AVAS des Renault ZOE einen deutlich höheren Pegel im tiefen Frequenzbereich um 250 Hz auf. Das AVAS des Nissan Leaf beim Fahrszenario Parkieren weist eine deutlich erkennbare Lärmemission vom Nissan Leaf im hohen Frequenzbereich um 2'000 Hz. Diese Frequenz liegt nach Fastl & Zwicker (2007) und Nilsson (2007) im für das menschliche Gehör störenden Bereich.

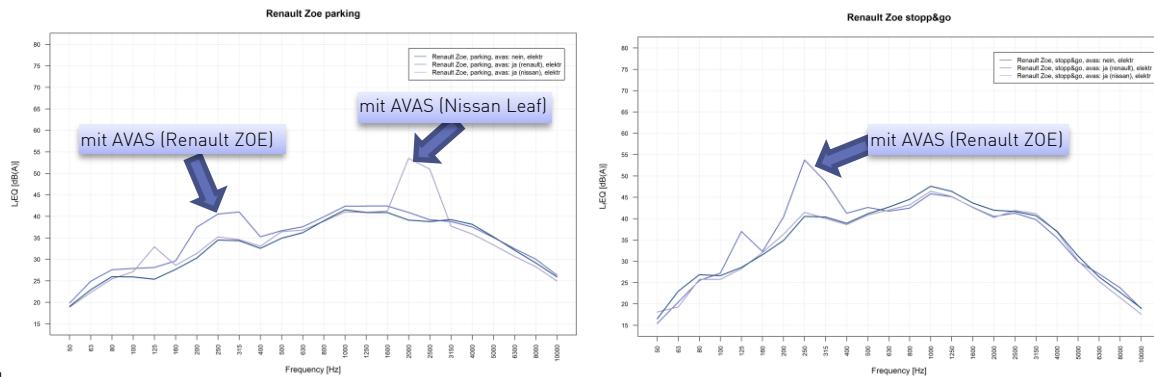


Abbildung 11: Frequenzspektrum der Fahrsituation Parkieren (links) und „Stopp & Go“ (rechts) am Beispiel des Fahrzeugmodells Renault Zoe.

5. Schlussfolgerungen

Emissionen Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb

- Differenzen bei Antrieb mit Elektromotor und Verbrennungsmotor bei Fahrszenarien freie Fahrt 10 und 20 km/h und befindet sich im Frequenzbereich 80 und 200 Hz sowie 630 und 1'600 Hz.
- Ab Geschwindigkeit 30 km/h kaum Abweichungen zwischen den unterschiedlichen Antrieben; Rollgeräusch dominiert somit ab 20 bis 30 km/h

Auswirkung AVAS auf Lärmemissionen

- Der Unterschied zwischen elektrischem Antrieb mit und ohne AVAS bei 10 km/h ergab beim renault-eigenen AVAS ein Unterschied von ca. 9 dB
- Bei 20 km/h reduziert sich der Unterschied auf ca. 7 dB beim renault-eigenen AVAS
- Bei der Parkersituation ergibt sich ein Unterschied im Gesamtpegel von ca. 2 bis 3 dB(A)
- Bei „Stopp & Go“ ergibt sich ein Unterschied von ca. 6 dB(A) beim renault-eigenen AVAS
- Zudem ist das AVAS um ca. 3 bis 7 dB lauter bei tiefen Geschwindigkeiten als die sonROAD18 Modellierungen.

Störpotential AVAS

- Die verschiedenen AVAS der Autohersteller scheinen sich in der Lästigkeit zu unterscheiden
- AVAS dürfte vor allem beim Parkieren zu erhöhter Lästigkeit führen
- Lästigkeit kann zudem bei unstetiger Fahrweise in Tempo 30 oder Begegnungszonen gegeben sein

Empfehlungen

- AVAS soll nur eingesetzt werden, wenn die Lärmemissionen des Fahrzeugs mit Elektroantrieb leiser sind als die der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor
- Die Lärmemissionen des Fahrzeugs mit Elektromotor mit eingeschaltetem AVAS sollten die Lärmemissionen eines ähnlichen Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor nicht übersteigen.
- Lästige (impulshaltig und zu hohe Frequenzen) der AVAS vermeiden
- Ab ca. 20 bis 30 km/h kein AVAS mehr einsetzen, da Rollgeräusch bereits deutlich wahrnehmbar sind

Weiterer Forschungsbedarf

- Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass die AVAS der verschiedenen Hersteller deutlich in den akustischen Charakteristika variieren können. Aus diesem Grund empfiehlt sich, weitere Untersuchungen zu den Lärmauswirkungen und dem Störpotential von verschiedenen AVAS durchzuführen, sobald diese in weiteren Elektro- und Hybridmodellen eingeführt worden sind.
- Um die Wahrnehmbarkeit von Elektro- und Hybridfahrzeugen zu gewährleisten und das Störpotential möglichst gering zu halten, sollte in Zusammenarbeit zwischen Akustikern und Blindenorganisationen der Schweiz weiteres Optimierungspotential erarbeitet werden.

Grolimund + Partner AG



Emanuel Hammer



Erik Bühlmann

Literaturverzeichnis

- EN ISO 11819-1:2002: Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method., 2002.
- Europäisches Parlament, R. der E. U.: Verordnung (EU) Nr. 540/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämpferanlagen sowie zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 70/157. [online] Available from: <http://data.europa.eu/eli/reg/2014/540/oj>, 2014.
- Fastl, H. and Zwicker, E.: Psychcoacoustics, Springer Berlin., 2007.
- Hammer, E. and Bühlmann, E.: Lärmminderungspotential leiser Reifen auf gängigen Schweizer Strassenbelägen, Bundesamt für Umwelt BAFU, 2018.
- Hammer, E., Egger, S., Saurer, T. and Bühlmann, E.: Traffic noise emission modelling at lower speeds, in Conference Proceeding ICSV 2016, pp. 1–8., 2016.
- ISO 11819-2:2017: Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close-proximity method, 2017.
- Nilsson, M. E.: A-weighted sound pressure level as an indicator of short-term loudness or annoyance of road-traffic sound, J. Sound Vib., 302(1–2), 197–207, doi:10.1016/J.JSV.2006.11.010, 2007.

Anhang

I Übersicht AVAS in heutigen Fahrzeugen

Liste bekannter Elektrofahrzeuge mit AVAS (weltweit):

