

Aktives Sound Design von Innengeräuschen für Elektrofahrzeuge

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

Einleitung

Die Erzeugung von Innengeräuschen für Elektrofahrzeuge erlaubt eine Maskierung von Geräuschproblemen, die Wiederherstellung der akustischen Rückmeldung auf die Fahrzustände, die Erzeugung einer emotionalen Bindung für den Fahrer, und die stringente Umsetzung eines markenspezifischen Brand Sounds. Hauptanforderungen an die zu erzeugenden Geräusche sind die Authentizität (d.h., die Geräusche müssen in jeder Situation als vom Fahrzeug kommend interpretiert werden) und die Dauertauglichkeit (d.h., die Geräusche müssen interessant, aber abnutzungsfrei sein) bei einer gleichzeitig eindeutigen Abstraktion von den gewohnten Geräuschen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.

Zur Erfüllung dieser Anforderungen muss das einzusetzende Sound Design komplexe Strukturen aufweisen, über die einfache Kopplung einer Geräuschsynthese an den Fahrzeugparameter Drehzahl (wie für das Außengeräusch gefordert) weit hinausgehen, und die Erzeugung einer Vielzahl unterschiedlicher Geräusche erlauben.

Die einzelnen Elemente des Sound Designs werden diskutiert, und die Umsetzung in ein effizientes Tool für die Soundentwicklung vorgestellt.

Aktives Sound Design von Innengeräuschen

Das Thema der aktiven Sounderzeugung für Elektrofahrzeuge stellt ein umstrittenes Thema dar. Grundsätzlich befindet sich die Thematik im Aufbau, da sie die erste Anwendung von Sound Design im Automobilbereich darstellt, in der Geräusche von Grund auf komplett neu erstellt, und nicht nur verändert oder ergänzt werden müssen.

Pro und Contra

Als Vorteil der Geräusche von Elektrofahrzeugen wird häufig der Begriff der „Stille“ genannt, der damit den Insassen deutlich mehr Komfort als Geräusche von Verbrennerfahrzeugen liefern soll. Hierbei handelt es sich jedoch nicht tatsächlich um Stille, sondern um im Vergleich leisere Geräusche. Auch leise Geräusche können aber störend sein, vor allem, wenn ein maskierendes Grundgeräusch entfällt. So können die Geräusche von einzelnen Komponenten – speziell hochfrequente tonale Geräusche des Antriebs – selbst in sehr leiser Form lästig und störend wirken. Da Gewicht eingespart werden muss, werden auch die Geräusche der weiteren Komponenten deutlicher hörbar. Zudem wird der Bereich zwischen den tieffrequenten Reifengeräuschen und den hochfrequenten Windgeräuschen nicht mehr durch das Verbrennungsgeräusch gefüllt, so dass eine spektrale Fehlbalance entsteht. All das kann nur durch sehr

aufwendige, kosten- und gewichtsintensive NVH-Maßnahmen gemildert werden.

Durch den Wegfall der Verbrennergeräusche fehlt zudem die Rückmeldung über den Betriebszustand an den Fahrer, Emotionen werden nicht mehr übertragen, und eine Darstellung der Markenattribute entfällt vollkommen.

Diese Argumente für eine Generierung von Innengeräuschen für Elektrofahrzeuge werden ergänzt durch die Notwendigkeit in Form der Gesetzgebung, die eine Generierung von Außengeräuschen vorschreibt. Damit wird eine Erzeugung für Außen zwingend erforderlich, was zum einen dazu führt, dass sich mit dem Thema intensiv beschäftigt werden muss, zum anderen aber die nach außen abgestrahlten Geräusche in der Regel auch innen wahrgenommen werden. Dies muss durch eine gleichzeitige angepasste Erzeugung von Innengeräuschen abgefangen werden.

Die Reserviertheit gegenüber der Erzeugung von Innengeräuschen für Elektrofahrzeuge mag zudem darin begründet sein, dass bisher nur wenige überzeugende Geräusche entwickelt werden konnten. Das liegt zum einen an der fehlenden Erfahrung aufgrund der Neuheit des Feldes und den geänderten Anforderungen an die Expertise, zum anderen aber auch an dem Fehlen von geeigneten Werkzeugen zur Erzeugung der notwendig komplexen Geräusche.

