



OPTIMIERTE FAHRZEUGAKUSTIK MIT EINEM INNOVATIVEN ALLRAD-ROLLENPRÜFSTAND

Die Akustik im Innenraum und die Geräuschabstrahlung nach außen sind bei der Entwicklung von Fahrzeugen zu unverzichtbaren Faktoren geworden. Mit der Energiewende und der damit verbundenen Forcierung von Elektrofahrzeugen entstehen völlig neue Aufgaben. Mit einem neuen Allrad-Rollenprüfstand, in dem beide Bereiche gleichermaßen untersucht werden können, reagiert das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) auf diesen Bedarf und arbeitet beispielweise am schallabsorbierenden Radhaus oder an Absorbern im Reifenhohlraum.

AUTOREN



DR.-ING. PETER BRANDSTÄTT

ist Leiter der Gruppe Technischer Schallschutz und Fahrzeugakustik in der Akustikabteilung des Fraunhofer-IBP in Stuttgart.



DIPL.-ING. MICHAEL KRÄMER

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und betreut den Vorbeifahrt-Fahrzeugprüfstand des Fraunhofer-IBP in Stuttgart.



DIPL.-ING. WOLFGANG HERGET

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter mit dem Projektschwerpunkt Entwicklung von Absorbern und Schalldämpfern des Fraunhofer-IBP in Stuttgart.



DIPL.-ING. VLADO LAZIC

ist Leiter der Gruppe Akustische Messräume & Prüfstände bei Faist Anlagenbau GmbH in Krumbach/Schwaben.

NEUE GÜLTIGE MESSVORSCHRIFT

Fahrzeugakustik ist in aller Munde, wenn es mit Sound Design, also der Beeinflussung von Motorgeräuschen oder der Abgasanlage, in Verbindung gebracht wird. Gerade mit der Energiewende und der damit verbundenen Forcierung von Elektrofahrzeugen kommen völlig neue Aufgaben auf die Akustikingenieure hinzu [1].

Fahrzeuge müssen aber auch einen gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwert im Außengeräusch einhalten, der auf Vorbeifahrt-Prüfstrecken ermittelt wird. Die neue Fassung der dafür gültigen Messvorschrift [2] zusammen mit der zu erwartenden Absenkung der Grenzwerte stellt die Fahrzeugentwickler vor große Herausforderungen. Hierbei spielt das Reifen-Fahrbahn-Geräusch eine zunehmend größere Rolle, da die Geräusche aus dem Antriebsstrang schon stark reduziert wurden. Andererseits wird bei den als leise geltenden Elektrofahrzeugen schon über eine zusätzliche Geräuscherzeugung bei niedrigen Geschwindigkeiten nachgedacht, um die Sicherheit von Fußgängern zu erhalten. Doch auch bei diesen Fahrzeugen dominieren schon bei 40 bis 50 km/h die Reifengeräusche.

Die sich daraus ergebenden vielfältigen Forschungsthemen am Fahrzeug und seinen Komponenten, aber auch Untersuchungen zu Verkehrsszenarien, Lärmbelastigung und subjektiven Empfindungskriterien, können an einem neuen Allrad-Rollenprüfstand für Fahrzeugakustik des Fraunhofer-IBP bearbeitet werden, bis hin zur Simulation der Vorbeifahrt.