Foto	Fahrzeug	Antrieb	Aktivierung AVAS	Typ AVAS	Erscheinungsdatum	Markt
	2011 Chevrolet Volt	Plug-in hybrid	manuell [aktiviert beim Betätigen einer Taste am Blinkerhebel]	Intermittierendes Zwitschern	Nov 10	USA, Europa und Australien
	2011 Nissan Leaf	Elektrisch	Automatisch mit manueller Abschaltung [aktiviert bei Bewegung tiefer als 18.6 mph [30 km/h]]	vorwärts: kontinuierlich / Rückwärts: intermittierend / ab 2013 von BOSE	Dez 10	Japan, USA, Kanada und verschiedene europäische Länder
	2011 Nissan Fuga Hybrid/Infiniti M35	Hybrid elektrisch	Automatisch mit manueller Abschaltung	vorwärts: kontinuierlich / Rückwärts: intermittierend	2010/2011	Japan [2010] und USA [2011 as 2012 Infiniti M Hybrid]
	2011 Fisker Karma	Plug-in hybrid	Automatisch (wird aktiviert, wenn das Fahrzeug mit weniger als 40 km/h fährt)	Kontinuierlich	Jul 11	USA und Europa
	2011 Hyundai Sonata	Hybrid elektrisch	n.a.	n.a.	Mrz 11	USA
	2012 Lotus Evora 414E	Hybrid elektrisch	Fussgängerwarnung, automatisch	HALOsonic von Harman Becker	Mrz 10	special edition auf Anfrage
	2012 Bolloré Bluecar	Elektrisch	Automatisch	Kontinuierlich	Dez 11	Frankreich
	2012 Toyota Camry	Hybrid elektrisch	Automatisch	Kontinuierlich	Aug 11	USA
	2012 Lexus CT200h	Hybrid elektrisch	Automatisch	Kontinuierlich	Aug 11	USA
	2012 Toyota Prius	Hybrid elektrisch	Automatisch (wird aktiviert, wenn das Fahrzeug mit weniger als 15 mph [24 km/h] fährt)	Kontinuierlich	Okt 11	USA
	2012 Toyota Prius	Plug-in hybrid	Automatisch (wird aktiviert, wenn das Fahrzeug mit weniger als 15 mph [24 km/h] fährt)	Kontinuierlich	Feb 12	USA
	2012 Ford Focus Electric	Elektrisch	n.a.	n.a.	2012	USA
	2012 Toyota Prius	Hybrid elektrisch	Automatisch (wird aktiviert, wenn das Fahrzeug mit weniger als 15 mph [24 km/h] fährt)	Kontinuierlich / von HALOsonic Harman Becker	2012	USA
	2012 Toyota Prius c	Hybrid elektrisch	Automatisch (wird aktiviert, wenn das Fahrzeug mit weniger als 15 mph [24 km/h] fährt)	Kontinuierlich / von HALOsonic Harman Becker	Mrz 12	USA
	2012 Honda Fit EV	Elektrisch	Automatisch (wird bei einer Geschwindigkeit von weniger als 12 mph [19 km/h] aktiviert)	Kontinuierlich	Jul 12	USA and Japan
	2013 Honda Accord	Plug-in hybrid	Automatisch (wird bei einer Geschwindigkeit von weniger als 12 mph [19 km/h] aktiviert)	Kontinuierlich	Jan 13	USA
	2014 Honda Accord Hybrid	Hybrid elektrisch	Automatisch (wird bei einer Geschwindigkeit von weniger als 12 mph [19 km/h] aktiviert)	Kontinuierlich	Okt 13	United States
	2013 Smart electric drive	Elektrisch	Automatisch und manuell automatisch aktiviert in den USA und Japan; manuell aktiviert in Europa]	Kontinuierlich	Mai 13	USA, Japan und Europa
	2013 Fiat 500e	Elektrisch	Automatisch	Kontinuierlich bis 22 mph	Jul 13	USA
	2015 Kia Soul EV	Elektrisch	Automatisch	bis 30 km/h	Sep 14	Global
	2016 Hyundai Ioniq Electric	Elektrisch	Automatisch und manuell	bis 30 km/h	Sep 16	Global
	2018 Jaguar I-Pace	Elektrisch	automatisch [bei Detektion von Fußgängern und Velofahrern im Außenbereich]	bis 20 km/h	Mrz 18	Global

II Rohdaten Fahrszenarien bei Messkampagne

Tabelle 5: Erhobene Daten der Messkampagne vom 17.10.2018 in Inkwil. Jedes Szenario besteht aus dem Mittelwert von mindestens zwei Vorbeifahrten.

Mess ID	Fahrzeug	AVAS	Antrieb	Szenario	rel. Feuchte [%]	Temp. [°C]	Geschw. [km/h]	LA _{eq, 5m} [dB(A)]
1	VW Golf GTE	nein	elektr	stopp&go	73.9	10.6	18	58.6
11	VW Golf GTE	nein	elektr	10 km/h	72	11.6	10	54.4
15	VW Golf GTE	nein	elektr	20 km/h	71.9	11.2	18	59.4
21	VW Golf GTE	nein	elektr	30 km/h	73.3	11	26	63.2
27	VW Golf GTE	nein	elektr	50 km/h	66.8	13.2	43	69.6
40	VW Golf GTE	nein	benzin	10 km/h	61.1	14.6	12	56.5
46	VW Golf GTE	nein	benzin	20 km/h	58.5	16	20	60.5
52	VW Golf GTE	nein	benzin	30 km/h	58.8	15.0	29	65.8
34	VW Golf GTE	nein	benzin	stopp&go	62	13.8	19	66.1
58	VW Golf GTE	nein	benzin	50 km/h	59.5	14.6	46	72.2
189	VW Golf GTE	ja (nissan)	elektr	stopp&go	37.4	23.8	20	60.4
191	VW Golf GTE	ja (renault)	elektr	10 km/h	36.5	23.4	12	53.0
193	VW Golf GTE	ja (chevrolet)	elektr	10 km/h	36.6	23.6	12	54.6
195	VW Golf GTE	ja (renault)	elektr	20 km/h	36.3	23.4	19	58.1
197	VW Golf GTE	ja (chevrolet)	elektr	20 km/h	35.6	23.9	19	58.9
213	VW Golf GTE	nein	elektr	parking	31.5	25.8	NA	56.2
215	VW Golf GTE	ja (nissan)	elektr	parking	31	25.4	NA	55.7
217	VW Golf GTE	nein	benzin	parking	33.4	24.6	NA	60.2
2	AUDI e-tron Q7	nein	elektr	stopp&go	74.5	10.8	19	64.0
10	AUDI e-tron Q7	nein	elektr	10 km/h	74.9	11.7	9	56.2
16	AUDI e-tron Q7	nein	elektr	20 km/h	72.4	11.3	17	61.1
22	AUDI e-tron Q7	nein	elektr	30 km/h	73.4	10.9	24	66.1
28	AUDI e-tron Q7	nein	elektr	50 km/h	67.1	13.1	43	73.1
33	AUDI e-tron Q7	nein	benzin	stopp&go	62	14	15	64.2
39	AUDI e-tron Q7	nein	benzin	10 km/h	61	14.4	13	61.9
45	AUDI e-tron Q7	nein	benzin	20 km/h	58.9	15.8	23	66.3
51	AUDI e-tron Q7	nein	benzin	30 km/h	59.8	14.5	33	70.2
57	AUDI e-tron Q7	nein	benzin	50 km/h	57.9	15.3	49	74.6
178	AUDI e-tron Q7	ja (nissan)	elektr	stopp&go	38.9	23.2	19	60.1
180	AUDI e-tron Q7	ja (renault)	elektr	10 km/h	37.6	23.4	12	56.2
182	AUDI e-tron Q7	ja (chevrolet)	elektr	10 km/h	39	22.4	12	55.0
184	AUDI e-tron Q7	ja (renault)	elektr	20 km/h	38.9	21.8	21	60.6
186	AUDI e-tron Q7	ja (chevrolet)	elektr	20 km/h	38.3	22.8	21	61.0
187	AUDI e-tron Q7	ja (renault)	elektr	20 km/h	38.4	23.8	19	61.9
206	AUDI e-tron Q7	nein	elektr	parking	30.7	25.9	NA	58.3
208	AUDI e-tron Q7	nein	benzin	parking	31.5	25.2	NA	62.0
211	AUDI e-tron Q7	ja (nissan)	elektr	parking	30.2	25.6	NA	59.0
63	Tesla Model S 75D	nein	elektr	stopp&go	46.1	19.8	19	60.0
69	Tesla Model S 75D	nein	elektr	10 km/h	50.9	18.8	10	54.3
76	Tesla Model S 75D	nein	elektr	20 km/h	58.1	16.8	19	59.7
80	Tesla Model S 75D	nein	elektr	30 km/h	54.9	17.3	29	64.1
86	Tesla Model S 75D	nein	elektr	50 km/h	53.9	17.7	49	70.7
92	Tesla Model S 75D	ja (nissan)	elektr	stopp&go	40.3	23.7	21	61.5
117	Tesla Model S 75D	ja (chevrolet)	elektr	10 km/h	29.4	28.9	12	56.7
121	Tesla Model S 75D	ja (renault)	elektr	10 km/h	24.6	32.4	13	56.0
123	Tesla Model S 75D	ja (renault)	elektr	20 km/h	31.4	26.8	21	60.3
125	Tesla Model S 75D	ja (chevrolet)	elektr	20 km/h	30.7	28.2	19	63.0
127	Tesla Model S 75D	ja (renault)	elektr	30 km/h	27.9	30	30	65.3
129	Tesla Model S 75D	ja (chevrolet)	elektr	30 km/h	32.9	24.8	31	66.2
131	Tesla Model S 75D	ja (renault)	elektr	50 km/h	32.1	27.4	50	71.6
133	Tesla Model S 75D	ja (chevrolet)	elektr	50 km/h	30.2	28.5	50	71.6
200	Tesla Model S 75D	nein	elektr	parking	31.9	25.5	NA	57.1
204	Tesla Model S 75D	ja (renault)	elektr	parking	31.1	25.8	NA	56.8

