

Kombinierte Gestaltung von Außen- und Innengeräuschen für Fahrzeuge mit Elektroantrieb

Markus Bodden, Torsten Belschner
neosonic 45131 Essen, email: info@neosonic.eu

Einleitung

Fahrzeughersteller werden aufgrund der gesetzlichen Vorschriften verpflichtet, Fahrzeuge mit Elektro- oder Hybridantrieb mit Systemen zur Generierung von Außengeräuschen auszurüsten (AVAS). Diese Geräusche müssen – je nach Vorschrift im Zielland – für Geschwindigkeiten von bis zu 30 km/h erzeugt werden. In diesem Geschwindigkeitsbereich werden die Geräusche in den meisten Fahrzeugen auch innen hörbar sein, so dass für die Insassen ein inhomogenes Geräuschszenario entsteht.

Dies kann vermieden werden, indem auch für den Innenraum Geräusche erzeugt werden, die neben dieser Einbettung der Außengeräusche auch die Funktion der Rückmeldung an den Fahrer sowie der Verbesserung der Geräuschqualität durch Maskierung negativer Komponentengeräusche übernehmen können. Hierzu ist es jedoch erforderlich, Außen- und Innengeräusche aufeinander abgestimmt zu erzeugen. Dies kann nur durch ein Zusammenspiel des AVAS-Systems mit dem Innenraumsystem, das in der Regel in die Audioanlage eingebunden ist, erfolgen. Grundlegende Ansätze des Sound-Designs zur Auslegung der Geräusche sowie Lösungsmöglichkeiten für eine Serienumsetzung werden vorgestellt.

Auswirkungen von AVAS

Elektro- und Hybridfahrzeuge müssen mit einem AVAS-System (Acoustic Vehicle Alert Systems) ausgerüstet werden, das im niedrigen Geschwindigkeitsbereich bis 20 (UN) bzw. 30 km/h (US) ein Geräusch erzeugt um Passanten und Radfahrer zu warnen. Ein solches AVAS-System besteht in der Regel aus einer Box mit integrierter Logik sowie einem Verstärker und Lautsprecher. Der Einbauort des Systems bleibt dem Fahrzeughersteller überlassen, und das erzeugte Geräusch muss relativ komplexe gesetzliche Anforderungen erfüllen [1].

Die Ausrüstung von Fahrzeugen mit AVAS hat allerdings neben der Warnwirkung nach außen auch eine Auswirkung auf das Geräusch im Innenraum. In der Regel werden Teile der erzeugten Geräusche auch im Innenraum hörbar werden, und sorgen dort für ein ungewohntes und in der Regel negatives Geräuschszenario. Dieser Effekt wird noch dadurch verstärkt, dass Elektrofahrzeuge zwecks Gewichtersparnis in der Regel eine geringe Schalldämmung aufweisen. Gerade im relevanten Geschwindigkeitsbereich bis 30 km/h treten kaum maskierende Reifen und Windgeräusche auf, so dass die AVAS-Geräusche auch innen deutlich wahrgenommen werden können.

Die generelle Frage, ob für Elektrofahrzeuge Geräusche generiert werden sollen oder nicht ist damit vom Gesetzgeber

beantwortet. Da sich die Automobilhersteller folglich mit dem Thema der Erzeugung künstlicher Geräusche für Elektrofahrzeuge auseinandersetzen müssen, liegt es nahe, auch die Erzeugung von Innengeräuschen in Betracht zu ziehen.

Eine Erzeugung von Innengeräuschen weist – bei entsprechendem Sound Design - die folgenden Vorteile auf:

- der Fahrer erhält eine intuitive Rückmeldung über den Betriebs- und Fahrzustand des Fahrzeugs, der alleine aufgrund der Eigengeräusche des Fahrzeugs nicht mehr hinreichend gegeben ist;
- der Fahrer kann emotional angesprochen werden, ihm kann ein positiver Eindruck vom Fahrzeug vermittelt werden, die Markenbindung kann manifestiert werden;
- die Geräuschqualität kann erhöht werden, indem stärker in den Vordergrund tretende Komponentengeräusche maskiert werden. Dies trifft zum einen auf tonale Geräusche des Elektroantriebs zu, zum anderen auf die Geräusche der verbauten Aggregate, die aufgrund der notwendigen Leichtbauweise und der damit verbundenen in der Regel geringeren Dämmung stärker wahrnehmbar sind;
- das nach innen dringende AVAS-Geräusch kann eingebettet werden und somit der negative Effekt des AVAS-Geräusches vermieden werden.

