

Optimierung der virtuellen Verlängerung von Außengeräuschprüfständen

Florian Bock¹, Stefan Becker², Susann Nönnig¹, Verena Dobmeier¹, Matthias Pohl³, Dejan Arsic³

¹ AUDI AG, Ingolstadt, E-Mail: florian.bock@audi.de

² Lehrstuhl f. Prozessmaschinen u. Anlagentechnik, Universität Erlangen-Nürnberg

³ Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH, Planegg/München

Kurzfassung

Das Außengeräusch eines Fahrzeugs unterliegt sowohl gesetzlichen als auch qualitativen Anforderungen und ist im Entwicklungsprozess daher von entscheidender Bedeutung. Um diesen zu beschleunigen, werden die Messungen nicht nur draußen auf der entsprechenden Teststrecke, sondern auch auf dedizierten Außengeräuschprüfständen (Abb. 1) durchgeführt. Die Messungen auf der Strecke sollen mit denen auf dem Prüfstand vergleichbar sein. [1] Diese Art von Prüfumgebungen sind in der ISO 362-3 spezifiziert und genormt. [2] Leider ist es aufgrund baulicher Maßnahmen oder des zur Verfügung stehenden Raumangebotes nicht immer möglich, die Anforderungen exakt umzusetzen. Daher wird in dieser Arbeit untersucht, wie zusätzliche Mikrofone an Prüfständen aufgestellt werden müssen, um spezielle Eigenheiten eines Prüfstandes auszugleichen und den Informationsgewinn während der Entwicklungsphase zu maximieren. Hierzu zählt insbesondere die „virtuelle Verlängerung“ von Prüfständen mittels einer geeigneten Anordnung von Mikrofonen. Diese sollen zusätzlich zu dem an beiden Seiten befindlichen Linienarray platziert werden. In dieser Arbeit wird nun die genaue Positionierung und die optimale Anzahl der Mikrofone untersucht. Ferner werden die Ergebnisse mit realen Outdoor-Messungen und herkömmlichen Indoor-Messungen verglichen, um eine Aussage über die praktische Anwendbarkeit der virtuellen Verlängerung trennen zu können.

Einleitung

Zu den zentralen Themen im Bereich Noise Vibration Harshness (NVH) zählt unter anderem die Messung des Außengeräuschs von Fahrzeugen. Hierbei erfordern neu in Kraft tretende Gesetze und Normen immer komplexer werdende Messverfahren. Die zunehmende Anzahl an Modellen und Derivaten resultiert in einem drastisch steigenden Umfang durchzuführender Messkampagnen. Die simulierte Vorbeifahrt bietet das Potenzial viele Messungen mit verhältnismäßig geringem Aufwand und wetterunabhängig realisieren zu können. Heutzutage stellen Indoor-Messverfahren auf dem genannten Außengeräuschprüfstand ein anerkanntes Engineering-Werkzeug mit zahlreichen Analysemöglichkeiten dar. Jedoch können auch mit einem ISO 362-3 [2] konformen Prüfstand teils deutliche Differenzen zwischen realer (Outdoor-Verfahren) und simulierter Vorbeifahrt auftreten. Vorangegangene Arbeiten haben sich bereits mit den Einflüssen des Fahrzeugs, z.B. der Karosserieform, beschäftigt. [3] Ergänzend können auch Phänomene des Semi-Freifeldraumes oder der antreibenden Rolle zu unerwünschten

Phänomenen führen. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich daher mit dem Einfluss zusätzlicher Mikrofonpositionen auf das Messergebnis.

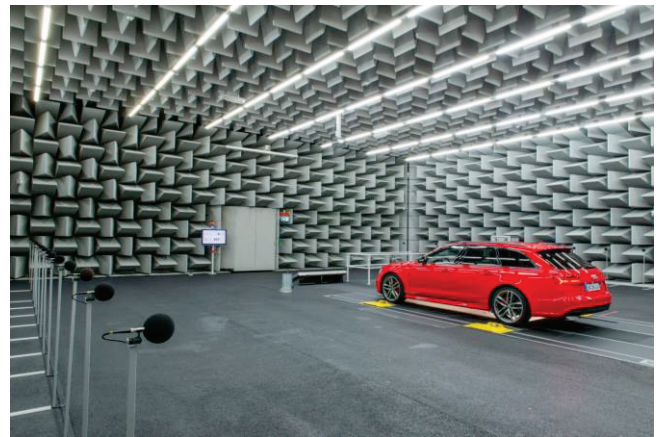


Abbildung 1: Außengeräuschprüfstand der AUDI AG in Ingolstadt.

