

Zielgeräuschentwicklung von Elektrofahrzeugen

Thomas Küppers¹, Jan-Welm Biermann²

¹ Daimler AG, NVH-Auslegung und Prognoseverfahren, 70372 Stuttgart, E-Mail: thomas.kueppers@daimler.com

² Institut für Kraftfahrzeuge IKA, RWTH Aachen University, 52074 Aachen, E-Mail: biermann@ika.rwth-aachen.de

Einleitung

Der Geräuschcharakter von Elektrofahrzeugen unterscheidet sich gravierend von verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeugen. Die Neuartigkeit dieses Elektrofahrzeugklangbildes bietet das Potential, in der Klanggestaltung schon frühzeitig auf Kundenwünsche einzugehen und damit das typische Elektrofahrzeugklangbild bei Markteinführung entscheidend mitzuprägen. Durch die geförderte Entwicklung im Bereich der Elektromobilität ist mit einer zeitlich synchronisierten Markteinführung vieler Hersteller zu rechnen, weswegen der Druck zur Erfüllung aller Kundenwünsche, inklusive des Geräuschkomforts, stark wächst.

Deshalb wurde bei der Daimler AG eine Promotion durchgeführt, deren Schwerpunkt zunächst ausschließlich das Innengeräusch fokussiert, da die direkte Kundenrelevanz und ständige Erlebbarkeit im Produkt eine stärkere Detaillierung des Sounddesigns notwendig machen. Randbedingungen an etwaige Sounds sind die Authentizität, die Steigerung des Geräuschkomforts, der bewusst gestaltete Informationsgehalt, sowie die Berücksichtigung von Kernwerten der Marke im Sinne eines Brand Sound Designs. Bezüglich konkreter Ausgestaltung oder technischer Realisierung sind der Ideenfindung darüber hinaus keine Grenzen gesetzt.

Um trotz dieses großen Gestaltungsspielraums strukturiert vorzugehen, fokussiert dieser Beitrag den Unterschied zwischen dem klassischen Produkt Sound Design Prozess und einem Zielgeräuschgestaltungs- und Evaluationsprozess für Elektrofahrzeug-Antriebs-Geräusche. Dies beinhaltet sowohl die Methodik beim Evaluationsprozess, als auch die neuartige, strukturierte Vorgehensweise bei der eigentlichen Klanggestaltung. Die zur Evaluation und Verbesserung der Klänge eingesetzten Werkzeuge werden in ihren Möglichkeiten nachfolgend diskutiert.

Klassischer Sounddesignprozess und Adaption

Während der klassische Sounddesignprozess, ausgehend von vorangegangenen Produktgenerationen, Verbesserungen in der Ästhetik des existierenden Klangs vornimmt, dringt der Zielgeräuschfindungsprozess für Elektrofahrzeuge in neue Dimensionen vor. Wichtige Unterschiede sind hierbei:

- Der Sound ist nicht im Zeitverlauf vordefiniert, sondern kann vom Kunden interaktiv beeinflusst werden
- Es gibt keine vorangegangenen Produktgenerationen, von denen Erfahrungen oder Leitlinien vorliegen
- Kundenerwartungen sind vorhanden, können aber durch die semantische Lücke schlecht quantifiziert werden

- Nicht nur die Ästhetik, sondern auch die Funktionalität des Klangs soll angepasst und optimiert werden (Emotion & Information)
- Stärkere Berücksichtigung von Meinung und Persönlichkeit kreativer Designer mit Expertenwissen dient zur Erschließung des gesamten Gestaltungsspektrums [1]
- Der Immersionsgrad bei Probandenversuchen muss möglichst hoch angestrebt werden, um vollständige Eindrücke und Rückmeldungen zu bekommen
- Es liegt keine langjährige Erfahrung vor, sondern die ideale ästhetische Leitlinie und Randbedingungen sind volatil



Abbildung 1: Der Prozess zur Zielgeräuschgestaltung und Evaluation besteht aus vier Teilschritten, die iterativ wiederholt werden müssen, um Kundenwünschen/Trends zu folgen und die Soundqualität durch größere Erfahrung zu verbessern.