66	Citroën C-Zero	nein	elektr	stopp&go	45.9	20.1	17	56.7
70	Citroën C-Zero	nein	elektr	10 km/h	51.1	18.3	14	56.3
73	Citroën C-Zero	nein	elektr	20 km/h	52.9	18	20	58.7
79	Citroën C-Zero	nein	elektr	30 km/h	56.3	17.3	32	62.8
85	Citroën C-Zero	nein	elektr	50 km/h	55.1	17.1	45	69.2
93	Renault Zoe	nein	elektr	stopp&go	40.7	23.1	18	58.7
135	Renault Zoe	ja (renault)	elektr	10 km/h	36.4	25.5	10	61.0
138	Renault Zoe	ja (renault)	elektr	20 km/h	37	25.5	20	65.4
141	Renault Zoe	nein	elektr	30 km/h	37.5	24.8	29	63.2
144	Renault Zoe	nein	elektr	50 km/h	38.7	23	49	69.4
147	Renault Zoe	ja (renault)	elektr	stopp&go	37.5	24.2	18	64.5
150	Renault Zoe	nein	elektr	10 km/h	37.8	25	10	51.9
153	Renault Zoe	nein	elektr	20 km/h	36.8	24.9	19	58.0
156	Renault Zoe	ja (nissan)	elektr	stopp&go	36.2	24.8	19	58.3
159	Renault Zoe	ja (chevrolet)	elektr	10 km/h	35.4	23.6	10	53.5
161	Renault Zoe	ja (chevrolet)	elektr	20 km/h	35.7	26.6	20	58.4
163	Renault Zoe	ja (chevrolet)	elektr	30 km/h	36	25.9	29	62.8
165	Renault Zoe	ja (chevrolet)	elektr	50 km/h	34.4	27.5	47	68.8
219	Renault Zoe	nein	elektr	parking	32	25.1	NA	56.4
221	Renault Zoe	ja (renault)	elektr	parking	31.8	24.8	NA	58.8
223	Renault Zoe	ja (nissan)	elektr	parking	32.5	24.2	NA	58.7
64	Citroën C-Zero	nein	elektr	stopp&go	47.1	20	18	57.4
167	Citroën C-Zero	ja (nissan)	elektr	stopp&go	35.8	26.2	20	58.2
170	Citroën C-Zero	ja (chevrolet)	elektr	10 km/h	39.3	22.4	9	54.4
172	Citroën C-Zero	ja (renault)	elektr	10 km/h	39.2	23.3	10	52.3
174	Citroën C-Zero	ja (chevrolet)	elektr	10 km/h	39	22.7	19	57.2
176	Citroën C-Zero	ja (renault)	elektr	10 km/h	40	23	19	56.8
225	Citroën C-Zero	nein	elektr	parking	33.3	24.9	NA	54.0
227	Citroën C-Zero	ja (nissan)	elektr	parking	35.6	22.4	NA	57.0
100	Citroën C1	nein	benzin	stopp&go	33.5	25.6	15	67.5
104	Citroën C1	nein	benzin	10 km/h	34	27	11	64.7
107	Citroën C1	nein	benzin	20 km/h	28.3	28.9	17	66.1
110	Citroën C1	nein	benzin	30 km/h	30.9	27.8	27	67.0
113	Citroën C1	nein	benzin	50 km/h	29.8	28.3	44	71.5
229	Citroën C1	nein	benzin	parking	34.6	23.2	NA	60.3

III Resultate Messkampagne pro Fahrzeug Kleinwagen

Citroën C-Zero/C1 (BEV/BF)

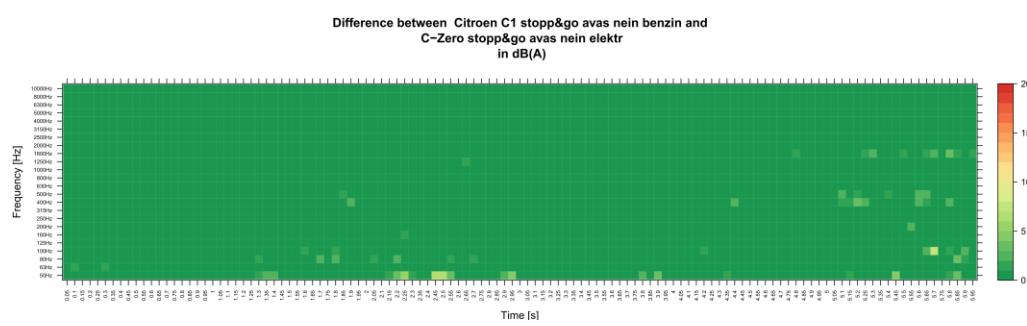
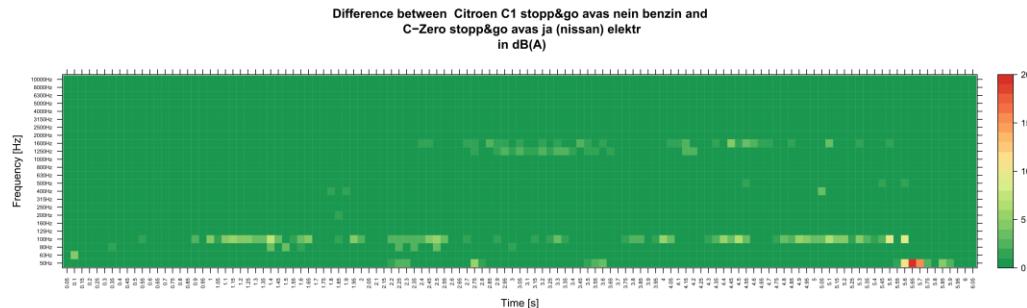


Abbildung 12: Vergleich Antrieb elektrisch mit Benzin mit/ohne AVAS für Fahrszenario „Stopp & Go“ mit Fahrzeug Citroën C-Zero/C1

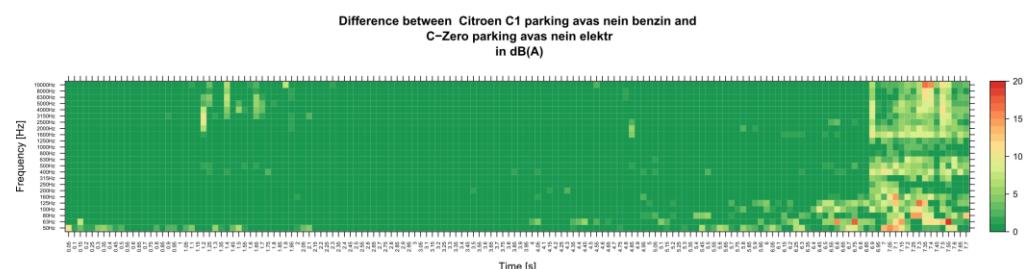
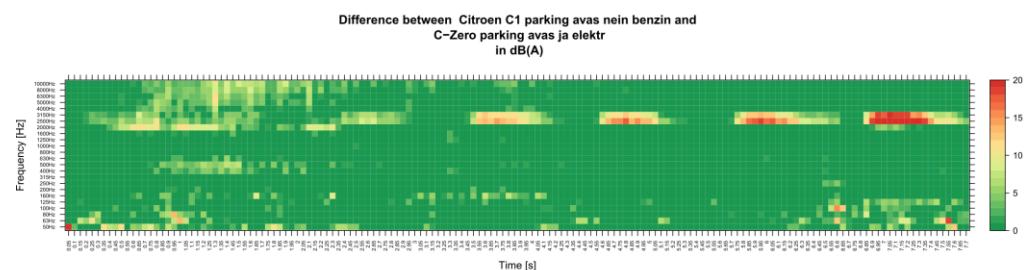


Abbildung 13: Vergleich Antrieb elektrisch mit Benzin mit/ohne AVAS für Fahrszenario „Parkieren“ mit Fahrzeug Citroën C-Zero/C1

