

Active Sound Design – Abwägung zwischen Gestaltungsfreiheit und Ressourcenanforderung

Active Sound Design – Trade-off between freedom of design and required resources

Arnd Balger, Jeroen Lanslots, Markus Bodden

<http://dx.doi.org/10.25673/103521>

Abstract

Active Sound Design (ASD) is on the way to become a standard task of every vehicle development program. It is a mandatory feature as Advanced Vehicle Alert System (AVAS) in every electric vehicle. For interior vehicle noise it evolves into a regular complement of passive acoustic measures.

For a vehicle with internal combustion engine (ICE) the optimization of the order-based characteristics is in the focus when active sound is chosen to enhance the vehicle sound. For electric vehicles in contrast the design space is unlimited, as customers have not yet developed a distinct expectation. They have wishes from imitation of a typical ICE sound up to science fiction like sounds. It is an advantage of ASD that car manufacturers can offer multiple sound concepts, as standard offer to switch according to the mood or even as a paid add-on experience.

There are multiple methods to create active sound in a vehicle, like order-based synthesis, replay of sound samples with adapted pitch, frequency modulated synthesis as in music synthesizers, granular synthesis and as addition the shepard tone. They can be implemented individually or in combination to achieve a fuller sound. Their choice determines the effort and tools needed for the sound design development as well as the resource requirements to the infotainment system (head unit) of the series vehicle. While active sound becomes a standard feature even in high volume vehicle series, weighting of the trade-offs becomes increasingly important to achieve a good balance between customer satisfaction and profitability.

This paper discusses advantages and disadvantages of the methods regarding effort and resource requirement. It adds a overview on the complete process from first sound design to development stages that are integrated with classical NVH and sound quality work. Finally fast and efficient implementation into the head unit of the series vehicle is considered.

Kurzfassung

Active Sound Design gehört mehr und mehr zum Standardumfang jeder Fahrzeugentwicklung. Als Fußgängerwarngeräusch (AVAS) in Elektrofahrzeugen ist es Pflicht, für das Innengeräusch etabliert es sich als selbstverständliche Ergänzung neben passiven akustischen Maßnahmen.

Bei Fahrzeug mit Verbrennungsmotor steht die Optimierung der vorhandenen Charakteristik aus Ordnungen im Vordergrund, wenn Active Sound den Motorsound unterstützen soll. Der Gestaltungsspielraum bei Elektrofahrzeugen ist dagegen grenzenlos, da Kunden noch keine ausgeprägte Erwartung haben und wenn, dann findet man Wünsche vom Nachahmen des bekannten Verbrenners bis zum Science-Fiction-Sound. Gut, dass man den Kunden mit Active Sound mehrere Klangkonzepte anbieten kann, serienmäßig zum Umschalten oder sogar als kostenpflichtiges Add-On.

Es gibt verschiedene Methoden zur Erzeugung des Active Sounds im Fahrzeug, wie die ordnungsbasierte Synthese, Wiedergabe von Sound Samples mit Anpassung der Tonhöhe, frequenzmodulierte Synthese wie in Synthesizern, granulare Synthese und als Ergänzung den Shepard Ton. Einzelnen oder für eine gute Klangfülle kombiniert, entscheiden die Methoden über den Aufwand und die Werkzeuge in der Active Sound Entwicklung, ebenso wie über die Ressourcenanforderungen im Infotainment-System (Head Unit) im Serienfahrzeug. Mit der immer selbstverständlicheren Nutzung von Active Sound in Großserien und preiswerteren Fahrzeugklassen, wird die Abwägung von Vor- und Nachteilen immer wichtiger für eine gute Balance zwischen Kundenzufriedenheit und Wirtschaftlichkeit.

Dieser Vortrag erläutert die Methoden mit ihren Vor- und Nachteilen bezüglich Aufwands und Ressourcenanforderungen, illustriert mit Soundbeispielen. Dabei wird der ganze Prozess von erstem Sound Design, über die Entwicklung integriert mit klassischer NVH- und Sound Quality Arbeit, bis hin zur schnellen und effizienten Implementierung in die Head Unit des Serienfahrzeuges betrachtet.

1. Sound Quality und Active Sound Design

Active Sound in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor gibt es schon lange, primär zur Verstärkung eines sportlichen und kraftvollen Eindrucks des Antriebs. In Elektrofahrzeugen gab es erste Beispiel um 2012, denen bis 2018 wenige weitere folgten. Seitdem nimmt der Einsatz stark zu, nicht zuletzt durch gesetzliche Forderungen nach einem Fußgängerwarngeräusch (AVAS). Wenn schon Active Sound, warum nicht auch zugunsten der Passagiere?

Beim Elektroantrieb ist das Ziel nicht die Verstärkung der meist eher als lästig bis unangenehm empfundenen hochfrequenten und tonalen Geräusche. Stattdessen soll der natürliche Sound eher maskiert und durch einen eigenen, von Grund auf konzipierten Sound ersetzt werden.

