

EFFIZIENTES TESTEN DURCH KOMBINATION DER SIMULIERTEN VORBEIFAHRT MIT DER OTPA

Dr.-Ing. Dejan Arsić

1. EINFÜHRUNG

Im Rahmen des NVH-Entwicklungszyklus werden das Innen- und das Außengeräusch intensiv untersucht. Dem Außengeräusch kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da es strikten gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich der Typprüfung unterliegt. Zudem spielt die Sound-Charakteristik eine große Rolle, da sie den Fahrzeugcharakter und damit den des Fahrers unterstreicht. Darüber hinaus ist das gewünschte Sound-Design zu realisieren und die geltenden Bestimmungen müssen eingehalten werden. Mit Inkrafttreten der ersten gesetzlichen Regelungen in diesem Bereich wurden zahlreiche Teststrecken speziell zur Bewertung des Außengeräusches gebaut. Obwohl die Erstinvestition in der Regel etwas niedriger ist als die Kosten für einen Prüfstand, müssen die Einschränkungen realer Testfahrten unter freiem Himmel berücksichtigt werden. Zum einen sind derartige Tests in hohem Maße witterungsabhängig, da Messungen nur auf einer trockenen und eisfreien Teststrecke zulässig sind. Zum anderen liegt eine derartige Teststrecke häufig in einer abgelegenen Gegend, um möglichst wenig Hintergrundgeräusche zu haben und Prototypen vor dem Auge der allgemeinen Öffentlichkeit verborgen bleiben. Somit erfordern die Organisation der Messserien und der Transport der Fahrzeuge zur Teststrecke einen entsprechenden logistischen Aufwand. Insbesondere während der Entwicklungsphase, in der normalerweise nach erfolgter Messung entsprechende Modifikationen vorgenommen werden, kann der Transport zwischen Werkstatt und Teststrecke als störend empfunden werden.



Abb. 1: Links: Teststrecke für reale Vorbeifahrtmessungen. Rechts: Aufbau für die simulierte Vorbeifahrt

Um diesen Einflüssen zu begegnen, wurde die simulierte Vorbeifahrt entwickelt, die sich mittlerweile in der Automobilindustrie zu einem allgemein anerkannten Verfahren entwickelt hat [1]. Sie unterliegt ebenfalls strengen Bestimmungen, die eine Vergleichbarkeit mit realen Messungen sicherstellen, wird aber nicht für die Typprüfung zugelassen. Dennoch ist sie ein wertvolles Hilfsmittel in der Entwicklung, da sie einen fundierten ersten Eindruck zum Gesamtgeräusch eines Fahrzeugs ermöglicht.

Vorteilhaft ist neben der gesteigerten Effizienz bei der Außengeräuschbewertung auch eine einfache Integration weiterer Analyseverfahren. Unter Berücksichtigung der Außengeräuschmessung als eigenständige Anwendung liefert die simulierte Vorbeifahrt eine Aussage über das Fahrzeuggeräusch hinsichtlich geltender Bestimmungen oder anderer vorgegebener Ziele.

Für die Lokalisierung möglicher Geräuschquellen innerhalb oder außerhalb des Fahrzeugs sind andere Verfahren empfehlenswerter. Der stationäre Versuchsaufbau in geschlossenen Räumen bietet optimale Voraussetzungen für eine detaillierte Analyse. Unter Verwendung zusätzlicher Mikrofone, die innerhalb und außerhalb des Testobjekts platziert und durch eine Reihe von Beschleunigungssensoren ergänzt werden, lässt sich einfach eine operationelle Transferpfadanalyse (OTPA), ein auf der Übertragbarkeit beruhendes Verfahren aus der Familie der Transferpfadanalysen (TPA), durchführen [2]. Im Unterschied zu anderen Verfahren wird dabei keine physikalisch vollständige Beschreibung einer Struktur, aller Kräfte und der entsprechenden Transferpfade angestrebt. Dieses Troubleshooting-Werkzeug erweist sich insbesondere bei der Klassifizierung und Bewertung möglicher Quellen und Transferpfade als äußerst hilfreich. Zusätzliche Messaufnehmer können in der Nähe möglicher Quellen, z. B. Motor, Abgasanlage, Ansaugsystem und Reifen, platziert werden, um ein Ranking der Beiträge in Bezug zu einer Empfängerposition – in diesem Fall ein Mikrofon eines Linien-Arrays – zu ermitteln.