15. Januar 2019

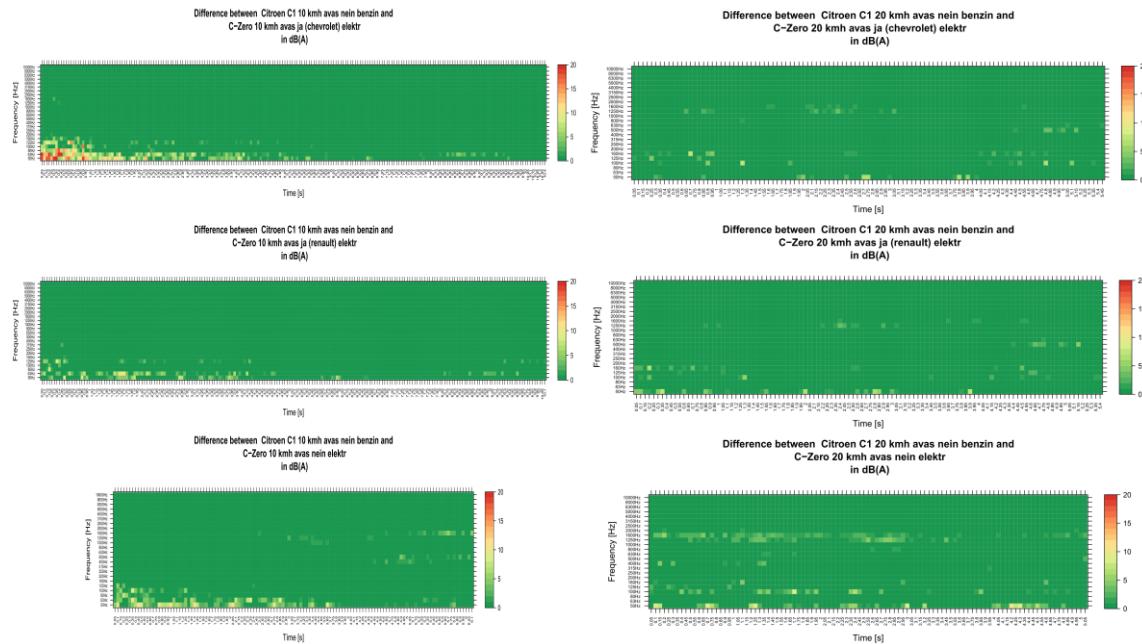


Abbildung 14: Vergleich Antrieb elektrisch mit Benzin mit/ohne AVAS für Fahrszenario freie Fahrt mit Geschwindigkeiten 10 und 20 km/h mit Fahrzeug Citroën C-Zero/C1

Nur elektrisch

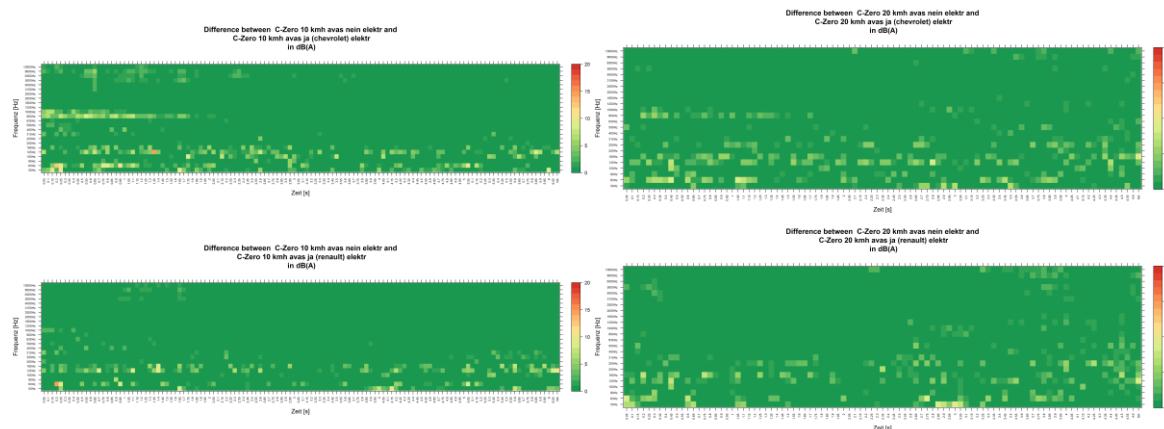


Abbildung 15: Vergleich Antrieb elektrisch mit/ohne AVAS für Fahrszenario freie Fahrt mit Geschwindigkeiten 10 und 20 km/h mit Fahrzeug Citroën C-Zero

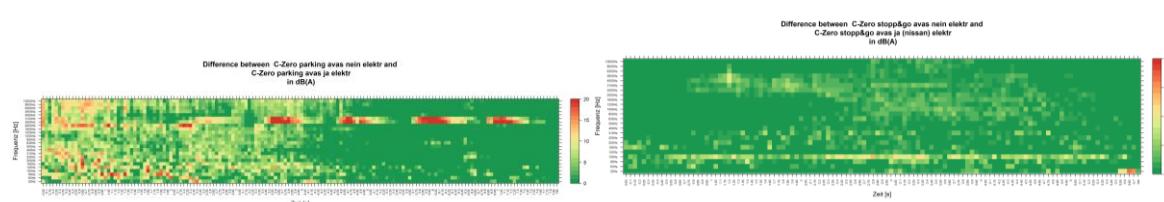


Abbildung 16: Abbildung 17: Vergleich Antrieb elektrisch mit/ohne AVAS für Fahrszenario Parkieren und „Stopp & Go“ mit Fahrzeug Citroën C-Zero

15. Januar 2019

Renault Zoe (BEV)

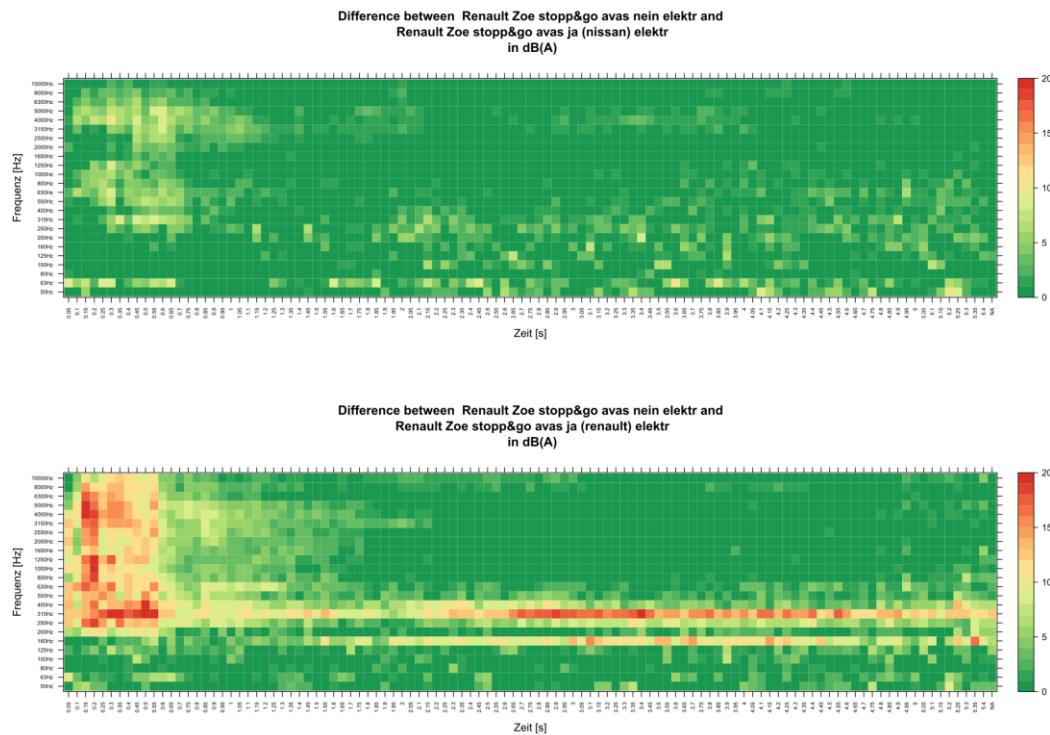


Abbildung 18: Vergleich Antrieb elektrisch mit/ohne AVAS für Fahrscenario „Stopp & Go“ mit Fahrzeug Renault Zoe