Diesen Anforderungen entsprechend muss der Zielgeräuschprozess iterativ durchlaufen werden. Die vier zu berücksichtigenden Aspekte sind die Erfassung der Kundenerwartung, z.B. durch Kundenrückmeldungen von Pilotprojekten und dem Benchmark von Prototypfahrzeugen, sowie der Entwurf potentieller Klangbilder unter Annahme geeigneter Randbedingungen und einer strukturierten Gestaltung. Es folgt die Ermittlung der Kundenakzeptanz dieser Klangbilder, um Stärken und Schwächen der Stimuli durch Testpersonen zu bewerten und die Soundqualität zu verbessern, sowie die Berücksichtigung der Realisierbarkeit, die wiederum Einfluss auf die Gestaltung der Sounds hat und für einen etwaigen Einsatz in Serienfahrzeugen berücksichtigt werden muss.

Strukturierung der Klangsynthese-Gestaltung

Während in der Medienbranche ein Klanggestaltungsprozess zunächst auf heuristischem Vorgehen basiert, bei dem in der Evaluation vorrangig die wahrgenommene Ästhetik bewertet

wird und sich das Design auf zeitlich determinierte Sequenzen beschränkt, müssen bei der Klangsynthese von Fahrgeräuschen durch die Interaktivität komplexere Anforderungen und Randbedingungen berücksichtigt werden. Dazu muss der Designprozess in Einzelaspekte aufgeteilt werden.

Zunächst kann die Struktur eines komplexen Soundkennfeldes auf funktionaler Ebene getrennt werden. Die **Geräuschstrategie** umfasst den großen Zeithorizont einer kompletten Fahrsituation und legt fest, welche Fahrzustandsparameter auf welche Weise in der Klangerzeugung Einfluss finden. Innerhalb der **Geräuschdynamik**ebene wird durch die Clusterung von Parametern das transiente Verhalten innerhalb der Fahrerinteraktionsebene abgebildet, z.B. auf welche Weise welche Klangparameter wie stark verändert werden, sobald der Fahrer das Fahrpedal betätigt.

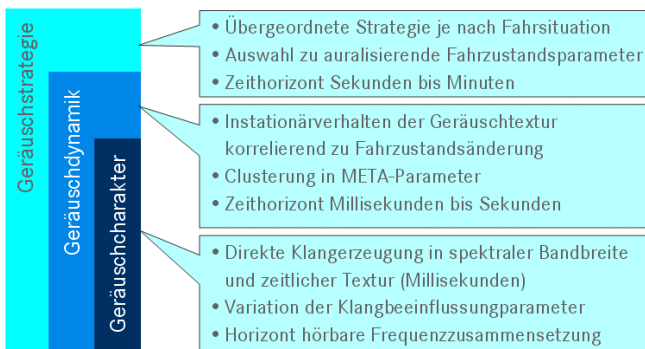


Abbildung 2: Strukturierung der drei Gestaltungsebenen bei Elektrofahrzeuggeräusch-Klangsynthese: Geräuschstrategie, -dynamik und -charakter.

In der **Geräuschcharakterebene** werden modulare Bausteine der eigentlichen Klangerzeugung übereinandergeschichtet, die miteinander kombiniert oder gegeneinander ausgetauscht werden können, während Geräuschstrategie bzw. Geräuschdynamik gleich bleiben. Die Geräuschdynamikparameter verändern die Parameter der Klangbausteine in deren festgelegten Grenzen. Trotz der modularen Struktur erfolgt die finale Abstimmung eines Sounds definitiv unter Berücksichtigung der gesamten Klangstruktur.

Strukturierung des Evaluationsprozesses

Zunächst kann auf Basis von vertonten Videos ein **Hörvergleich im Akustikstudio** stattfinden. Die Stimuli können in gewohnter Weise von Sound Designern aus der Medienbranche geliefert werden, um unvoreingenommene, kreative Daten zu generieren und Hard- und Softwareressourcen aus diesem Designbereich anzuwenden. Die Variantenzahl kann bei solchen Hörversuchen recht hoch gehalten werden, um aus der Vielfalt eine gezielte Gestaltungsrichtung ableiten zu können. Dabei können Untersuchungen von Geräuschcharakter und Geräuschdynamik voneinander separiert werden.