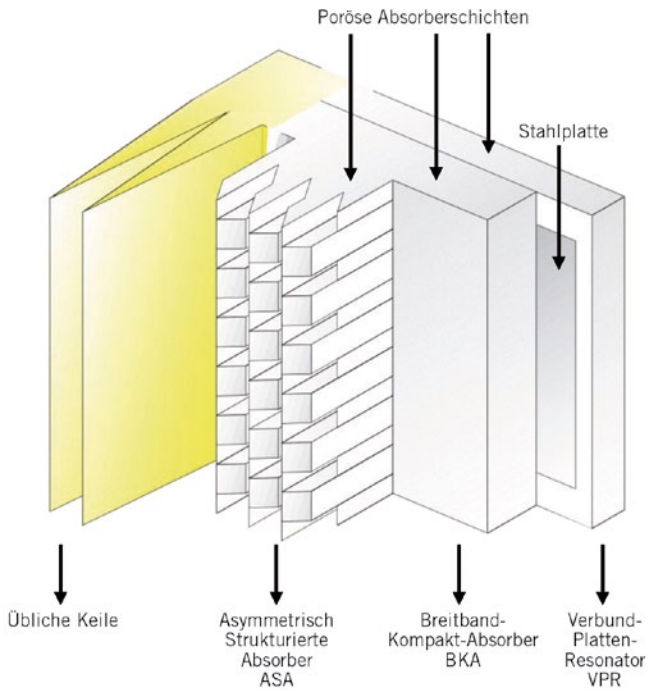
PRÜFSTANDSKONZEPT UND SEINE KOMPONENTEN

Der Allrad-Rollenprüfstand in der Außengeräuschmesshalle besteht aus vier einzeln ansteuerbaren Rollen mit einem Durchmesser von 1,9 m. Eine Antriebsleistung von viermal 300 kW und eine Zugkraft von 7500 N pro Rad erlauben hohe Beschleunigungen sowie Fahrgeschwindigkeiten bis 320 km/h.

Der Rollenprüfstand wurde mit wechselbaren Abdeckungen in Form von Paletten ausgeführt, die mittels Druckluftkissen bewegt werden können. Damit lassen sich voll ausgerüstete Fahrzeuge von jedem der beiden Vorbereitungsräume auf den Prüfstand transportieren, ❶, und erlauben eine effiziente Prüfstandsnutzung. Der Boden ist mit einer Kunststoffbeschichtung schallhart ausgeführt. Mit den jeweils 32 Mikrofonen pro Seite



❶ Palette mit Luftkissen zum Transport vorgerüsteter Fahrzeuge



② Drei Absorbersysteme und ihr Aufbau im Vergleich

der Messhalle, deren Signale simultan erfasst und analysiert werden, können witterungsunabhängig Vorbeifahrten simuliert werden [3].

Bereich wirksam. Der dritte Anteil wird durch eine zusätzliche Absorberschicht hergestellt, die auf dem Feder-Masse-Resonator angeordnet ist und als passiver Absorber für die mittleren und hohen

Frequenzen wirkt. Dabei können ein- oder mehrlagige ebene Absorber wie beim BKA, oder strukturierte Anordnungen wie beim ASA eingesetzt werden.

Durch diese Kombination von aufeinander abgestimmten Resonatoren und passiven Absorbern lassen sich breitbandig wirksame Raumauskleidungen realisieren. Als Beispiel für die erreichten Freifeldbedingungen zeigt ③ die Pegelabnahme über eine der beiden Mikrofonreihen für die simulierte Vorbeifahrt mit den nach [4] definierten Toleranzbändern. Diese werden lediglich in den Frequenzen unter 40 Hz überschritten.