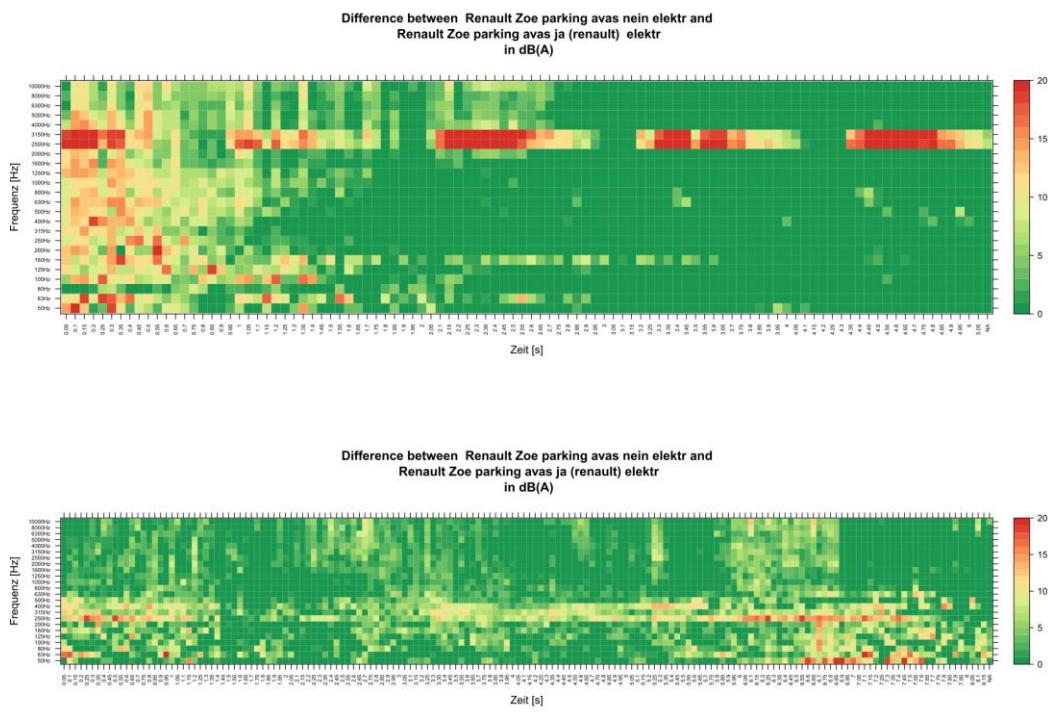


Abbildung 19: Vergleich Antrieb elektrisch mit/ohne AVAS für Fahrscenario „Parkieren“ mit Fahrzeug Renault Zoe

15. Januar 2019

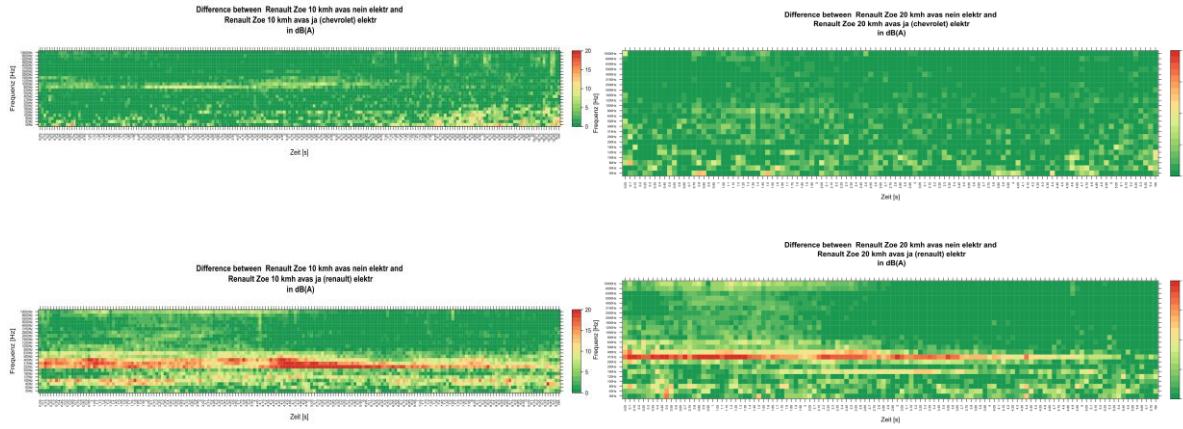


Abbildung 20: Vergleich Antrieb elektrisch mit/ohne AVAS für Fahrszenario freie Fahrt mit Geschwindigkeiten 10 und 20 km/h mit Fahrzeug Renault Zoe

Untere Mittelklasse

VW Golf GTE

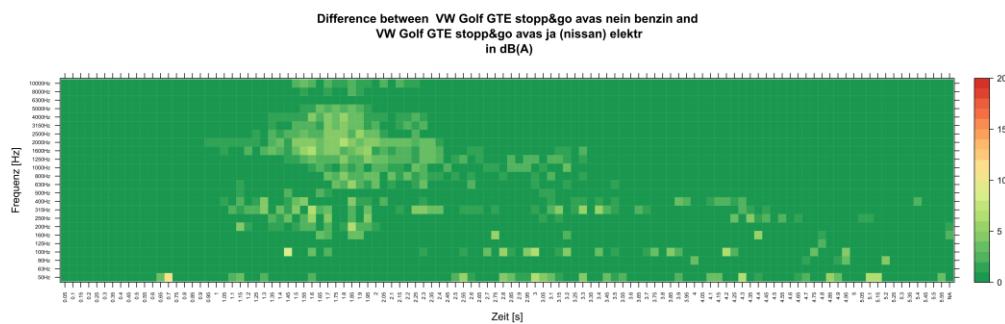
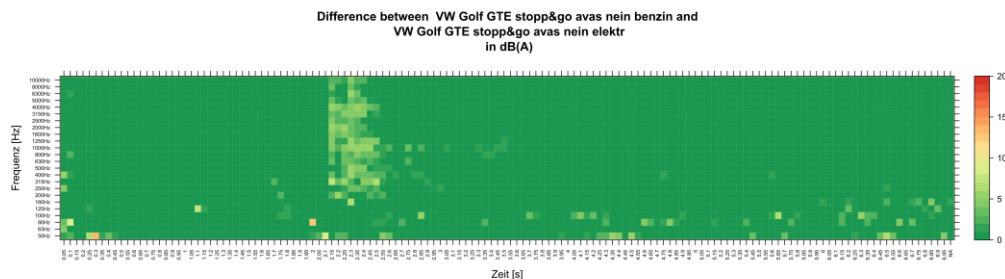


Abbildung 21: Vergleich Antrieb elektrisch mit Benzin mit/ohne AVAS für Fahrszenario „Stopp & Go“ mit Fahrzeug VW Golf GTE

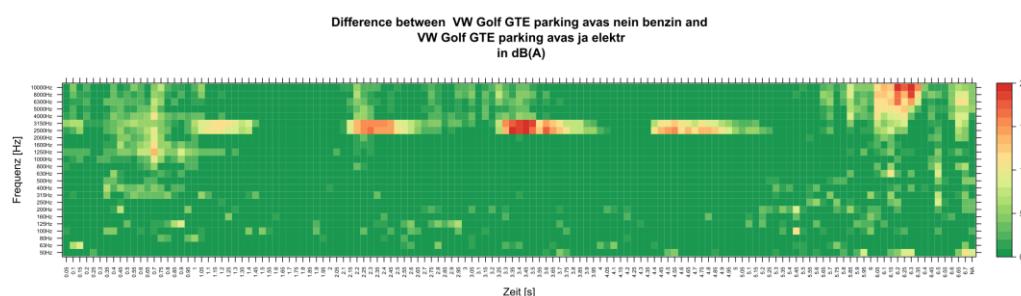
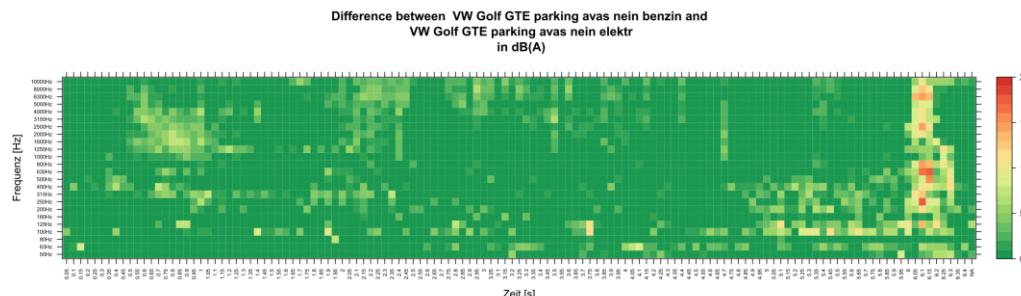