Als Entwicklungstool bietet der **Fahrsimulator** die Möglichkeit, auch ohne Elektrofahrzeugprototypen bereits eine äquivalente Fahrdynamik zu realisieren und den Immersionsgrad zu steigern. Wind- und Rollgeräusche können von Vorgängerbaureihen virtuell übernommen werden, während das eigentlich zu gestaltende Antriebsgeräusch über samplebasierte oder ordnungsbasierte Klangsynthese erzeugt wird,

die dabei interaktiv an Last- und Drehzahlverhalten des Fahrdynamikmodells angepasst werden. Die direkte Umschaltbarkeit zwischen verschiedenen Soundvarianten ist für Gestaltung und Evaluation gleichermaßen von Vorteil. Durch gezielte Beeinflussung des simulierten Szenarios kann der Proband dahingehend beeinflusst werden, alle möglichen Fahrsituationen (Stadt, Land, Autobahn) reproduzierbar zu erleben. Die Vorgehensweise der Geräuschbewertung muss zum einen im Dialog mit den Versuchspersonen erfolgen, um nach der EVE-Methodik (Explorative Vehicle Evaluation) [2] durch interaktives Verändern des Geräusches eine verbesserungsorientierte und zielführende Rückmeldung zu bekommen. Zum anderen müssen quantitative, rein bewertende Probandenmeinungen eingeholt werden, um Präferenzen zu erkennen und die absolute Annäherung an ein Ideal auswerten zu können.

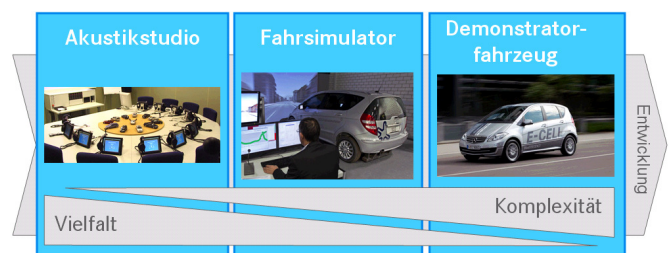


Abbildung 3: Evaluationsprozess durch verschiedene Hörversuch-Werkzeuge: Akustikstudio, Fahrsimulator und Demonstratorfahrzeug. Die Vielfalt wird eingegrenzt, während Komplexität, Immersion und Reifegrad steigen.

Der Immersionsgrad bei **Probandenversuchen im realen Elektrofahrzeug** ist maximal, da die aktive Gestaltung des Antriebsgeräusches im realen akustischen Umfeld des Fahrzeuginnenraums unter seriennahen Bedingungen erlebt werden kann. Die Steuerungsparameter der Klangsynthese werden aus CAN-Bus-Informationen gewonnen, während die elektroakustische Wandlung über die Bord-Audio-Anlage oder spezielle Körperschallaktuatoren erfolgen kann. Neben der reinen samplebasierten Klangsynthese oder der einfachen Generierung von Motorordnungen können durch Wahl eines geeigneten Klangsynthesystems die verschiedensten Generierungsverfahren genutzt werden. [3] Der gezielte Einfluss auf Klangparameter wird damit noch direkter und die kreative Freiheit bei gleichzeitigem Einsatz guter Gestaltungsstrukturierung deutlich gesteigert. Auch für eine technisch mögliche, seriennahe Umsetzung ist dies die Generalprobe. Für die Evaluation gelten die gleichen Regeln wie für Untersuchungen im Fahrsimulator: eine gute Mischung aus Dialog und quantitativer Bewertung ist erforderlich.

Literatur

- [1] Vom Noise-Cleaning zum Produkt-Sound-Design, Ralf Heinrichs, Vortrag 2. Sounddesign Forum Berlin, 2010
- [2] A new approach for developing vehicle target sounds, Brigitte Schulte-Fortkamp, Klaus Genuit, André Fiebig, Fachzeitschrift Sound and Vibration, Oktober 2007
- [3] The Theory and Technic of Electronic Music, Miller Puckette, Draft 2006, <http://crca.ucsd.edu/~msp/techniques.htm>