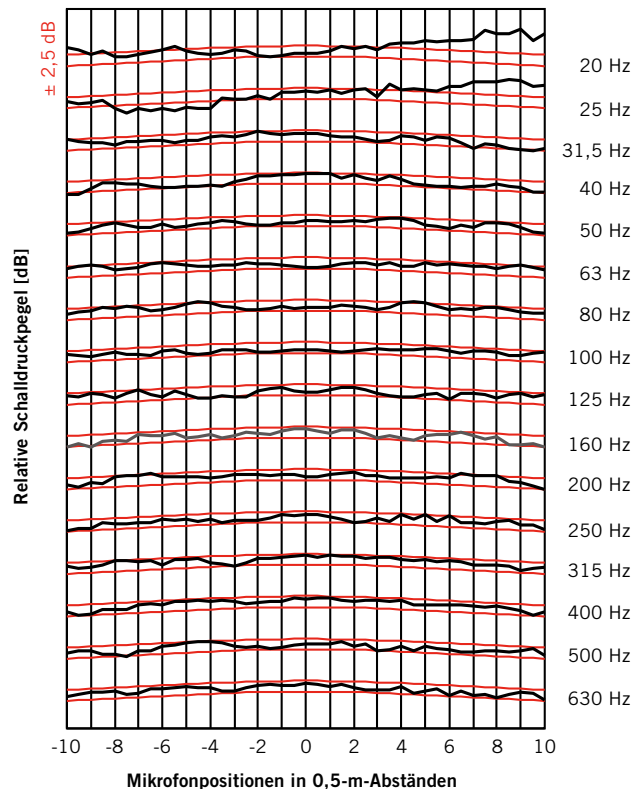
ENTWICKLUNGSBEISPIEL: SCHALLABSORBIERENDES RADHAUS

Als eine passive Maßnahme, das Reifen-Fahrbahn-Geräusch zu verringern, ist die akustische Behandlung des Radhauses möglich. Die zu erwartende akustische Pegelsenkung im Fernfeld liegt im Bereich von nur wenigen Dezibel, die aber beachtliche Bedeutung erlangen können. Zusätzlich lässt sich der Luftschallübertragungsweg zum Fahrer beeinflussen und der subjektive Höreindruck gerade bei höheren Geschwindigkeiten gestalten.

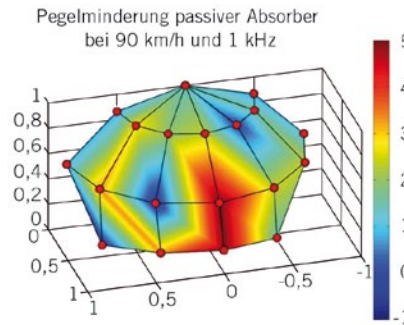
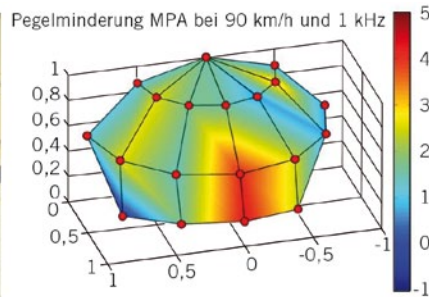
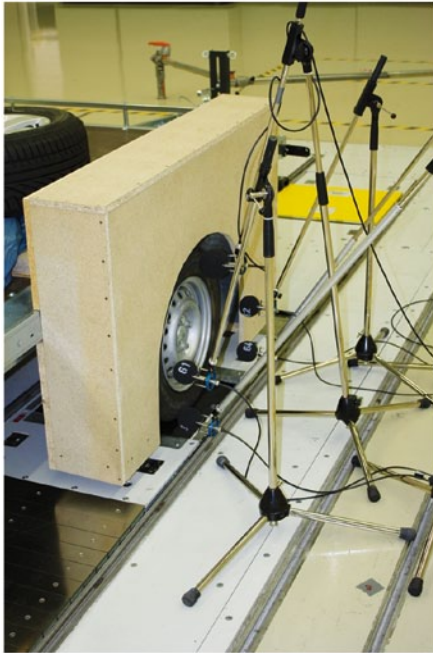
SCHALLABSORBIERENDE AUSKLEIDUNG DES PRÜFRAUMS

Die Decke, Wände, Türen und Tore der Messhalle mit Abmessungen von circa 25 × 19 × 6 m³ (Länge × Breite × Höhe; lichte innere Fertigmaße) sind absorbierend mit den am IBP entwickelten asymmetrischen Strukturabsorbern (ASA) und den Breitband-Kompakt-Absorbern (BKA) so ausgekleidet, dass in der Messhalle ein Halbfreifeld mit 40 Hz unterer Grenzfrequenz für Einzeltöne und Abnahme nach [4] entsteht. Der Aufbau dieser beiden Absorbersysteme ist in ② zusammen mit ihrer gemeinsamen Basis, dem Verbundplatten-Resonator (VPR), dargestellt.