„Akustische Qualität“ zu bewerten und zu erreichen wurde und wird in vielen Forschungsarbeiten vorangetrieben. Active Sound Design wirft dabei neue Fragen auf. Natürlich werden die erarbeiteten Sound Quality Metriken genutzt, aber der künstlerische Aspekt des Sound Designs und die erreichte akustische Ästhetik erschließt sich damit nur unzureichend.

Leichter Bewerten lässt sich die technische Audioqualität, unter anderem bestimmt durch die verwendeten Werkzeuge und technische Eigenschaften des Infotainment-systems.

Die Frage bei einem Elektrofahrzeug stellt sich, mit welchen Zielen werden die Freiheiten beim Sound Design genutzt und wie gut werden die Ziele erreicht?

Ziele können unter anderem sein

- Rückmeldung an den Fahrer über den Fahrzeugstatus
- Die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug fördern
- Emotionale Eindrücke des Fahrerlebnisses fördern
- Einen Brand Sound etablieren
- Personalisierte Erlebnisse ermöglichen
- Einen ständigen Basis Sound erzeugen, der lästige Geräusche maskiert und so die Angenehmheit erhöht

Vor allem der letzte Punkt hat Bezug zur klassischen Sound Quality Arbeit, während sich die anderen Ziele eher auf Kundenwünsche oder Sicherheitsaspekte beziehen. Darunter sind Fragen, die sich der Sound Designer gemeinsam mit Fahrzeugdesignern, Marketing und anderen Kreativen der Fahrzeugentwicklung stellen muss, damit alle Fahrzeugeigenschaften ein harmonisches Ganzes ergeben. Bei der Absicherung des Sound Design Ergebnisses schließlich kann ein Jury Test als klassisches Sound Quality Werkzeug eine Rolle spielen.

2. Active Sound Design Methoden

Um die Freiheiten beim Sound eines Elektrofahrzeuges zu nutzen, kann der Sound Designer auf eine Reihe von Methoden zur Sound Erzeugung zurückgreifen. Sie haben ihre Vor- und Nachteile im Hinblick auf ihre Merkmale wie verfügbare Parameter, die erreichbare Klangfülle und den eigenständigen Charakter, aber auch im Bezug auf die Anforderungen bei Implementierung in die Fahrzeugsysteme in der Serie, insbesondere an Anforderungen an die Rechenleistung in Millionen Instruktionen pro Sekunde (MIPS).

Viele Methoden sind geeignet, solange sie einen dynamischen Sound erzeugen, der jederzeit mit dem aktuellen Fahrzeugzustand korreliert. Die gebräuchlichsten Methoden werden im Folgenden besprochen.

2.1 Ordnungsbasierte Synthese

Diese Methode ist lange bekannt und etabliert, da sie zur Optimierung des Sounds von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor eingesetzt wird. Im Elektrofahrzeug kann sie einen ähnlichen Sound replizieren, mit typischen Ordnungen beispielsweise eines 4- oder 6-Zylindermotors, von dezent bis sportlich. Eine Reihe von Frequenzgeneratoren erzeugt dazu die für die Motorcharakteristik typischen Ordnungen abhängig von der aktuellen Drehzahl.

Das so erzeugte Ergebnis ist recht statisch und klingt synthetisch. Es ist zur leichten Unterstützung eines vorhandenen Fahrzeugsounds geeignet, weniger als dominante Komponente.

Für ein authentisches eigenständiges Geräusch auf Basis von Ordnungen bei hohen Pegeln werden Erweiterungen der Methode verwendet.

- Die Phasenlage zwischen Ordnungen habe einen großen Einfluss auf das Geräusch. Da die Phasen oft nicht eindeutig bestimmt sind, erhöht schon eine zufällige Variation der Phasen die Authentizität.
- Die verwendete Drehzahl des CAN Buses ist ein Mittelwert ohne die Drehungleichförmigkeiten und Schwankungen der tatsächlichen Motordrehzahl. In der Sounderzeugung werden daher künstliche geringe Drehzahlschwankungen überlagert.
- Die Abhängigkeit der Ordnungsamplituden von der Motorlast kann durch Ordnungsverläufe bei mehreren Laststufen beschrieben werden, zwischen denen interpoliert wird, siehe Bild 1.
- Weitere Schritte der Signalbearbeitung können einen Charakter wie Rauigkeit weiter hervorheben. Viele Aspekte eines Verbrennungsmotors wie mechanische Geräusche oder akustische Eigenschaften der Abgasanlage lassen sich jedoch kaum reproduzieren