Der Grundgedanke besteht darin, die Transferfunktionen zwischen den Indikatorpositionen an den Quellen oder in der Nähe und der Antwortfunktion zu berechnen. Auf diese Weise lässt sich eine mehr oder weniger lineare Korrelation zwischen der Quelle und der Antwortposition bestimmen. In einem zweiten Schritt kann ein Ranking aller gemessenen Indikatorpositionen erstellt und damit festgelegt werden, an welchen Positionen Modifikationen vorzunehmen sind, um bessere Ergebnisse zu erzielen.

Das White Paper ist wie folgt aufgebaut: Kapitel 2 enthält eine Übersicht des Aufbaus und des Messverfahrens für reale und simulierte Vorbeifahrtmessungen. Für beide Fälle wird beispielhaft ein Versuchsaufbau dargestellt. Die operationelle Transferpfadanalyse wird in Kapitel 3 beschrieben. Nach einer kurzen Einführung in die Theorie der OTPA und einem Vergleich mit anderen TPA-Methoden in Abschnitt 3.1, enthält Abschnitt 3.2 eine Bewertung hinsichtlich der Messergebnisse, die mit der herkömmlichen Fenstermethode ermittelt wurden. Daran schließt sich in Abschnitt 3.3 die Erörterung des verwendeten Messaufbaus und der gewonnenen Messergebnisse an. Das abschließende Kapitel 4 enthält neben einer kurzen Schlussfolgerung einen Ausblick auf die nächsten Schritte.

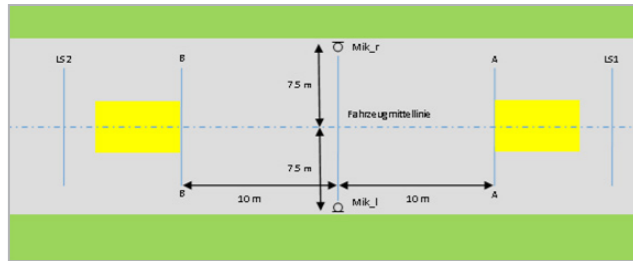


Abb. 2: Schematische Darstellung einer realen Vorbeifahrt-Messstrecke mit zwei Mikrofonen rechts und links der Teststrecke, Lichtschranken und dem Messbereich

2. SIMULIERTE VORBEIFAHRT FÜR AUSSENGERÄUSCHMESSUNGEN

Wie bereits dargestellt, ist die simulierte Vorbeifahrt mittlerweile ein anerkanntes Verfahren zur Außengeräuschmessung. Erfahrungsgemäß sind die Messergebnisse, die im Prüfstand und auf einer realen Teststrecke ermittelt werden, miteinander vergleichbar, sofern die Abmessungen des Raums, dessen akustische Eigenschaften sowie die Mikrofonpositionen korrekt ausgelegt wurden. Wenngleich Messungen der simulierten Vorbeifahrt nicht für die Typprüfung zugelassen sind, wurden bereits zahlreiche Prüfstände gebaut, da sie die Möglichkeit bieten, effizient und schnell Fahrzeuge zu testen, Modifikationen zu vergleichen und den Entwicklungsprozess signifikant zu verbessern.