Abbildung 22: Vergleich Antrieb elektrisch mit Benzin mit/ohne AVAS für Fahrszenario „Parkieren“ mit Fahrzeug VW Golf GTE

15. Januar 2019

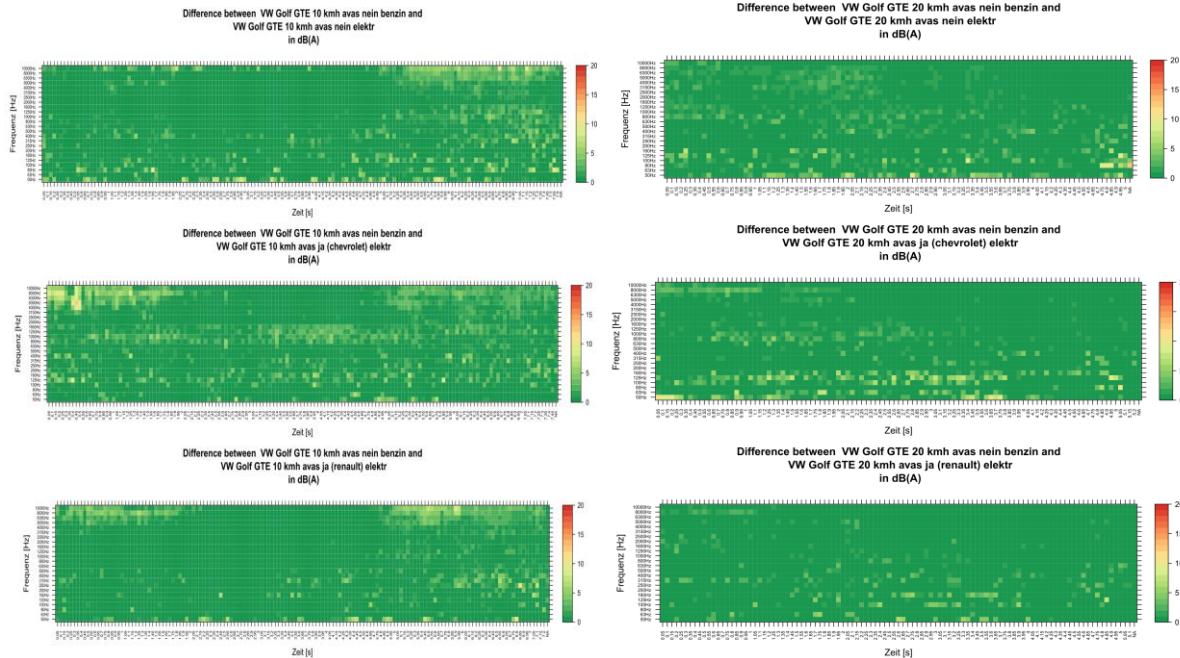


Abbildung 23: Vergleich Antrieb elektrisch mit Benzin mit/ohne AVAS für Fahrszenario freie Fahrt mit Geschwindigkeiten 10 und 20 km/h mit Fahrzeug VW Golf GTE

Nur elektrisch

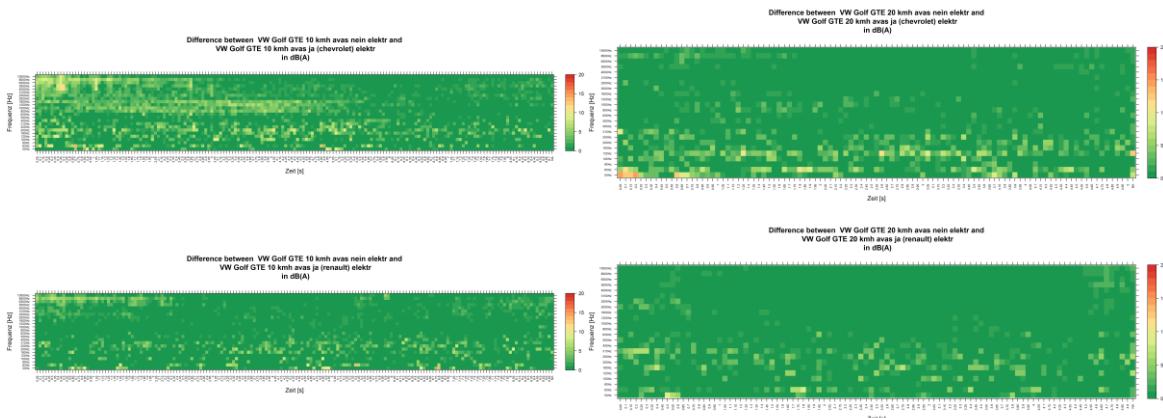


Abbildung 24: Vergleich Antrieb elektrisch mit/ohne AVAS für Fahrszenario freie Fahrt mit Geschwindigkeiten 10 und 20 km/h mit Fahrzeug VW Golf GTE

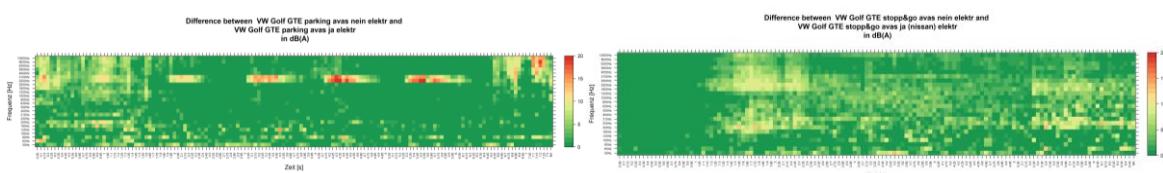


Abbildung 25: Vergleich Antrieb elektrisch mit/ohne AVAS für Fahrszenario Parkieren und „Stopp & Go“ mit Fahrzeug VW Golf GTE

Obere Mittelklasse

AUDI e-tron Q7

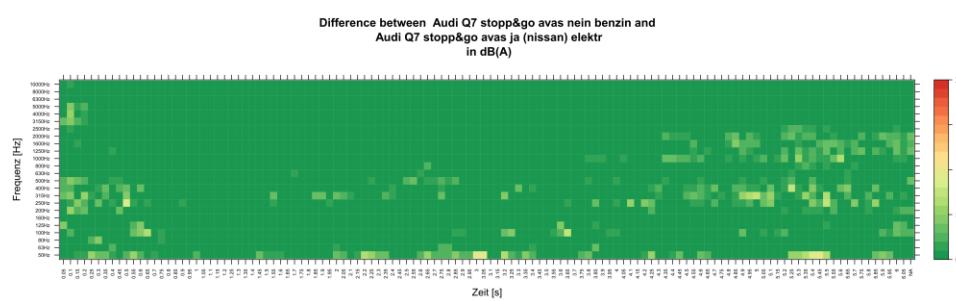
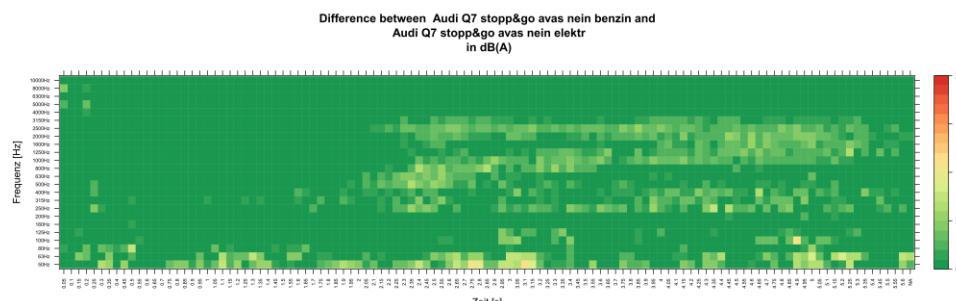


Abbildung 26: Vergleich Antrieb elektrisch mit Benzin mit/ohne AVAS für Fahrszenario „Stopp & Go“ mit Fahrzeug AUDI e-tron Q7