Um diese Vorteile auch tatsächlich zu erzielen, ist ein sorgfältiges kombiniertes Sound-Design erforderlich.

Kombination von AVAS und ASD

Mögliche Kombinationen

Für die Generierung von Geräuschen bestehen die folgenden drei unterschiedlichen Möglichkeiten:

1. Nur AVAS außen.
Es wird lediglich ein AVAS-System außen verwendet, und sich somit auf die Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben beschränkt. Dies stellt zwar die kostengünstigste Lösung dar, bedeutet aber, dass im Innenraum die AVAS-Geräusche in der Regel negativ auffallen und sämtliche möglichen Vorteile einer Geräuscherzeugung im Innenraum nicht genutzt werden.
2. AVAS außen, ASD innen.
Es wird außen ein AVAS-System, und innen ein separates System zur Erzeugung von Innengeräuschen eingesetzt. Hierdurch können die möglichen Vorteile einer Innenraum-Geräuscherzeugung teilweise genutzt werden, allerdings weist die Verwendung unterschiedlicher Systeme innen und außen Risiken auf. Werden

unterschiedliche Geräuscherzeugungsverfahren eingesetzt oder die Systeme nicht hinreichend synchronisiert, so können negative Wechselwirkungen zwischen den Geräuschen auftreten welche die Geräuschqualität weiter reduzieren. Zudem weist diese Lösung aufgrund der doppelten Implementierung die höchsten Kosten und den größten Sound Design und Tuningaufwand auf. Sinnvoll ist diese Lösung nur, wenn auf beiden Systemen abgegliche Geräuscherzeugungsverfahren laufen, die gemeinsam editiert werden können.

3. Integrierte Erzeugung außen und innen.

Die Soundgenerierung für außen und innen wird in einem geschlossenen Verfahren durchgeführt und an die jeweiligen Wiedergabesysteme außen und innen weitergeleitet. So wird sichergestellt, dass Außen- und Innengeräusch optimal zueinander passen, das AVAS-Geräusch im Innenraum eingebettet wird und alle möglichen Vorteile im Innenraum ausgeschöpft werden können. Bezüglich des Kosten- und Zeitaufwandes ist dieser Ansatz ebenfalls optimiert.

Anforderungen an das Sound Design

An die zu erzeugenden Geräusche werden die folgenden Anforderungen gestellt:

- das Außengeräusch muss eine Warnwirkung auslösen – dieser Effekt ist beim Innengeräusch zu vermeiden, hier liegt der Fokus auf einer positiven Rückmeldung sowie eines angenehmen Geräusches;
- das Außengeräusch muss die gesetzlichen Vorgaben (spektrale Zusammensetzung, Pegel, Pitch-Shift etc.) erfüllen, das Innengeräusch ist daran nicht gebunden;
- das Innengeräusch muss das Außengeräusch im relevanten Geschwindigkeitsbereich bis 20 oder 30 km/h (UN oder US) einbetten, d.h. das Außengeräusch muss sich in das Innengeräusch so einfügen, dass ein harmonischer Eindruck entsteht;
- Außen- und Innengeräusch sind damit nicht identisch, aber zueinander passend auszulegen.

Eine entsprechende Umsetzung erfordert damit, dass die Geräuscherzeugungen innen und außen verknüpft sind. Dies kann sinnvoll über den vorgeschlagenen Ansatz der Sound Signaturen erfolgen [2].

Die Sound-Signatur beschreibt den Basischarakter des zu erzeugenden Geräusches, und eignet sich insbesondere zur Definition von Brand Sounds. Durch die Segmentierung auf das Zielfahrzeug entsteht die Fahrzeug-Sound-Signatur, die dann anschließend nach innen („Automobilisierung“) und außen („Legalisierung“) differenziert wird. Diese Differenzierung erlaubt es, die notwendigen Unterschiede zwischen dem Außen- und Innengeräusch bei gleichzeitiger Beibehaltung einer gemeinsamen Zugehörigkeit zu implementieren.