2.1. Vergleich des Testaufbaus für reale und simulierte Vorbeifahrten

2.1.1 Reale Vorbeifahrtmessungen

Teststrecken für reale Vorbeifahrtmessungen unterliegen strikten Bestimmungen, in Bezug auf den zu verwendenden Betonbelag, die zulässigen Hintergrundgeräusche sowie die Umgebungsbedingungen. Zudem dürfen die Messungen nur bei geeigneten Witterungsbedingungen durchgeführt werden. Der Standort der Teststrecke ist unter Berücksichtigung eines möglichst kurzen Transportwegs für die zu testenden Fahrzeuge sorgfältig auszuwählen. Für den Messaufbau gelten ebenso enge Vorgaben, wie die UN ECE 51.02 und die 51.03 R (siehe Abbildung 2). Die Mikrofone werden in einem Abstand von 7,5 m von der Teststrecke platziert. Der für die Messung relevante Bereich wird durch die Linien AA und BB gekennzeichnet, die zu beiden Mikrofonen einen Abstand von 10 m nach vorn und nach hinten aufweisen. Die Messung wird ausgelöst, sobald das Fahrzeug die AA-Linie überquert und endet mit dem Passieren der BB-Linie. Die Lichtschranken LS1 und LS2 triggern die Messung. Messungen nach dem alten Verfahren (u.a. UN ECE R51.02) werden in unterschiedlichen Gängen gewöhnlich mit demselben Zyklus ausgeführt, sodass das Fahrzeug die AA-Linie mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h passiert und dann voll beschleunigt wird. Neben dem tatsächlichen Geräusch muss dabei lediglich die Fahrzeuggeschwindigkeit erfasst werden.

Nach den neuen Bestimmungen (u. a. UN ECE 51.03 R) beträgt die Zielgeschwindigkeit an der PP-Linie 50 km/h mit einer Toleranz von ± 1 km/h bei einer dem Leistung-Masse-Verhältnis entsprechenden Beschleunigung, die in der Regel im Bereich von 2 m/s^2 , a_{urban} und a_{wot} liegt. Daneben ist die Motordrehzahl zu erfassen. Der Fahrer muss nun nicht nur auf die Fahrgeschwindigkeit, sondern auch auf die Beschleunigung achten, die vom gewählten Gang abhängt und einen Einfluss auf die Einfahrgeschwindigkeit hat. Alle genannten Faktoren führen zu einer erhöhten Komplexität und stellen höchste Anforderungen an die Fähigkeiten des Testfahrers. Vor diesem Hintergrund ist ein System notwendig, das den Fahrer bei der Ausführung seiner Aufgaben unterstützt.

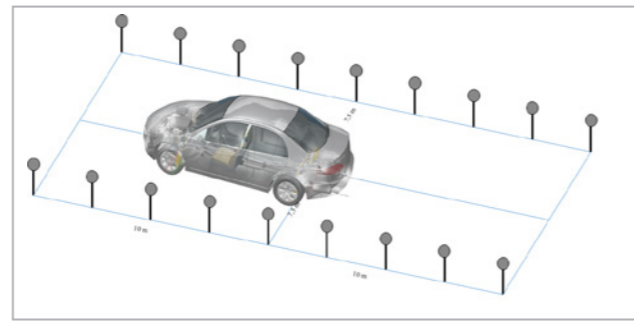


Abb. 3: Schematischer Aufbau eines Außengeräuschprüfstands mit einem Mikrofon-Linien-Array auf jeder Seite

2.1.2 Messungen der simulierten Vorbeifahrt

Das Messverfahren für die simulierte Vorbeifahrt entspricht grundsätzlich dem der realen Vorbeifahrt – mit dem Unterschied, dass sie auf einem Allrad-Rollenprüfstand im Halbfreifeldraum durchgeführt wird. Obwohl die meisten Prüfeinrichtungen mittlerweile über einen Rollenprüfstand verfügen, erfordert die Norm einen differenzierten, durchdachten Prüfstandsaufbau (siehe Abbildung 3). Die Abmessungen des Halbfreifeldraums müssen dem Messkorridor der realen Vorbeifahrt entsprechen. Daraus ergibt sich eine Mindestbreite von 15 m für den Abstand der Mikrofone von der Fahrzeugmitte. Für die Simulation eines sich nähernden und entfernenden Fahrzeugs auf einem festen Rollenprüfstand werden Mikrofone in Linien-Arrays auf beiden Seiten der virtuellen Teststrecke angebracht. Diese Mikrofone müssen an der virtuellen Position des Fahrzeugs ausgerichtet werden, womit sich eine übliche Länge von mindestens 20 m für den Prüfstand ergibt.