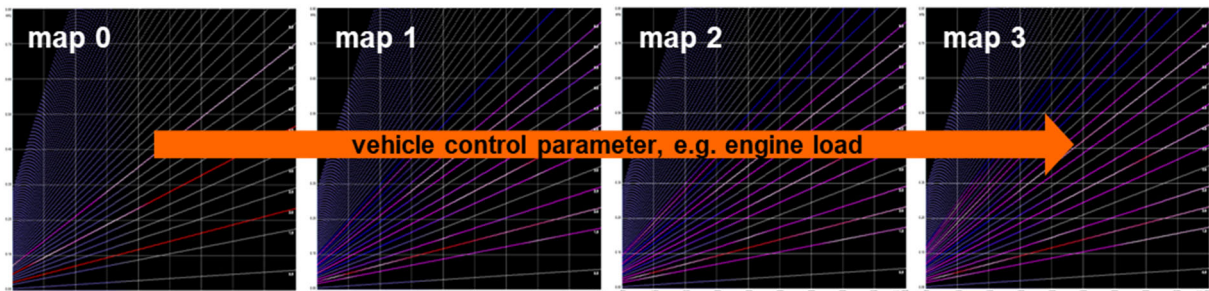


Bild 1: Ordnungen für Interpolation der Ordnungsamplituden abhängig von der Last

Tabelle 1: Eigenschaften der ordnungsbasierten Synthese

Category	
analysis-related method – often analysis results are reproduced	
Typical parameters	
<ul style="list-style-type: none"> • Number of orders reproduced • Order levels as a function of engine speed (and engine load) • Order phases • Randomization 	
Pros:	Cons:
<ul style="list-style-type: none"> • very predictable, defined by well understood parameters • design approach is analytical, ICE knowledge based • that single layer already allows variable sound • resource-friendly with regard to memory needed 	<ul style="list-style-type: none"> • the achievable sound character is limited

Aufgrund der Beschränkungen der einfachen ordnungsbasierten Synthese wird sie kaum für Elektrofahrzeuge eingesetzt. Mit Erweiterungen ist der Einsatz eher denkbar, aber der Vorteil eines gut vorhersagbaren Ergebnisses und geringer Anforderungen an die Ressourcen gegenüber anderen fortgeschrittenen Methoden wird dabei geringer.

2.2 Sound Samples mit angepasster Tonhöhe

Die Methode verwendet ein kurzes Sound Sample das in Endlosschleife abgespielt wird. Durch Anpassung der Tonhöhe in Abhängigkeit von Drehzahl oder Geschwindigkeit und Last wird der Bezug zum dynamischen Fahrzeugzustand hergestellt.

Das verwendete Sample benötigt einen konstanten Charakter. Starke Änderungen innerhalb des Samples würden sonst als mit jeder Schleife wiederholtes Ereignis wahrgenommen, das nicht mit dem Fahrzeugzustand korreliert. Die Korrelation wird nur durch die Tonhöhenänderung erzeugt. Bild 2 als Beispiel definiert eine Tonhöhe, die bei niedrigster Geschwindigkeit nur halb so hoch ist wie die Original Tonhöhe bei höchster Geschwindigkeit.

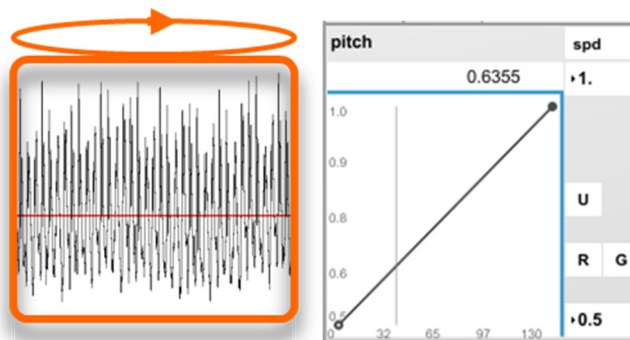


Bild 2: Sound Sample und geschwindigkeitsabhängige Anpassung der Tonhöhe

Variantenreicher wird das Sound Design, wenn mehrere Samples und Tonhöhenänderungen kombiniert werden. Das gleiche Sample bei mehreren Tonhöhen führt zu vollere Klang. Mehrere Samples, die beispielsweise geschwindigkeitsabhängig ineinander überblenden, sind ebenfalls denkbar.

Die Anforderungen der Methode an die Rechenleistung sind gering, der Speicherplatzbedarf kann bei Verwendung mehrerer Samples für vollen Klang dagegen hoch werden.

Tabelle 2: Eigenschaften von Sound Samples mit angepasster Tonhöhe

Category	
replication-related method – reproduce existing sound character	
Typical parameters	
<ul style="list-style-type: none"> • sample • pitch at a function of dynamic control parameter 	
Pros:	Cons:
<ul style="list-style-type: none"> • most predictable method • easy to reproduce desired or already existing sound features • resource-friendly (MIPS) • No deep Sound Design knowledge needed 	<ul style="list-style-type: none"> • Static - limited character change • constraints to the sample need to be considered • highest memory resources need of all methods: number and sizes of the samples for full sound is high

2.3 Frequenzmodulierte Synthese

Die Tonerzeugung durch Frequenzmodulation ist in Synthesizern als Musikinstrument lange verbreitet. Dabei wird der Frequenzgehalt eines Trägersignals mit einem weiteren Signal moduliert. Das kann mehrfach in Stufen wiederholt werden, um mit geringem Ressourcenaufwand beeindruckend komplexe Geräusche zu erzeugen.