Sound Design & Sound Quality

Da die zu erzeugenden Geräusche von der eigentlichen Funktionsweise des Fahrzeugs komplett abgelöst sind, besteht prinzipiell eine absolute Freiheit des Sound Designs. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass sie zu erzeugenden Geräusche den Grundprinzipien der Geräuschqualität folgen müssen – sie müssen ihre entsprechenden Aufgaben erfüllen. Das Sound Design muss also in Einklang mit der Psychoakustik, der Geräuschqualität, den Sound Scapes und der Fahrdynamik des Fahrzeugs stehen.

Hierzu ist ein systematischer Ansatz erforderlich, der in der Lage ist, die Generierung und Anpassung von Sounds regelbasiert und flexibel umzusetzen. Hieraus ist das im folgenden vorgestellte Sound Signatur Konzept entstanden.

Das Sound Signatur Konzept

Das Konzept der Sound Signaturen benutzt eine wiedererkennbare Basisgestalt, die den Klangcharakter eines Fahrzeugs definiert. Dieser wird durch eine geeignete Verknüpfung mit den dynamischen Fahrzeugparametern zu einem Fahrgeräusch umgewandelt. Das Konzept wurde in [1] vorgestellt und inzwischen erweitert.

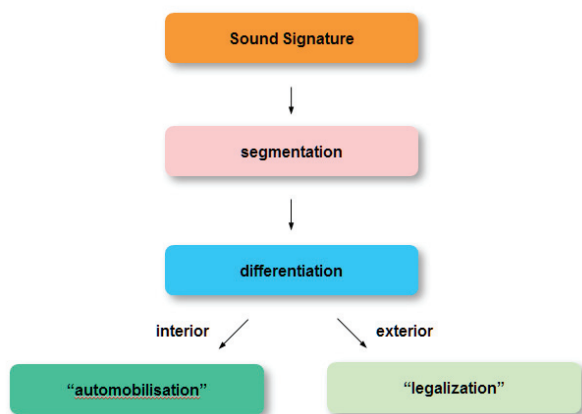


Abbildung 1: Aufbau des Sound Signatur Konzeptes.

Sound Signaturen

Die Sound Signatur repräsentiert die typischen Klangeigenschaften, welche ein Fahrzeuggeräusch insgesamt bestimmen. Sie sind demnach perfekt dazu geeignet, einen markentypischen Brand Sound zu definieren – dies manifestiert sich dann in der Brand Sound Signatur. Diese bildet den Basischarakter für die Synthese. Je nach Art der angewandten Syntheseform kann dies entweder in Form eines Sound Samples, eines Satzes von Sound Samples, oder der Inhaltsdefinition bestehen.

Wie in Abb. 2 dargestellt, kann eine Sound Signatur aus unterschiedlichen Untersignaturen bestehen, welche dazu dienen das Geräusch dynamischer und abwechslungsreicher zu gestalten.

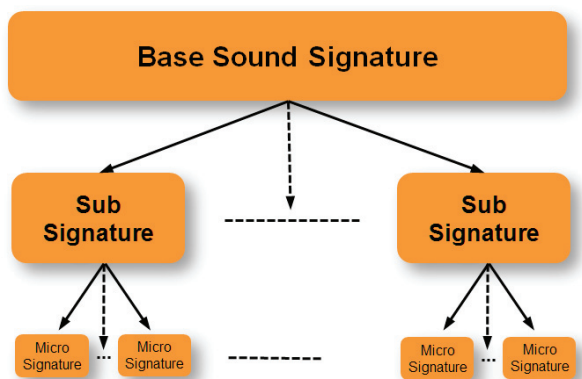


Abbildung 2: Sound Signatur Aufbau in Basis-Signatur, Sub-Signaturen und Mikro-Signaturen

Die Geräusche von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren klingen unter anderem deshalb dynamisch, interessant und abwechslungsreich, da in unterschiedlichen Fahrsituationen unterschiedliche Geräuscheigenschaften hinzu kommen. Dies kann in der Synthese durch entsprechende Sub-Signaturen umgesetzt werden, z.B. für den Grundcharakter, Last und Rekuperation. Je nach Art der Synthese können die Subsignaturen durch unterschiedliche Sound Samples oder durch komplexere Manipulationen der Basis-Signatur umgesetzt werden.