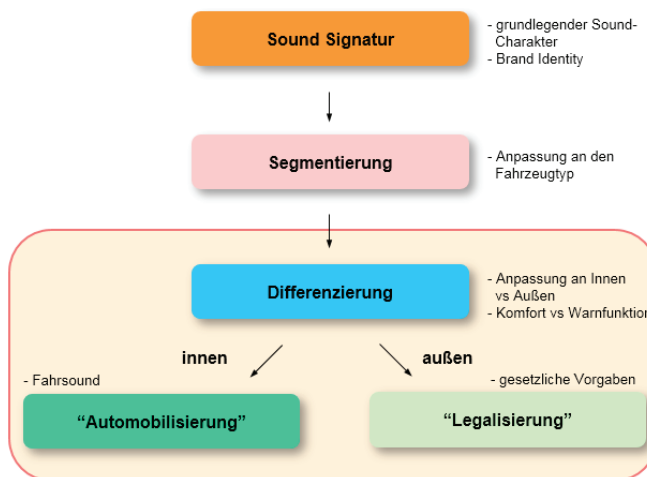


Abbildung 1: Sound Signatur Konzept nach [2].

Um komplexe Geräusche erzeugen zu können, kann die Sound Signatur über zusätzliche Sub-Signaturen verfügen. Auf diese Art und Weise kann das Fahrgeräusche variabler und interessanter auf die Fahrbedingungen abgestimmt werden, in dem z.B. für den Basis-Sound und die Lastrückmeldung unterschiedliche Sub-Signaturen eingesetzt werden. Dieses Konzept kann auch dazu genutzt werden, für den Außenraum eine eigene Sub-Signatur zu definieren.

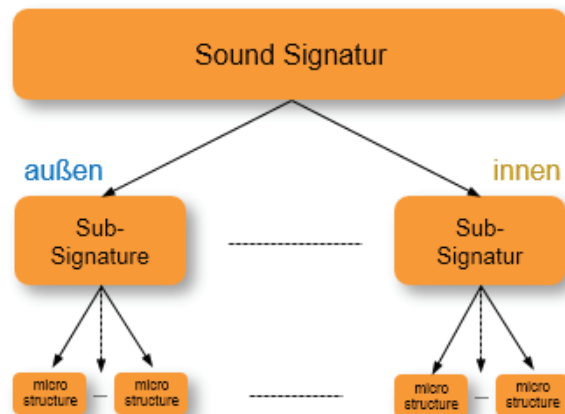


Abbildung 2: Aufspaltung der Sound-Signatur in Sub-Signaturen nach [2]

Unterscheidung Außen vs. Innen

Um Unterschiede im Außen- und Innengeräusch bei Beibehaltung einer gemeinsamen geschlossenen Wirkung zu erzielen, können unterschiedliche Eigenschaften und Parametrisierungen genutzt werden.

Einer der grundlegendsten Parameter ist die Tonhöhe des Fahrgeräusches in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit. Während diese bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor aufgrund des Getriebes sehr variabel und dynamisch ist (Abb. 3 links), muss bei Elektrofahrzeugen der gesamte Geschwindigkeitsbereich homogen abgedeckt werden (Abb. 3 rechts). Hierbei ist es jedoch möglich, den Tonhöhenanstieg außen z.B. steiler zu wählen als innen, da hier ein geringerer Geschwindigkeitsbereich abgedeckt werden muss. Die so entstehenden Tonhöhen müssen jedoch zueinander passen.