Das Eingangssignal kann aus einem Oszillator stammen oder ein beliebiges Sound Sample sein. Die Ressourcenanforderungen dazu sind gering.

Bild 3 zeigt das Beispiel einer 200 Hz Sinussignals, das mit 2 Oszillatoren moduliert und anschließend in ein Signal kombiniert wird. Beim Einsatz für Active Sound im Fahrzeug wird die Frequenz des Eingangssignals dem Fahrzeugzustand wie beispielsweise der Geschwindigkeit angepasst.

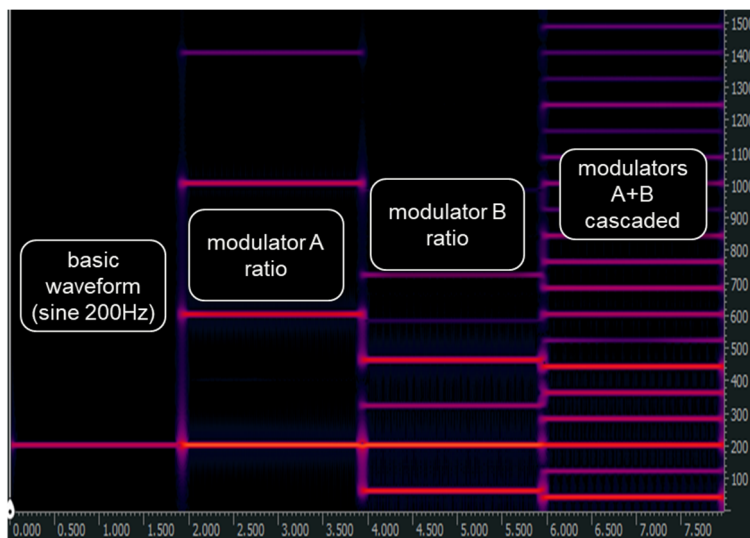


Bild 3: Beispiel frequenzmodulierter Synthese

Tabelle 3: Eigenschaften der frequenzmodulierten Synthese

Category	
synthesizer style method, creative sound generation	
Typical parameters	
<ul style="list-style-type: none"> • sample for base signal (or oscillator type) • modulation frequency (frequencies) • modulation index (indices) 	
Pros:	Cons:
<ul style="list-style-type: none"> • common for users familiar with music synthesizers • resource-friendly for memory (very short sound sample) • resource-friendly for processing (MIPS) 	<ul style="list-style-type: none"> • a single layer typically is not sufficient • Ressource requirements depending on the number of modulations stages

2.4 Granulare Synthese

Die granulare Synthese basiert auf Sound Samples und wendet darauf spezifische Schritte der Signalverarbeitung an, um dem Active Sound mehr Variabilität zu geben, im Gegensatz zur reinen Tonhöhenänderung. Der Begriff granulare Synthese beschreibt nur dieses Grundprinzip, die verwendeten Bearbeitungsschritte können in verschiedenen Werkzeugen, die das Prinzip umsetzen, sehr unterschiedlich sein.

Basis ist ein Sound Sample, von dem in jedem Augenblick nur kleine Abschnitte verwendet werden, die sogenannten Grains. Diese werden mit einer Fensterfunktion ausgeschnitten und in Endlosschleife wiedergegeben. Zusätzlich werden die Länge und Position des Grains im Sound Sample variiert, was zu einem abwechslungsreichen und lebendigen Sound beiträgt, sofern ein Sound Sample mit Varianz statt monotonem Charakter verwendet wird. Im Gegensatz zur Wiedergabe eines festgelegten Samples mit angepasster Tonhöhe kann durch diese Positionsänderung der Charakter des Sounds auf Basis eines einzelnen Samples stärker variiert werden, abhängig von Fahrzeugparametern wie der aktuellen Geschwindigkeit und Last.