Der Aufbau umfasst üblicherweise 36 Mikrofone auf beiden Seiten des Fahrzeugs. Sollte der Halbfreifeldraum nicht die erforderliche Breite aufweisen, kann auch ein einseitiger Aufbau gewählt werden. In diesem Fall muss das Fahrzeug jedoch um 180° gedreht werden, damit beide Seiten durch die Messung abgedeckt sind. Alle Mikrofone werden synchron aufgezeichnet und liefern ein statisches Geräusch, da der Abstand zwischen dem Fahrzeug und jedem einzelnen Mikrofon konstant ist.

Um den Effekt eines sich nähernden bzw. entfernenden Fahrzeugs hören und messen zu können, wird eine Interpolation auf der Grundlage der Fahrzeuggeschwindigkeit und der Zeit vorgenommen, bei der jedes Mikrofon nur für einen kurzen Zeitabschnitt verwendet wird. Es werden nur kurze Anteile eines jeden Mikrofons nacheinander in derselben Reihenfolge abgespielt, in der die Mikrofone aufgestellt sind. Die Messungen erfolgen analog zur realen Vorbeifahrt, jedoch mit dem Unterschied, dass die Messungen nicht durch Lichtschranken, sondern üblicherweise durch einen Kickdown-Sensor ausgelöst werden. Der Messaufbau ist höchst anspruchsvoll aufgrund der großen Anzahl an verwendeten Mikrofonen, die regelmäßig überprüft werden müssen. Das erfordert ein Überwachungssystem, das sicherstellt, dass alle Mikrofone betriebsbereit und korrekt kalibriert sind.

2.2. Messergebnisse

Unabhängig davon, ob eine reale oder eine simulierte Vorbeifahrt durchgeführt wurde, sind die Ergebnisse grundsätzlich dieselben. Abbildung 4 zeigt beispielhaft den maximalen Gesamtpegel von mehreren gemittelten Durchfahrten, den Gesamtpegel über Weg und das durchschnittliche Terzspektrum. Daneben werden Angaben wie die Fahrgeschwindigkeit, die Drehzahl und weitere Details zur Position und Geschwindigkeit des maximalen Schalldruckpegels dargestellt.

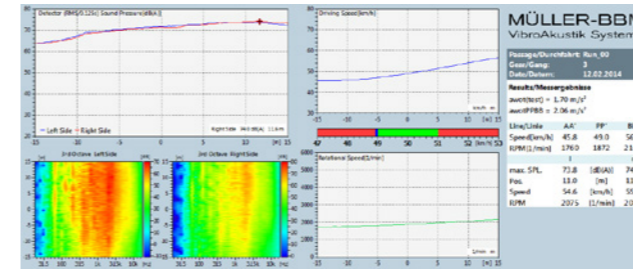


Abb. 4: Beispielergbnis einer Vorbeifahrtmessung mit allen erforderlichen Daten wie Schalldruckpegel (SPL), Terzspektrum usw.

3. OPERATIONELLE TRANSFERPFADANALYSE

Während der Entwicklungsphase eines Fahrzeugs ist es entscheidend, nicht nur zu wissen, ob das Fahrzeug die gesetzlichen Bestimmungen erfüllt, sondern auch, wo sich mögliche Geräuschquellen befinden, um entsprechende Maßnahmen ergreifen zu können. Daraus leitet sich der Gedanke ab, zusätzliche Sensoren und eine erweiterte Methodik einzusetzen, um die Quell- und die Antwortsignale in Korrelation zu setzen. Die Strukturanalyse bietet eine ganze Reihe von Verfahren für die sogenannte Transferpfadanalyse [2], unter denen sich insbesondere die operationelle Transferpfadanalyse (OTPA) als bevorzugte Methode zum Troubleshooting etabliert hat [3].