Vergleich von realer und simulierter Vorbeifahrt

In Abbildung 2 sind die Ordnungs-Diagramme von einem 3-Zylinder- und einem 12-Zylinder-Motor auf dem Außengeräuschprüfstand (AGP) vergleichsweise dargestellt.

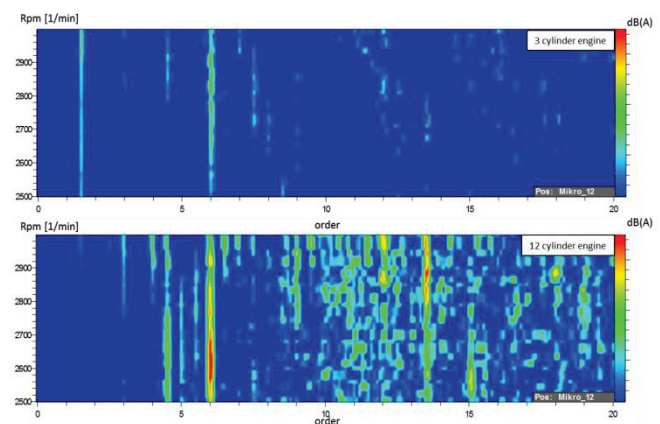


Abbildung 2: Vergleich zweier Ordnungsanalysen von einem 3-Zylinder-Motor (oben) und einem 12-Zylinder-Motor (unten) auf einem Außengeräuschprüfstand. Die dominante Ordnung (Zündordnung) ist die 1,5. Motorordnung (MO) bzw. 6. MO.

Die Messergebnisse des 12-Zylinder-Motors zeigen eine weitestgehende Übereinstimmung zwischen dem Indoor- und Outdoor-Verfahren. Der 3-Zylinder-Motor hingegen weist stärkere Abweichungen zur realen Messung auf. Während die Messungen im zweiten Gang beim 3-Zylinder-Motor als akzeptabel eingestuft werden können, treten in den höheren Gängen, ergo niedrigeren Drehzahlen, deutlichere Diskrepanzen auf.

Für die Berechnung des Gesamtpegels aus dem Schmalbandspektrum kann die dominante Motorordnung (Zündordnung) als pegelbestimmend angesehen werden. Im tieffrequenten Bereich ist zu beobachten, dass hier die höheren Abweichungen zwischen Indoor- und Outdoor-Messung vorliegen. [4] Des Weiteren können prüfstandsbedingt und abhängig von der Mikrofonposition Unterschiede zwischen realer und simulierter Vorbeifahrt bei mittleren Frequenzen auftreten.