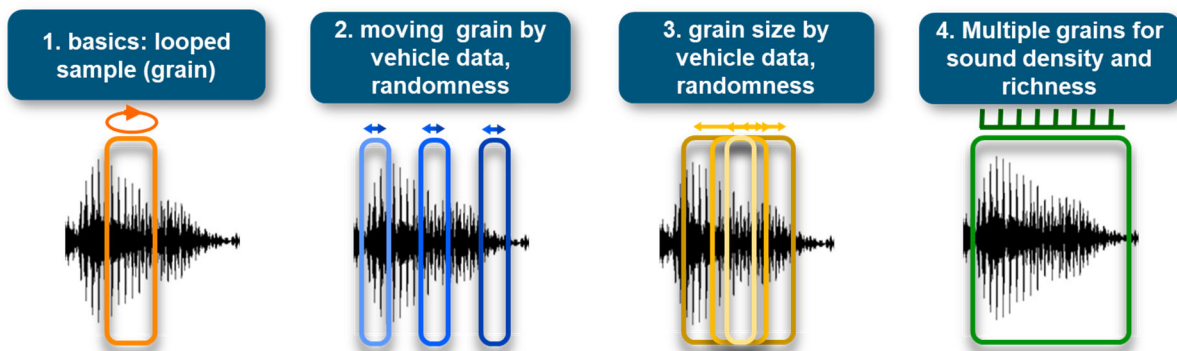


Bild 4: Grundlagen der granularen Synthese

Üblicherweise reichen Samples von 2 Sekunden Länge für einen lebhaften Sound. Obwohl die Synthese auf nur einem Sample basiert, kann der erzeugte Sound durch Wahl der Parameter der komplexen Signalverarbeitung stark abgewandelt vom Ursprungssound klingen, wobei das Ergebnis doch an den Charakter des Ausgangssamples erinnert. Die Ressourcenanforderungen sind dabei moderat, insbesondere angesichts der Komplexität des Sounds der erreicht werden kann.

Die Vielfalt möglicher Parameter erlaubt eine größere Kreativität als andere Methoden. Ziel ist weniger die Reproduktion, sondern vielmehr die Erzeugung eines eigenständigen Sound Charakters.

Tabelle 4: Eigenschaften der granularen Synthese

Category	
design-related method – intends to create something new	
Typical parameters	
<ul style="list-style-type: none"> • sample • pitch • number of grains • window function 	<ul style="list-style-type: none"> • grain position • grain length • position and length random values
Pros:	Cons:
<ul style="list-style-type: none"> • creation of rich, vivid and variable sounds • creative design tool • single layer already allows to create variable sound • resource-friendly with regard to memory • processing: only medium MIPS requirements 	<ul style="list-style-type: none"> • less predictable sound generation (which is not necessarily a con) • a single layer typically is not sufficient

2.5 Shepards Ton

Die auf Samples basierten Methoden mit angepasster Tonhöhe und die granulare Synthese verschieben den genutzten Frequenzbereich bei höheren Drehzahlen und Geschwindigkeiten hin zu höheren Frequenzen. Bei höherer Geschwindigkeit fällt dann das Fehlen von Geräuschanteilen bei niedrigen Frequenzen auf. Zudem wandert der Frequenzinhalt bei elektrischen Antrieben ohne Getriebe kontinuierlich immer weiter zu hohen Frequenzen, ohne durch Schalten wieder reduziert zu werden.

Um dennoch niedrige Frequenzen im Geräusch zu behalten, kann der Shepard Ton genutzt werden. Tonale Komponenten werden in der Frequenz erhöht, bei einer festgelegten Grenzfrequenz ausgeblendet und bei niedriger Frequenz wieder eingeblendet. Werden mehrere Töne verwendet, entsteht ein voller Klang, der scheinbar immer ansteigt und dennoch im definierten Frequenzbereich bleibt. Der Shepard Ton ist eine wertvolle Ergänzung zu den anderen Methoden, um mit geringen Ressourcen einen gehaltvollen Sound mit niedrigen Frequenzanteilen sicherzustellen.

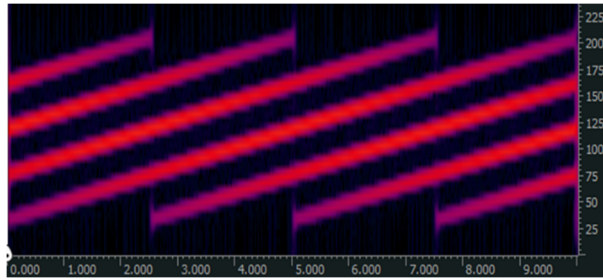


Bild 5: Shepard Ton mit 4 Anteilen von 30 bis 200 Hz

Tabelle 5: Eigenschaften des Shepard Tons

Category	
specific add-on method – intended to complement other methods	
Typical parameters	
<ul style="list-style-type: none"> • number of components • min and max frequency limits • pitch shift slope 	
Pros:	Cons:
<ul style="list-style-type: none"> • efficient to keep low frequencies and include variability into the sound • memory: resource-friendly with regard to memory • Processing: resource-friendly with regard to MIPS 	<ul style="list-style-type: none"> • a single layer typically is not sufficient for variable and rich sound generation

3. Implementierung im Fahrzeug

Zuvor wurde eine Auswahl an Methoden für Active Sound Design gezeigt, mit unterschiedlichen Charakteristiken, Vor- und Nachteilen. Je nach zulässigem Aufwand und dem Anspruch an das Ergebnis kann eine andere Methode bevorzugt sein. Für ein umfassendes Sound Design wird es oft eine Kombination der Methoden sein, so dass sie sich gegenseitig ergänzen, oder eine Methode wird mehrfach parallel mit unterschiedlichen Einstellungen genutzt. Bild 5 zeigt eine solche vielschichtige Implementierung schematisch, einschließlich optionaler Einbindung des AVAS Sounds in das Gesamtdesign.