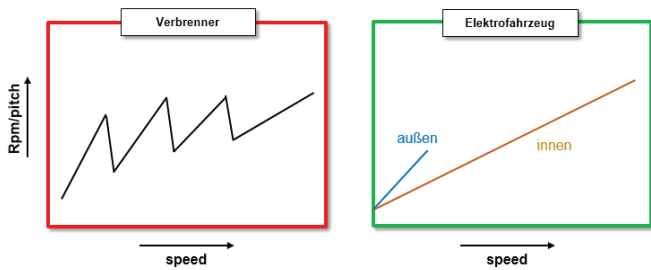


Abbildung 3: Vergleich der Tonhöhen eines Verbrennungsmotors (links) und eines Elektroantriebes (rechts) für eine typische Beschleunigung. Die Tonhöhensteigerung über der Geschwindigkeit kann beim E-Fahrzeug innen und außen unterschiedlich – aber zueinander passend – parametrisiert werden

Folgende weiteren Klangparameter können außen und innen unterschiedlich ausgelegt werden:

- Klangfarbe:
 - innen eher balanciert, geringe Schärfe
 - außen mit gezielter Schärfe, evtl. spektralen Dissonanzen
- Zeitstruktur:
 - innen glatter, mit moderaten Fluktuationen
 - außen mit mehr Rauigkeit, Modulationen und Fluktuationen
- Dynamik:
 - innen glatte Dynamik
 - außen stärker ausgeprägte Dynamik

Eine weitere Differenzierung kann aufgrund der ausgewerteten dynamischen CAN-Parameter erfolgen. Während für das Außengeräusch aus gesetzlicher Sicht die Auswertung der Geschwindigkeit ausreicht, sollten für die Generierung des Innengeräusches möglichst viele dynamische Parameter genutzt werden, um ein abwechslungsreiches und interessantes Geräusch über den gesamten Geschwindigkeitsbereich erzeugen zu können.

Fahrzeugimplementierung

Bei der Serienimplementierung sind unterschiedliche strategische Konzepte der Fahrzeughersteller zu berücksichtigen. Generell existieren drei unterschiedliche Möglichkeiten

1. Separate Erzeugung.

Für das Außengeräusch wird eine separate AVAS-Box verwendet, die eine autarke Geräuscherzeugung und Abstrahlung übernimmt. Für den Innenraum sind die Algorithmen auf einer separaten Einheit, der Headunit oder einem externen Verstärker implementiert. Hier liegt der Vorteil darin, dass die Geräte prinzipiell unabhängig voneinander sind und arbeiten. Wichtig ist hier jedoch, dass aufeinander abgestimmte Geräuscherzeugungsverfahren auf beiden Einheiten eingesetzt werden, und beide Systeme gleichzeitig über einen Editor konfiguriert werden können.
2. Zentrale Generierung auf separater Hardware.

Hier übernimmt eine separate Hardware Unit die Geräuscherzeugung für das Außen- und das Innengeräusch. Für das Außengeräusch wird dann noch eine Box mit Verstärker und Lautsprecher benötigt,

für die Innengeräuschwiedergabe eine Verbindung zum Audiosystem. Da die Geräuscherzeugung zentral erfolgt, ist sichergestellt, dass innen und außen gleiche Verfahren genutzt werden und ein Editor eingesetzt wird. Für diese Lösung ist jedoch eine Änderung des Audiosystems nötig, da das Innengeräusch eingemischt werden muss.

3. Vollintegrierte zentrale Generierung.

Die Geräuscherzeugung für innen und außen erfolgt zentral in der Headunit bzw. einem externen Verstärker. Gegenüber 2. wird die separate Hardware Unit und die Schnittstelle zum Audiosystem eingespart, es sind jedoch entsprechende Ressourcen auf der Headunit oder dem externen Verstärker erforderlich.



Abbildung 4: Fahrzeugimplementierungen

Zusammenfassung

Die Erzeugung der gesetzlich vorgeschriebenen Mindest-Außengeräusche für Hybrid- und Elektrofahrzeuge hat einen erheblichen Einfluss auf das Innengeräusch. Hier kann eine Reduzierung der Geräuschqualität bei gleichzeitiger verbesserter Rückmeldung an den Fahrer durch eine kombinierte Erzeugung der Geräusche Außen und Innen erfolgen. Um das Potential voll auszuschöpfen, ist es erforderlich, die Geräuscherzeugungsverfahren für Außen und Innen aufeinander abzustimmen.

Literatur

[1] Bodden, M; Belschner, T. (2017): Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben beim Sound Design von Außengeräuschen für Elektrofahrzeuge, Daga 2017.
 [2] Bodden, M.; Belschner, T.: Principles of Active Sound Design for electric vehicles, Proc. of the Internoise 2016, 1693-1697