3.1. Die operationelle Transferpfadanalyse

Basierend auf dem CTC- und dem PCA-Verfahren (Cross Talk Cancellation und Principal Component Analysis) versucht die OTPA, ein linearisiertes Set an Transferfunktionen zu bestimmen, die die Korrelation zwischen gegebenen Quell- und Antwortpositionen aus einer Betriebsmessung beschreiben. Ein solches System kann als ein Set von Inputs und Outputs beschreiben werden, wobei $H(j\omega)$ die Transferfunktion zwischen dem Eingangsvektor $x(j\omega)$ und dem Ausgangsvektor $y(j\omega)$ darstellt.

$$H(j\omega) x(j\omega) = y(j\omega) \quad (1)$$

Kräfte, Beschleunigungen und Schalldruckwerte werden in der Regel als Eingangssignale verwendet, während die Ausgabe, je nach Anwendung, ebenfalls in einer dieser Größen erfolgt. Wie bereits in [4] dargestellt, werden die Referenz- und die Antwortsignale nun durch die synchronen Kurzzeit-Fourier-Transformationen (STFT) dargestellt. Um die Gleichung 1 für die Transferfunktion $H(j\omega)$ aufzulösen, muss die inverse Matrix der STFT-Referenzmatrix $x(j\omega)$ berechnet werden.

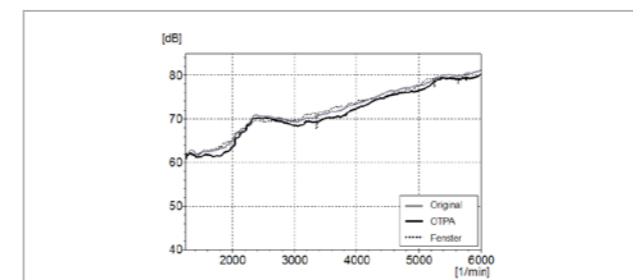


Abb. 5: Vergleich zwischen Fensterverfahren, OTPA und Originalmessung

Da sich die Inverse nur in einem überbestimmten System berechnen lässt, muss die Anzahl der Referenzkanäle geringer sein als die der Anregungskanäle. Somit kann die Inverse mit der Methode der kleinsten Quadrate behandelt werden, bei der die Lösung durch die Singulärwertzerlegung (SVD) ermittelt wird. Ein Übersprechen, was in der Regel in Form der Beeinflussung einer Geräuschquelle durch eine andere auftritt, wird zu einem gewissen Grad verhindert. Die Vernachlässigung kleiner Singulärwerte führt zu einer Unterdrückung des Messrauschens, welches sich üblicherweise nicht vermeiden lässt. Die Transferfunktionen können nun als FIR-Filter verwendet und auf das Original-Referenzsignal angewendet werden, um den Beitrag der beobachteten Quelle zu synthetisieren. Die Summe der berechneten Beiträge stellt das synthetisierte Gesamt-Antwortsignal dar und kann für eine auditive Bewertung wiedergegeben werden. Sofern alle Quellen einbezogen wurden, entspricht das synthetisierte Gesamtsignal dem gemessenen Signal.

3.2. Evaluierung der Beitragsanalyse

In [2] wurde bereits dargestellt, dass die verschiedenen TPA-Verfahren dezidiert anzuwenden sind, da sie sich nicht für jede Fragestellung eignen. Beim Außengeräusch muss die Beitragsanalyse der bisher verwendeten sogenannten Fenstermethode entsprechen. Das grundlegende Konzept sah die Isolierung der einzelnen Quellen und die Messung ihres jeweiligen Geräuschs nur an der Empfängerposition vor. Dies ist jedoch ein äußerst aufwändiges Verfahren, da alle Quellen gekapselt und unabhängig gemessen werden müssen. Die Summe aller gemessenen Quellen sollte wiederum dem gemessenen Gesamtgeräusch entsprechen. Alle Messungen müssen mit ähnlichen Lasten und Temperaturen durchgeführt werden, da das Geräusch von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig ist.

Abbildung 5 zeigt zum Vergleich Ergebnisse, die direkt an der Empfängerposition gemessen wurden, sowie Fenstermessungen und die Summe der synthetisierten und mit OTPA berechneten Beiträge. Auf den ersten Blick sind die Ergebnisse in den meisten Frequenzbereichen vergleichbar. Somit kann dieser einfache und schnelle Ansatz als Ersatz für die Fenstermethode herangezogen werden.