Die mehreren parallel erzeugten Soundanteile werden in der Designphase über eine Software parametrisiert und durch eine Hardwareeinheit erzeugt. Meist wird im Fahrzeug schließlich das vorhandene Audiosystem zur Erzeugung verwendet. Ergänzend können andere Komponenten wie Shaker für fühlbare Anteile dazu kommen.

Der AVAS Sound wird auch im Serienfahrzeug entweder von einer separaten Einheit erzeugt, oft integriert in einen aktiven AVAS Lautsprecher, oder er stammt als weiterer Kanal vom zentralen Audiosystem. Die Erzeugung durch eine Einheit stellt sicher, dass

AVAS Sound und Active Sound im Innenraum sich ergänzen und nicht etwa im Hinblick auf Sound Quality unerwünschte Effekte auftreten.

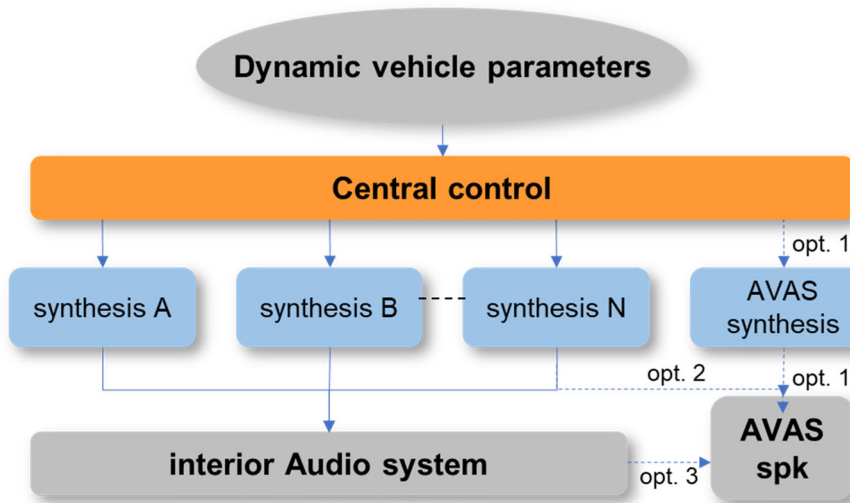


Bild 6: Schema einer flexiblen Lösung zur Active Sound Generierung

Ein gesamter Entwicklungsprozess wird in Bild 7 skizziert. Die gleiche Software wird beim Design Prozess am Rechner am Schreibtisch genutzt, bei der Validierung und interaktiven Optimierung im Fahrzeug, sowie bei der Übertragung des Active Sound Models in die Head Unit des Infotainmentsystems für den Serieneinsatz. In der Validierungsphase im Fahrzeug kann spezifische Hardware genutzt werden, solange man sich noch nicht mit dem Infotainmentsystem verbinden möchte. Zudem ermöglicht das System die Einbindung des Active Sounds in Simulatoren.