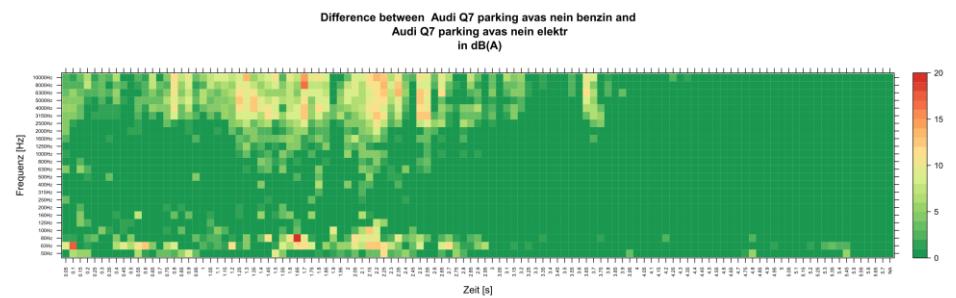


Abbildung 27: Vergleich Antrieb elektrisch mit Benzin mit/ohne AVAS für Fahrszenario „Parkieren“ mit Fahrzeug AUDI e-tron Q7

15. Januar 2019

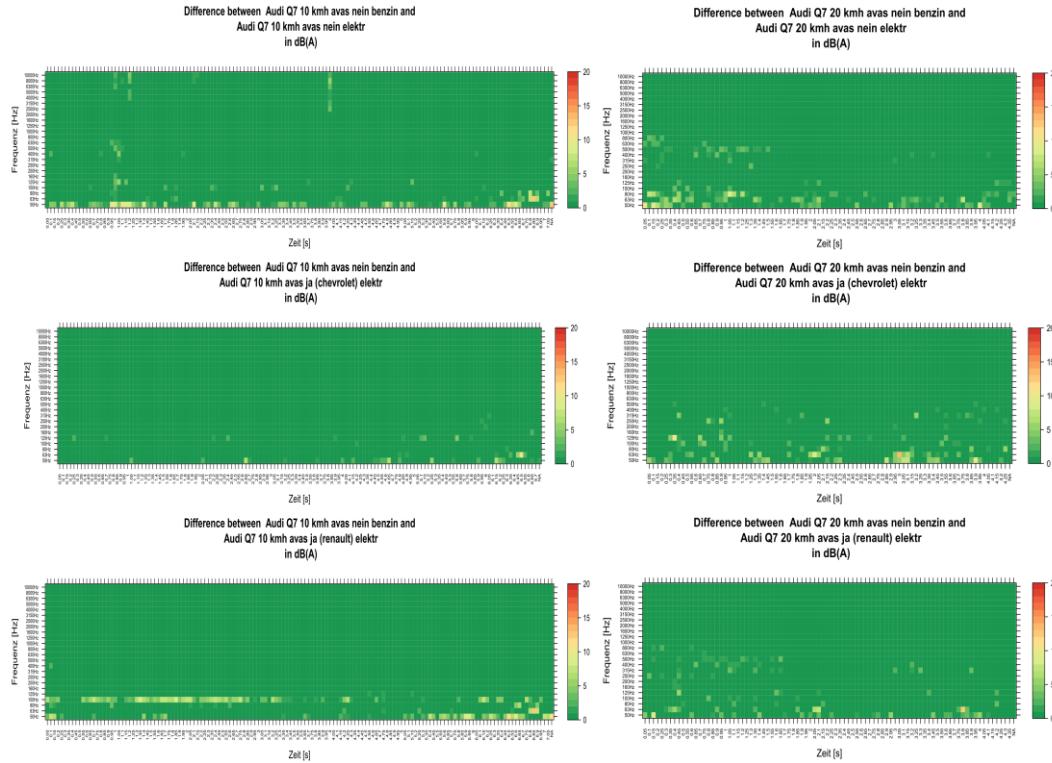


Abbildung 28: Vergleich Antrieb elektrisch mit Benzin mit/ohne AVAS für Fahrszenario freie Fahrt mit Geschwindigkeiten 10 und 20 km/h mit Fahrzeug AUDI e-tron Q7

Nur elektrisch

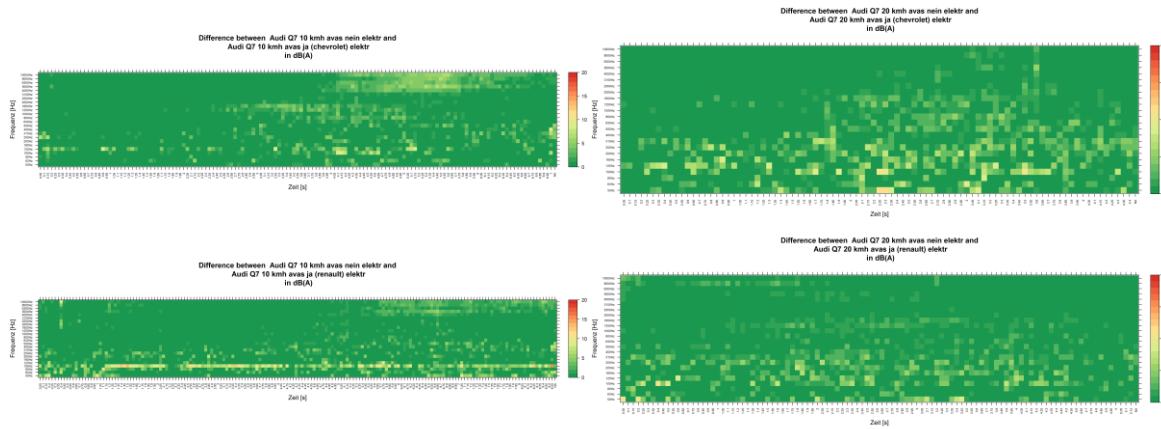


Abbildung 29: Vergleich Antrieb elektrisch mit/ohne AVAS für Fahrszenario freie Fahrt mit Geschwindigkeiten 10 und 20 km/h mit Fahrzeug AUDI e-tron Q7

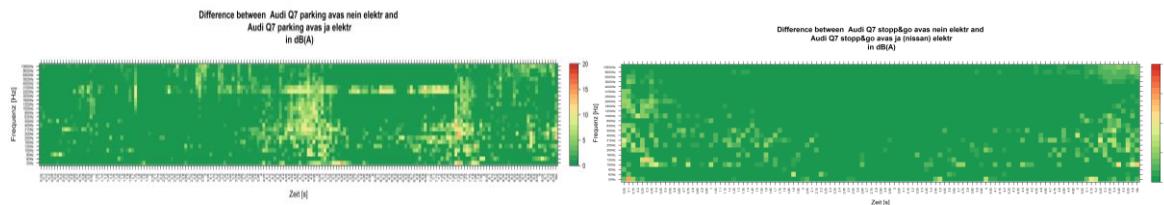


Abbildung 30: Vergleich Antrieb elektrisch mit/ohne AVAS für Fahrszenario Parkieren und „Stopp & Go“ mit Fahrzeug AUDI e-tron Q7

15. Januar 2019

Luxusklasse

Tesla Model S 75D

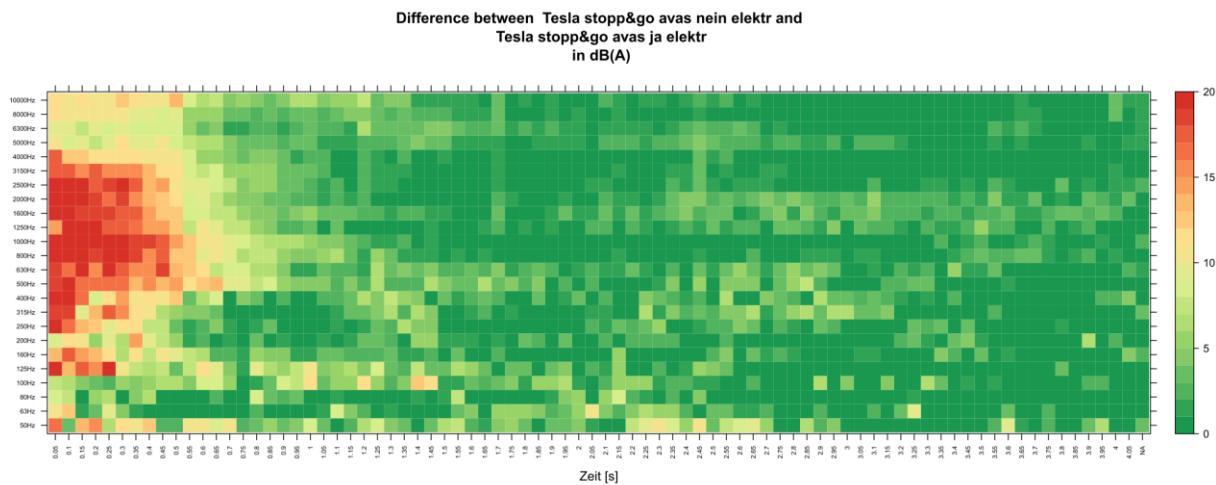


Abbildung 31: Vergleich Antrieb elektrisch mit/ohne AVAS für Fahrszenario „Stopp & Go“ mit Fahrzeug Tesla Model S 75D