Abb. 6: Messaufbau für die Beitragsanalyse bei der Messung der simulierten Vorbeifahrt mit Mikrofonen am Ansaugtrakt, an den Reifen, am Auspuff und im Innern des Motors. Beschleunigungssensoren am Motor und der Abgasanlage liefern zusätzliche, wertvolle Informationen zu Statistikzwecken.

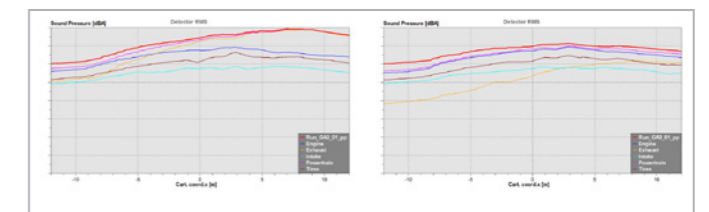


Abb. 7: Beispielergbnisse einer Beitragsanalyse für ein Fahrzeug mit zwei verschiedenen Auspuffsystemen. Die erste Ausführung ist sehr dominant, die zweite ist wesentlich ruhiger. Dabei ist zu beobachten, dass das Ranking sich verändert hat, während die Werte für die anderen Komponenten annähernd konstant geblieben sind.

3.3. Messaufbau und Ergebnisse

Ein möglicher Messaufbau ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Positionen der Außenmikrofone werden ergänzt durch Mikrofone in der Nähe möglicher Quellen: Ansaugtrakt, Auspuff und Reifen, wobei alle vier Reifen einbezogen werden. Darüber hinaus wurden auch im Innern des Motors Mikrofone platziert. Zur Unterstützung der Messung können darüber hinaus weitere Beschleunigungssensoren am Motor, an der Auspuffanlage und bei Bedarf am Getriebe angebracht werden. Diese Beschleunigungssensoren dienen der korrekten Matrizenberechnung der Beitragsanalyse und der Unterstützung einer breiteren Statistik.

Entsprechend dem unter 3.1 beschriebenen Vorgehen kann ein Netzwerk mit dem an der virtuellen PP-Linie platzierten Mikrofon als Antwortposition und an den folgenden Anregungspositionen – Ansaugsystem, Antriebsstrang (Motor und Abgasanlage kombiniert), Reifen – aufgebaut werden. Ein mögliches Testergebnis für ein Fahrzeug mit der Abgasanlagenvariante A ist links in Abbildung 7 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Reifen und das Ansaugsystem nahezu vernachlässigbare Quellen darstellen, während der Antriebsstrang ausgesprochen dominant ist. Das Gesamtgeräusch wird vornehmlich vom Antriebsstrang erzeugt. In einem zweiten Netzwerk wurden die Abgasanlage und der Motor getrennt untersucht, um aufzuzeigen, wo Modifikationen sinnvoll wären. Die Abgasanlage ist die dominante Geräuschquelle, gefolgt vom Motor. Allerdings gilt dies nicht für den gesamten Zeitraum. So produziert die Abgasanlage ein leiseres Geräusch, wenn sich das Fahrzeug der PP-Linie nähert, während der Geräuschpegel beim Passieren der PP-Linie wieder ansteigt. Aufbauend auf dieser Erkenntnis wurde nur die Abgasanlage modifiziert, während alle anderen Komponenten gegenüber dem ersten Test unverändert blieben. Im rechten Diagramm von Abbildung 7 wird gezeigt, dass der Gesamtpegel deutlich reduziert werden konnte und der Antriebsstrang weiterhin die dominante Quelle ist. Erstaunlich dabei ist, dass die Beitragsanalyse selbst bei einem modifizierten Aufbau für die nicht modifizierten Komponenten beinahe dieselben Ergebnisse liefert. Dies zeigt sich besonders deutlich am Motor, dessen Kurve in beiden Schaubildern nahezu identisch ist. Nach Modifikation der Abgasanlage ist der Motor innerhalb des Gesamtsystems nun die dominante Quelle.

4. SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Das Außengeräusch spielt in der NVH-Entwicklung eine wichtige Rolle – das mit der ständigen Ausweitung der Modellpalette kontinuierlich zunimmt. Die simulierte Vorbeifahrt ist eine allgemein anerkannte Methode, die eine zuverlässige Alternative zu realen Tests darstellt und somit den gesamten Testprozess mit vergleichbaren Ergebnissen beschleunigen kann. Einer der wichtigsten Vorteile innerhalb des Entwicklungsprozesses ist die nahtlose Einbeziehung der Beitragsanalyse, die ein Ranking möglicher Schallquellen liefert und somit fundierte Hinweise zu sinnvollen Modifikationen und geräuschrelevanten Komponenten gibt. Im Unterschied zu anderen TPA-basierten Verfahren kann die OTPA anhand von Betriebsmessungen durchgeführt werden, die beim Indoor-Test ohnehin vorgenommen werden.

Für die weitere Entwicklung erscheint es sinnvoll, auch die Response Modification Analysis (RMA) in den Entwicklungsprozess für das Außengeräusch [5] einzubeziehen. Dabei kann das Antwortsignal modifiziert und eine Sensitivitätsanalyse vorgenommen werden, die fundierte Hinweise dazu liefert, welche Modifikationen bessere Ergebnisse erwarten lassen. Angesichts der aktuell verfolgten Plattformstrategie im Diversifizierungsprozess, bei der für unterschiedliche Fahrzeugtypen derselbe Antriebsstrang, dieselben Reifen und dasselbe Fahrwerk verwendet werden, sollte auch der Einfluss der sichtbaren Teile untersucht werden, da dies gegebenenfalls den Entwicklungsprozess weiter beschleunigt.

5. DANKSAGUNG

Das vorliegende White Paper ist dank der wertvollen Unterstützung meiner Kollegen Michael Graefe, der sich umfassend mit der Theorie und Anwendung der Bestimmungen zur Vorbeifahrt auseinandergesetzt hat, und Dennis de Klerk und Maarten van der Seijs, die mir geholfen haben, die verschiedenen TPA-Verfahren zu verstehen und anzuwenden, entstanden.

6. REFERENZEN

- [1] H. Finsterhölzl, V. Caldiero, J. Hobelsberger, W. Baumann, F. Daiber, A New Exterior Noise Testing Facility in the Development Process at BMW, ATZ Worldwide, 108(4), 2-5. 2006
- [2] M. V. van der Seijs, D. de Klerk, D. J. Rixen, General framework for transfer path analysis: History, theory and classification of techniques, Mechanical Systems and Signal Processing, Volumes 68–69, Februar 2016, Seiten 217-244, ISSN 0888-3270
- [3] D. de Klerk, A. Ossipov, Operational transfer path analysis: Theory, guidelines and tire noise application Mechanical Systems and Signal Processing 24.7 (2010): 1950-1962
- [4] K. Noumura, J. Yoshida, Method of transfer path analysis for vehicle interior sound with no excitation experiment, Proc. of the FISITA 2006 World Automotive Congress, Yokohama, Japan
- [5] A. Grosso, M. Lohrmann, Operational Transfer Path Analysis: Interpretation and understanding of the measurement results using Response Modification Analysis (RMA). No. 2016-01-1823. SAE Technical Paper, 2016

Über uns

Müller-BBM VibroAkustik Systeme ist einer der führenden Anbieter für vibroakustische Messtechnik. Wir sind Know-how-Träger für die Interpretation dynamischer oder physikalischer Daten, insbesondere in den Bereichen NVH, Festigkeit und Komfort. Im Fokus unserer Systemkompetenz stehen innovative Lösungen, die sich nahtlos in gegebene Systemumfelder integrieren.

www.MuellerBBM-vas.de

Kontaktdaten

Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH

Robert-Koch-Straße 13, 82152 Planegg, Deutschland
Tel. +49-89-85602-400 • Fax +49-89-85602-444
E-Mail: sales@MuellerBBM-vas.de