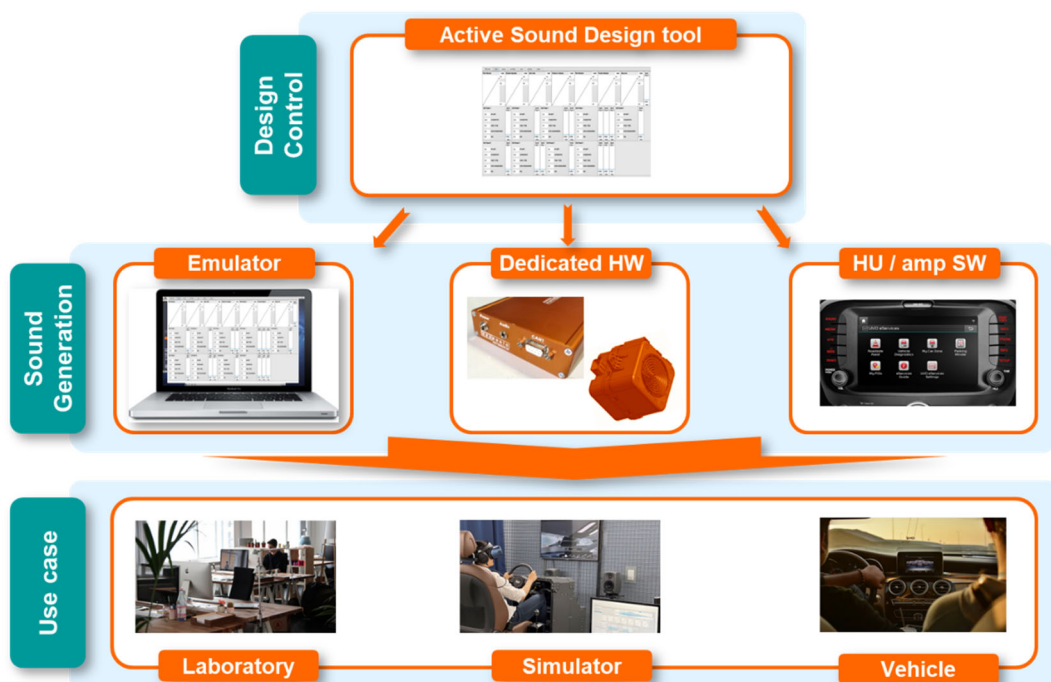


Bild 7: Anwendung der Werkzeuge einer Lösung für Active Sound Design

4. Active Sound für ein High-Performance Fahrzeug

Das in diesem Abschnitt beschriebene Beispiel des Active Sound Konzepts für ein High-Performance Fahrzeug überschreitet Grenzen der Erwartungen an den Sound eines Standardfahrzeugs für den täglichen Einsatz. Das ist nicht verwunderlich, da der Sound zum Fahrzeug passen muss. Entsprechend gibt es für Gelegenheiten, in denen extreme Fahrleistungen abgerufen werden, auch extremen Sound. Damit skizziert das Beispiel den Umfang der Möglichkeiten, die Active Sound bietet.

High-Performance Fahrzeuge sprechen eine sehr spezielle Zielgruppe an, die nicht nur Wert auf außergewöhnliche Fahrleistungen legen, sondern auch emotional angesprochen werden wollen, nicht nur durch das Fahrzeugdesign, sondern auch durch den Fahrzeugsound. Die Fahrleistungen wollen mit allen Sinnen erlebt werden. Gegenüber Standardfahrzeugen wird dazu mehr Varianz, Rauigkeit, Kernigkeit und ausgeprägtes akustisches Feedback in jeder Situation erwartet.

Ein Beispiel hierfür gibt das Sound Konzept für ein elektrisch angetriebenes High-Performance Fahrzeug der „N“-Reihe der Hyundai Motor Group. Das Fahrzeug adressiert Enthusiasten, die ihr Fahrzeug nicht nur im Alltag, sondern gerne mal für ein Erlebnis auf einer Rennstrecke nutzen. Dabei soll der Sound des elektrischen „N“-Reihe Fahrzeugs das des bisherigen Spitzenmodell mit Verbrennungsmotor erreichen oder noch besser übertreffen.

Der Sound muss die Sportlichkeit jederzeit unterstreichen, darf nie künstlich und aufgesetzt wirken, sondern so, als ob er von den Antriebskomponenten des Fahrzeugs selbst stammt. Der elektrische Antrieb selbst leistet dazu kaum einen Beitrag.

Das Sound Konzept kann sich am Sound des Verbrennungsmotors orientieren, die Elektrifizierung des Antriebs hervorheben oder futuristisch gestaltet sein, Hauptsache es verfolgt ein Konzept konsequent und technisch perfekt. Unperfekt wäre beispielsweise ein Sound, der spürbar verzögert zum zu unterstreichenden Fahrzeugzustand oder Ereignis erfolgt. Sofort wäre der Eindruck eines authentischen Erlebnisses gestört.

Active Sound erlaubt mehrere Sound Konzepte umschaltbar zu implementieren, um auch akustisch zwischen Einkaufsfahrt und Rennstrecke zu unterscheiden. Es wird nicht verwundern, dass neben neuartigen Sounds eines der wählbaren Sound Konzepte das Erbe des Sounds des N-Fahrzeuges mit Verbrennungsmotor in fast schon übersteigerter Form aufgreift.

Schaltvorgänge unterstreichen den dynamischen Eindruck im Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Konsequenterweise bietet auch das elektrische Fahrzeug im Sound Modus ‚Verbrenner‘ die gewohnten Schaltvorgänge, akustisch und zum Erreichen des authentischen Eindrucks mit allen Sinnen auch als kurze Zugkraftunterbrechung durch Regeleingriffe am E-Antrieb. Geschaltet werden kann dabei durch gewohnte Schaltpedals am Lenkrad. Bild 8 zeigt den vom Fahrer wahrgenommenen Drehzahl- und Drehmomentverlauf im Gegensatz zur tatsächlichen Drehzahl des E-Motors.

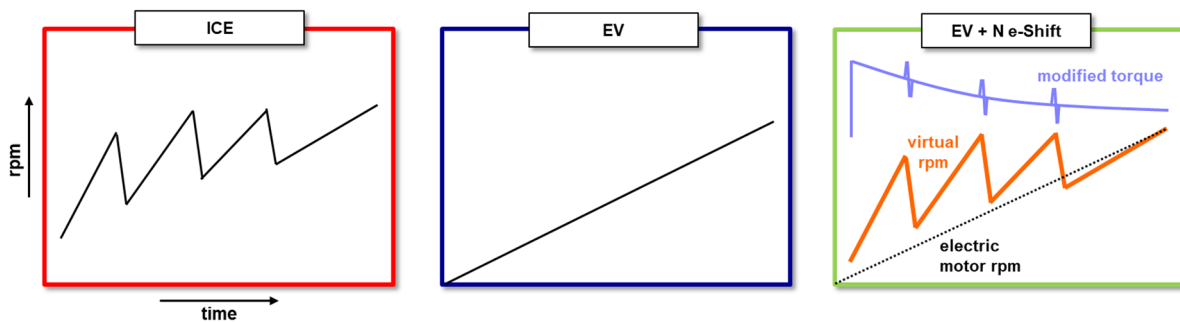


Bild 8: Drehzahlverlauf bei Beschleunigung mit Verbrennungsmotor (links) und e-Antrieb mit 1-Gang-Getriebe (Mitte), im Vergleich dazu durch Sound Design akustisch vermittelter Drehzahlverlauf und Zugkraftunterbrechung des Drehmoments im High-Performance Fahrzeug (rechts)