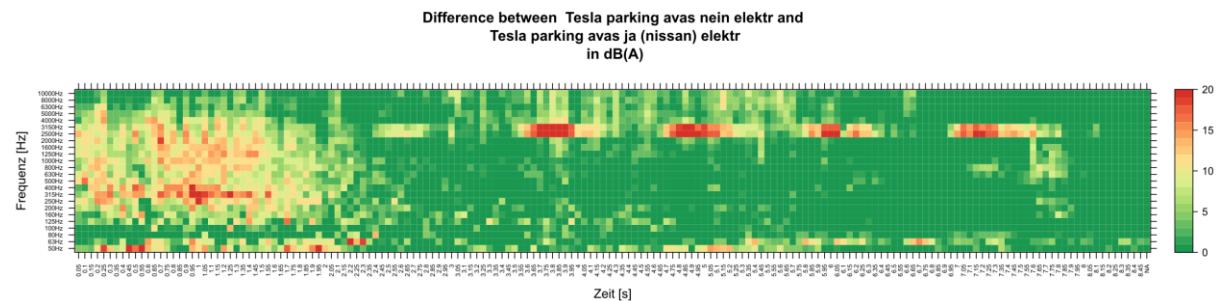


Abbildung 32: Vergleich Antrieb elektrisch mit/ohne AVAS für Fahrszenario „Parkieren“ mit Fahrzeug Tesla Model S 75D

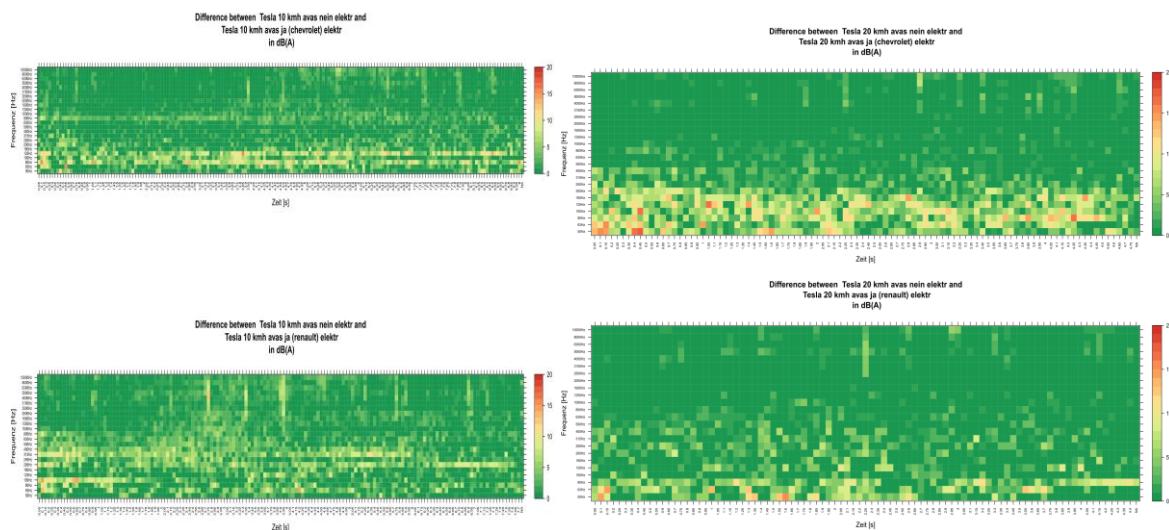


Abbildung 33: Vergleich Antrieb elektrisch mit/ohne AVAS für Fahrszenario freie Fahrt mit Geschwindigkeiten 10 und 20 km/h mit Fahrzeug Tesla Model S 75D

15. Januar 2019

IV Inputparameter für sonROAD18 Modellierung

Nachstehend sind die Eingangsparameter für die sonROAD18 Modellierung von Abbildung 9 dargestellt.

sonROAD18

Lärmberechnung Strasse

Gespeicherte Berechnungseinstellungen

AVAS_Simu

Streckenparameter

DTV:	1
Belag:	KB-Wert: 0 (50 km/h)
Steigung [%]:	0
Verkehrsmengen auf 2 Fahrtrichtungen gleichverteilen und inverse Steigung für Gegenrichtung verwenden	
Elevationswinkel [°]:	0
Temperatur [°C]:	0
Signalisierte Geschwindigkeit:	10
Sig. Gesch. verwenden:	<input checked="" type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein
Verteilschlüssel:	Hauptverkehrsstrassen, 50 km/h, 2 Spuren

Metadata

Projekt	
Strecke	
Gemeinde	
Kilometer	
Datum	
Bearbeiter	
Bemerkung	

Geschwindigkeit

	Tag	Nacht
Busse:	0	0
Motorräder:	0	0
Personenwagen:	10	0
Personenwagen mit Anhänger:	0	0
Lieferwagen bis 3,5t:	0	0
Lieferwagen bis 3,5t mit Anhänger:	0	0
Lieferwagen bis 3,5t mit Auflieger:	0	0
Lastwagen:	0	0
Lastenzüge:	0	0
Sattelzüge:	0	0

Verkehr pro Stunde

	Tag	Nacht
Busse:	0	0
Motorräder:	0	0
Personenwagen:	1	0
Personenwagen mit Anhänger:	0	0
Lieferwagen bis 3,5t:	0	0
Lieferwagen bis 3,5t mit Anhänger:	0	0
Lieferwagen bis 3,5t mit Auflieger:	0	0
Lastwagen:	0	0
Lastenzüge:	0	0
Sattelzüge:	0	0
Total (Spur):	1	0

Abbildung 34: Inputparameter für die sonROAD18 Modellierung mit Geschwindigkeit 10 km/h.

sonROAD18

Lärmberechnung Strasse

Gespeicherte Berechnungseinstellungen

AVAS_Simu

Streckenparameter

DTV:	1
Belag:	KB-Wert: 0 (50 km/h)
Steigung [%]:	0
Verkehrsmengen auf 2 Fahrtrichtungen gleichverteilen und inverse Steigung für Gegenrichtung verwenden	
Elevationswinkel [°]:	0
Temperatur [°C]:	0
Signalisierte Geschwindigkeit:	20
Sig. Gesch. verwenden:	<input checked="" type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein
Verteilschlüssel:	Hauptverkehrsstrassen, 50 km/h, 2 Spuren

Metadata

Projekt	
Strecke	
Gemeinde	
Kilometer	
Datum	
Bearbeiter	
Bemerkung	

Geschwindigkeit

	Tag	Nacht
Busse:	0	0
Motorräder:	0	0
Personenwagen:	20	0
Personenwagen mit Anhänger:	0	0
Lieferwagen bis 3,5t:	0	0
Lieferwagen bis 3,5t mit Anhänger:	0	0
Lieferwagen bis 3,5t mit Auflieger:	0	0
Lastwagen:	0	0
Lastenzüge:	0	0
Sattelzüge:	0	0

Verkehr pro Stunde

	Tag	Nacht
Busse:	0	0
Motorräder:	0	0
Personenwagen:	1	0
Personenwagen mit Anhänger:	0	0
Lieferwagen bis 3,5t:	0	0
Lieferwagen bis 3,5t mit Anhänger:	0	0
Lieferwagen bis 3,5t mit Auflieger:	0	0
Lastwagen:	0	0
Lastenzüge:	0	0
Sattelzüge:	0	0
Total (Spur):	1	0

Abbildung 35: Eingangsparameter für die sonROAD18 Modellierung mit Geschwindigkeit 20 km/h.