Versuchsaufbau

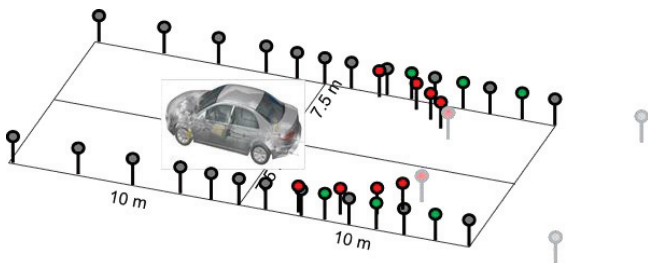


Abbildung 3: Exemplarischer Versuchsaufbau am AGP bei der Audi AG schematisch dargestellt. Die grauen Mikrofone stellen die Standardpositionen in winkelläquidistanter Verteilung dar. Die grünen Mikrofone sollen die Ortsauflösung verbessern. Die roten dienen zur virtuellen Verlängerung des Prüfstands.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss zusätzlicher Mikrofonpositionen des Arrays der simulierten Vorbeifahrt auf das Indoor-Messergebnis. Abbildung 3 zeigt die Anordnung der verwendeten Mikrofone auf dem AGP. Ergänzend zu den standardmäßig winkelläquidistant aufgestellten Vorbeifahrtsmikrofonen (PassBy-Noise-Mikrofone) wurden die grün markierten Mikrofone zwischen den Standardmikrofonen und die rot gekennzeichneten, nach innen hereingezogenen Mikrofone zur Verlängerung des Arrays positioniert. Die Höhe der Standardmikrofone beträgt 1,20 m. Es wird die Annahme getroffen, dass das Fahrzeug eine Punktschallquelle darstellt, deren akustisches Zentrum auf der Vorderachse liegt. Die Messung der simulierten Vorbeifahrt wurde mit der Software PAK von Müller-BBM VibroAkustik Systeme durchgeführt. Da alle Mikrofone gleichzeitig in einem Run und nicht in mehreren aufeinanderfolgenden Durchläufen gemessen wurden, sind die nachfolgend erläuterten Array-Varianten nicht von Einflüssen unterschiedlicher Anregung behaftet und damit direkt und vollständig vergleichbar. Um die Einflüsse der zusätzlichen Mikrofone separat quantifizieren zu können, wurden diese bei der Berechnung des Vorbeifahrtspegels selektiv hinzugefügt oder weggelassen.

Ausgehend vom Referenzaufbau, der nur die Signale der in Abbildung 3 grau dargestellten Mikrofone beinhaltet, wurden als zweite Variante die drei grün markierten Mikrofone zur Verbesserung der Ortsauflösung an den Wegpunkten +7 m, +9 m und +11 m hinzugefügt, die sich ebenfalls auf einer Höhe von 1,20 m befanden. Da das letzte Standardmikrofon aufgrund der Raumabmessungen bei +12 m positioniert ist, die Vorbeifahrt jedoch im Freien bis +15 m gemessen wird, dienten die drei rot dargestellten, am Ende des Prüfstands nach innen gezogenen Mikrofone zur virtuellen Verlängerung des Arrays. Die Höhe dieser Mikrofone wurde so gewählt, dass diese sich auf einer gedachten Verbindungslinie zwischen dem akustischen Zentrum der Punktschallquelle und den virtuellen Mikrofonen an den Positionen +13,5 m, +15 m und 16,4 m befanden. Zusätzlich sollten diese virtuellen Mikrofone dazu dienen, etwaige vorliegende Abstrahlcharakteristiken der Abgasanlage zu berücksichtigen.

Vergleich der Messergebnisse

Wie Abbildung 4a zeigt, ist bei den hinteren PassBy-Noise-Mikrofonen ein Einfluss der zusätzlich aufgestellten Mikrofone ersichtlich. Diese Unterschiede sind nur im modifizierten Bereich des Arrays erkennbar. Bis zum Wegpunkt +6 m sind die Gesamtpegel-Kurven der drei untersuchten Varianten nahezu deckungsgleich, da diese algorithmisch aus einem Run, der alle Mikrofone beinhaltet, erzeugt wurden.

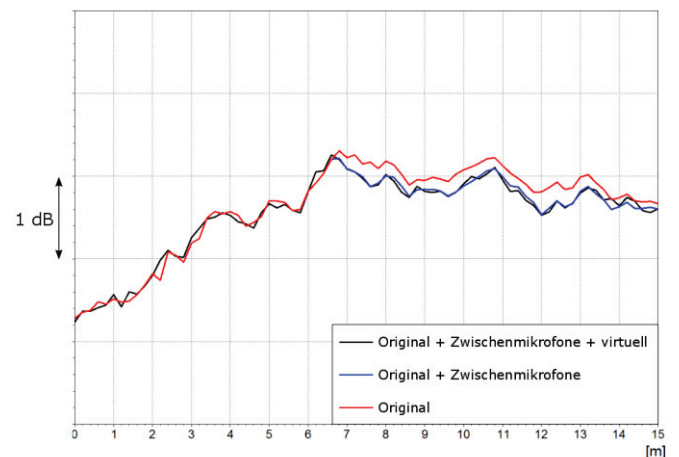


Abbildung 4a: Der Gesamtpegel für die drei betrachteten Varianten über Weg aufgetragen. Kleine Abweichungen im modifizierten Bereich sind erkennbar.