Die Illusion eines Verbrennungsmotors wäre entzaubert, sobald das Fahrzeug bis zum Stillstand verlangsamt und dabei die Drehzahl auf null fällt. Ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor hat eine Leerlaufdrehzahl, die auch bei aktiver Start-Stop-Funktion erst nach dem Anhalten auf Null fällt. Daher ist auch eine durch Active Sound erzeugte Leerlaufdrehzahl für die perfekte Illusion nötig. Konsequenterweise ist sogar die Option implementiert, durch Gas geben die gehörte Drehzahl im Leerlauf zu erhöhen, obwohl der Elektroantrieb stillsteht.

Ein AVAS Außengeräusch zu implementieren ist Pflicht, wohingegen ein ständig aktives sportliches Außengeräusch eher Kontroversen auslösen kann, selbst wenn es gesetzliche Vorgaben zum Vorbeifahrgeräusch einhält. Dennoch sollte ein High-Performance Fahrzeug Anpassungen für eine eigene Charakteristik erhalten. Leistungsfähigere Lautsprecher erlauben beispielsweise niedrigere Frequenzen innerhalb der AVAS Vorgaben, da niedrige Frequenzen mit leistungsfähigeren Antrieben assoziiert werden. Für die Rennstrecke ist ein eigenständiger Performance-Modus des AVAS Geräuschs als Derivat des Innengeräuschs implementiert.

Rekuperation eines Elektrofahrzeugs ist ein Zustand, den man vom Verbrennungsfahrzeug so nicht kennt. Es gilt, eine passende Soundcharakteristik mitzuentwickeln, die im High-Performance Fahrzeug wiederum ausgeprägter sein sollte als in einem Standardfahrzeug. Leicht und ressourcenschonend gelingt dies, wenn dazu die bereits vorhandene ordnungsbasierte Synthese genutzt wird, die man mit Ordnungen für negatives Drehmoment ergänzt.

Weitere Ereignisse können zusätzlich Beachtung im Sound Konzept finden. Ein Kick-down oder der Wechsel zwischen Fahrmodi sollte sich akustisch bemerkbar machen. Theoretisch ließen sich selbst Sounds wie künstliche Fehlzündungen (Backfire) eines Verbrennungsfahrzeugs in Betracht ziehen, die das Herz von Auto-Enthusiasten bei extremen Beschleunigungen höher schlagen lassen.

5. Zusammenfassung und Ausblick.

Active Sound Design ist ein zunehmend systematisch eingesetztes Element im NVH und Brand Sound Entwicklungsprozesses, insbesondere für Elektrofahrzeuge. Die verwendeten Werkzeuge sollen den kreativen Aspekt der Arbeit unterstützen und nicht einengen. Dazu sollten sie mehrere Methoden für die Generierung von Active Sound anbieten, damit ein reichhaltiger und von Kunden akzeptierter Sound entwickelt werden kann, der die Zielgruppe im optimalen Fall positiv überrascht.

Die Ergebnisse des Active Sound Designs können so vielfältig sein wie Fahrzeugtypen und Kundenwünsche, wie das Beispiel des High-Performance Fahrzeugs zeigt. Was davon sinnvoll und für Kunden und Umgebung akzeptabel ist, ist situationsabhängig. Mehr und mehr ermöglicht Active Sound daher die Auswahl des zur Situation passenden Sounds.

Die in Active Sound Konzepten zu berücksichtigenden Aspekte nehmen weiter zu. Welche Informationen von Assistenzsysteme beispielsweise lassen sich akustisch unterstützt transportieren, ohne den Fahrer damit zu überfordern? Mit welchen Sounds holt man die Aufmerksamkeit des Fahrers am schnellsten zurück, wenn er teilautonom fährt und in einer Gefahrensituation reagieren soll? Werden Klangwelten entstehen, zwischen denen wir am Ende der Entwicklung irgendwann im voll autonomen Fahrzeug je nach Stimmung auswählen können?

Es bleibt spannend, wie elektrische Fahrzeuge weiterentwickelt werden, auch akustisch.

Literatur

- [1] J. Lanslots, M. Bodden, T. Belschner. Active Sound Design methods – Abilities vs Resources. Aachen Acoustics Colloquium 2022
- [2] M. Bodden, T. Belschner, D.C. Park, T.K. Yun, O. Jung. Active Sound Design for High Performance electric vehicles. Aachen Acoustics Colloquium 2022
- [3] Hyundai RN22e. URL: <https://www.hyundai-n.com/en/models/rolling-lab/rn22e.do>