Um aus einem synthetischen Geräusch ein lebendiges und emotionales Geräusch zu erzeugen, sind vor allem Mikrostrukturen der Geräusche wichtig. So ändern sich kleinere Eigenschaften der Verbrennergeräusche ständig

über Drehzahl und Last, und entsprechende Eigenschaften werden in der Mikro-Struktur der Signaturen definiert.

Segmentierung

Für die Entwicklung eines Fahrzeugsounds muss zunächst die Basis Sound Signatur als Variante aus der Brand Sound Signatur abgeleitet werden. Der Grundcharakter der Marke bleibt so erhalten, aber eine Anpassung an den jeweiligen Fahrzeugtyp wird möglich.

Die vorgestellte Struktur in Grund-, Sub- und Mikro-Signaturen erlaubt eine effiziente und wirkungsvolle Segmentierung für unterschiedliche Fahrzeugtypen. Durch Abwandlungen der jeweiligen Signaturen bzw. unterschiedliche Gewichtungen können so sehr unterschiedliche, aber trotzdem zu einer Familie gehörende Geräusche erzeugt werden.

Differenzierung innen – Automobilisierung

Ein Geräusch wird nur dann als ein Fahrzeuggeräusch wahrgenommen, wenn es in jeder Situation als vom Fahrzeug herrührend interpretiert wird. Hierzu ist es erforderlich, aus den Signaturen dynamische Geräusche zu erzeugen, welche den dynamischen Fahrsituationen folgen bzw. diese unterstützen.

Ein grundlegender Zusammenhang der Klangänderung bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor besteht darin, dass die wahrgenommene Klangfarbe mit der Drehzahl des Motors ansteigt. In Abb. 3 sind die Drehzahlen eines Verbrennungs- und eines Elektromotors für eine typische Fahrsituation (hier Ampelstart) schematisch gegenübergestellt.

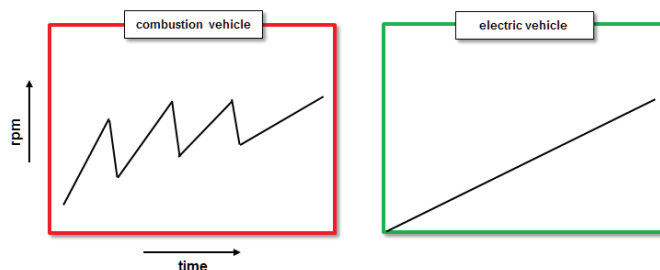


Abbildung 3: Schematischer Verlauf der Drehzahl bei einem Ampelstart. Rechts Verbrenner, links Elektroantrieb

Der Vergleich zeigt sofort, dass der Drehzahlverlauf des Verbrennungsmotors aufgrund des nachgeschalteten Getriebes wesentlich dynamischer und abwechslungsreicher als der des Elektromotors (da ohne Wechselgetriebe) ist. Dementsprechend ist auch das Geräusch des Verbrennungsmotors dynamisch und abwechslungsreich, wohingegen das des Elektromotors statisch und eintönig ist.

Das Sound Design muss demnach für Fahrzeuge mit Elektromotor zusätzliche Maßnahmen treffen, um lebendige und interessante Geräusche zu erzeugen.

Hierzu ist es erforderlich, so viele Fahrzeugzustandsgrößen wie möglich in die Geräuscherzeugung einfließen zu lassen. Die entwickelte Struktur der Sub- und Mikro-Signaturen unterstützt die Entwicklung abwechslungsreicher Sounds, und die Wahl spezieller Syntheseverfahren erlaubt eine entsprechende Umsetzung.

Differenzierung außen – Legalisierung

Die Generierung von Außengeräuschen für Fahrzeuge mit Elektroantrieb ist bzw. wird gesetzlich vorgeschrieben. Die nach außen abgestrahlten Geräusche werden in der Regel auch im Innenraum wahrgenommen, so dass die Geräusche innen und außen harmonisiert werden müssen.

Entsprechend dem Sound Signatur Ansatz kann für außen eine Sub-Signatur verwendet werden. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass zum einen die Klangeigenschaften außen und innen zueinander passen, zum anderen, dass die gesetzlichen Vorgaben für das Außengeräusch erfüllt werden.

Tool und Fahrzeug-Implementierung

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass die Generierung von Geräuschen für Elektrofahrzeuge eine komplexe Aufgabe darstellt, und besonderer Augenmerk auf die Anpassung der Geräusche an das Fahrzeug sowie an ein Abwechslungsreichtum der Geräusche gelegt werden muss.