Die Differenzen im Gesamtpegel zwischen den einzelnen Varianten belaufen sich jedoch maximal auf 0,3 dB. Dieses Erkenntnis konnte aus Messungen mehrerer Betriebszustände, d.h. verschiedener Gänge und verschiedener Einfahrtsgeschwindigkeiten, gewonnen werden. Auch die in Abbildung 4b dargestellten Terzpegel unterscheiden sich in den drei betrachteten Versionen nur geringfügig. Daraus lässt sich schließen, dass weder die virtuelle Prüfstandsverlängerung noch die feinere Ortsauflösung

entlang des PassBy-Noise-Arrays (Zwischenmikrofone) eine deutliche Veränderung des Indoor-Messergebnisses zur Folge haben.

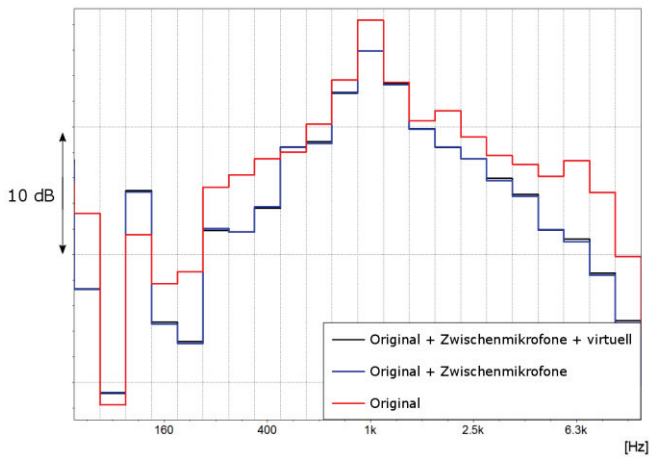


Abbildung 4b: Terzspektrum am Wegpunkt +7 m. Die Terzpegel der drei Varianten unterscheiden sich ebenfalls nur geringfügig.

Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, wie zusätzliche Mikrofone bei Indoor-Messungen des Außengeräusches positioniert werden müssen, um spezielle Eigenheiten eines Prüfstandes ausgleichen zu können. Dabei wurde sowohl die Ortsauflösung der Messpunkte erhöht als auch das Mikrofonarray virtuell verlängert.

Die durchgeführten Messreihen zeigen, dass zusätzliche Mikrofone eines PassBy-Noise-Arrays bei Semi-Freifeldräumen, die die entsprechende ISO-Norm erfüllen, weder tief-, mittel- noch hochfrequent einen signifikanten Einfluss auf die Indoor-Messergebnisse und damit den synthetisierten Vorbeifahrtspegel haben. Selbst in Prüfständen mit höheren Grenzfrequenzen ist lediglich ein vernachlässigbar kleiner Unterschied zu beobachten. Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass bereits das Standard-Mikrofonarray in einem ISO362-3 konformen Prüfstand in Kombination mit aktueller Messtechnik und entsprechender Nachverarbeitung bereits zu sehr guten Ergebnissen führen kann.

Um weitere Einflüsse, wie z.B. die Abstrahlcharakteristik der Abgasanlagenmündung, kompensieren zu können und dadurch eine noch höhere Übereinstimmung zwischen der realen und simulierten Vorbeifahrt zu erzielen, müssen noch weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden. Bei diesen Untersuchungen könnte das PassBy-Noise-Mikrofonarray mit zusätzlichen Mikrofonen im Nahfeld der relevanten Teilschallquellen ergänzt werden. Diese beinhalten möglicherweise das Potential, die Abstrahlcharakteristik der Einzelquellen, wie z.B. der Abgasanlagenmündung, besser abzubilden.

Literatur

- [1] Finsterhölzl, H; Caldiero, V.; Hobelsberger, J.; Baumann, W; Daiber, F.: A New Exterior Noise Testing Facility in the Development Process at BMW, ATZ Worldwide, 108(4), 2-5, 2006
- [2] ISO 362-3: Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles – Engineering Method – Part 3: Indoor testing M and N categories, 2016
- [3] Bock, F.; Pohl, M.; Arsic, D.; Becker, S.: A statistical analysis of the influence of a vehicles exterior appearance on exterior noise, Aachener Akustik Kolloquium, 2016
- [4] Bock, F.; Becker, S.; Arsic, D.: A generalized methodology for a compenstaion of test-bench specific influences of a simulated pass-by compared to real outdoor measurements, Proceedings Internoise 2016, Hamburg, Germany, 2016