Die Entwickler der Geräusche benötigen damit leistungsfähige, flexible und effiziente Tools zur Erzeugung und Anpassung von Geräuschen, welche direkt von der Entwicklung im Labor bis zur Integration ins Zielfahrzeug führen.

Ein entsprechendes Tool stellt das System elvis³ dar. Das Tool besteht aus einem Kern, welches die Anbindung an das Fahrzeug realisiert, sowie unterschiedlichen Modulen für unterschiedliche Aufgaben der Aktiven Geräuschgestaltung (siehe [2]).

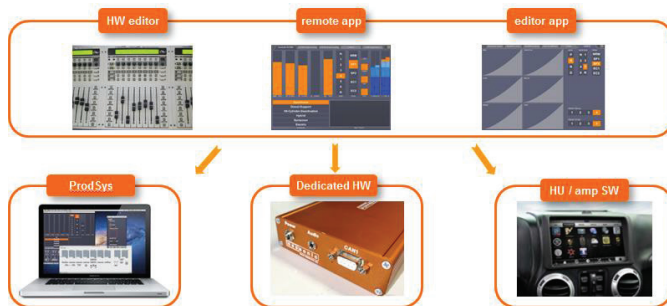


Abbildung 4: elvis³-System für Labor, Fahrzeug und Serieneinsatz

Für die Entwicklung von Geräuschen im Labor wird das Produktionssystem eingesetzt, das eine flexible Änderung und Erweiterung der Geräuscherzeugungs- und Manipulierungsverfahren erlaubt. Im Fahrzeug kann (neben dem Produktionssystem) eine kompakte Hardwareunit verwendet werden, welche identische Funktionen aufweist und nach erfolgtem Tuning direkt z.B. für Langzeiterprobungen im Fahrzeug verbleiben kann. Beide Systeme können in Fahrzeugsimulatoren eingebunden werden, so dass die benötigte Zeit in Prototypenfahrzeugen weiter reduziert werden kann. Die Module stehen zudem als Software-Libraries für den Serieneinsatz auf Drittgeräten wie Headunits oder separaten DSP-Verstärkern zur Verfügung.

Allen Systemen gemeinsam ist ein flexibler Direct-to-unit Editor, mit dem sämtliche Einstellungen direkt während der

Fahrt durchgeführt werden können. Die benötigte Zeit für Fahrzeuganpassungen wird damit auf ein Minimum reduziert.



Abbildung 5: elvis³- direct-to-unit Editor zur Einstellung sämtlicher Parameter direkt während der Fahrt

Zusammenfassung

Für die Erzeugung von Geräuschen von Elektrofahrzeugen werden neue Kenntnisse, komplexe Ansätze und flexible und umfangreiche Tools benötigt.

Der Ansatz der Sound Signaturen mit den entsprechenden Sub- und Mikro-Signaturen ermöglicht die Erzeugung vielfältiger, abwechslungsreicher und dynamischer Sounds, welche trotzdem eine geschlossene Markenidentität erlaubt.

Das System elvis³ stellt eine entsprechende Umsetzung in ein umfangreiches Tool dar, welches von der Laborsituation bis zum Serieneinsatz eine durchgängige identische Plattform bildet. Durch die Modularität des Systems ermöglicht es nicht nur die Erzeugung von Außen- und Innengeräuschen von Elektrofahrzeugen, sondern auch die Unterstützung von Verbrennerfahrzeugen, die Verbesserung von Komponentengeräuschen und eine stringente Umsetzung eines markentypischen Brand Sounds. Eine Anwendung in einer Serienumsetzung wird beispielhaft in [3] beschrieben.

Literatur

- [1] Bodden, M.; Belschner, T.: Sound Design for Silent Vehicles: Security - Identity - Emotion. Audio Branding Congress Proceedings 2010, 69-85.
- [2] Bodden, M.; Belschner, T.: Umfassende aktive Geräuschgestaltung für Fahrzeuge. Fortschritte der Akustik, DAGA 2014, Oldenburg.
- [3] Mercedes-Benz SLS AMG Coupé Electric Drive NVH development and sound design of an electric sports car. Engler, O.; Hofman, M., Mikus, R., Hirrl, T.. 15. Internationales Stuttgarter Symposium, Proceedings, 1295-1309.