Das Absorptionsvermögen der hier eingesetzten BKA mit 35 cm Bautiefe und ASA mit 65 cm Bautiefe basiert, vereinfacht betrachtet, auf drei bekannten Prinzipien. Das erste ist ein Feder-Masse-Resonator, bei dem eine Metallplatte als Masse und der passive Absorber als Feder wirken. Der zweite Anteil entsteht durch freie Schwingungen der Platte, die zu elastischen Biegeverformungen aufgrund des einfallenden Schalls angeregt wird. Beide Resonatoren sind im tieffrequenten



③ Nachweis der Freifeldbedingungen entlang einer Vorbeifahrt-Mikrofonreihe



4 Radhaus-mock-up auf dem Prüfstand und Pegelminderung bei Auskleidung mit mikroperforiertem (oben) und passivem (unten) Absorber

Im Gegensatz zu den sonst üblichen passiven Absorbentien, wie zum Beispiel Mineralfaser oder Schäumen, untersuchte das Fraunhofer IBP einen mikroperforierten Absorber (MPA) als Radhausschale auf dem Prüfstand. Der Absorber besteht aus einer dünnen Platte mit regelmäßigen Löchern, die kleiner als 1 mm im Durchmesser sind, wobei der Perforationsgrad unter 1 % liegt. Diese Platte wird vor einem abgeschlossenen Luftvolumen angeordnet und wirkt damit als flächenhafter Helmholtzresonator, der aufgrund der kleinen Löcher einen hohen Anteil inhärenter Dämpfung aufweist und ohne Fasermaterial auskommt [5]. Das Verhalten des Absorbers wird von der Lochgeometrie, dem Lochabstand und dem Rückvolumen bestimmt. Der Absorber lässt sich über diese Parameter auf den Frequenzbereich mit dem höchsten Anregungspegel zwischen 1 und 2 kHz gut abstimmen.

autoneum



Bringt Motoren schneller auf Betriebstemperatur: Theta-Fiber™ von Autoneum.

Die Innovation von Autoneum: Der neuartige Vlies-Werkstoff Theta-Fiber™ revolutioniert die Motorkapselung. Theta-Fiber™ überzeugt mit maximaler Temperaturfestigkeit, optimalen thermo-akustischen Funktionen und minimalem Gewicht im Vergleich zu herkömmlichen Werkstoffen wie Vollkunststoff. Autohersteller und -käufer fahren mit Motorkapselungen aus Theta-Fiber™ um Welten besser:

Sie speichern die Wärme im Motorraum, senken den Treibstoffverbrauch und reduzieren die Motorgeräusche. Die einzigartige Kombination von Wärmemanagement und Akustik von Autoneum hilft den Automobilherstellern, die CO₂-Ziele sowie die zukünftigen Anforderungen an die Lärm-Höchstwerte zu erfüllen. Mehr über Theta-Fiber™ von Autoneum erfahren Sie auf www.autoneum.com

⑤ Felge mit Mikroperforation, Querschnitt mit Absorberkammer und fertig aufgebautes Rad



Die Wirksamkeit der Mikroperforation wurde im Vergleich mit einer gleich dicken passiven Absorberschicht sowie ohne akustische Maßnahme an einem Mock-up des Radhauses nach ④ ermittelt. Dazu wurden Schalldruckpegel auf einer Viertelkugel um das Radhaus im Nahfeld bestimmt. Die Pegelminderung durch die Maßnahmen ist in den Diagrammen rechts von ④ für das Terzband 1 kHz dargestellt. Beide Absorber weisen sowohl absolut als auch in der räumlichen Verteilung eine ähnliche Wirkung auf. Die höchste Pegelminderung von 3 bis 4 dB wird in der Achse senkrecht zum Rad erreicht. Weitere richtungsabhängige Messungen an den Vorbeifahrtmikrofonen zeigen eine Minderung des Summenpegels im Fernfeld von 1 bis 2 dB.

ENTWICKLUNGSBEISPIEL: ABSORBER IM REIFENHOHLRAUM

Neben dem Radhaus bietet sich der Reifenhohlraum an, um Absorber zu integrieren.

Der Fokus liegt dabei auf der Bedämpfung der sich im umlaufenden Hohlraum des Reifens ausbildenden stehenden Welle, die auch als Torusmode bezeichnet wird. Die Wellenlänge der ersten Torusmode wird durch den mittleren Umfang bestimmt. Sie führt bei üblichen Reifengrößen zu einer Frequenz von circa 200 Hz, bei der es in der Fahrgastzelle zu einer messbaren Pegelerhöhung kommen kann. Dieses über Körper- und Luftschallwege übertragene Geräusch wird als unangenehm wahrgenommen.

Bisher scheiterte der Einsatz von faserigen Absorbentien im Reifenhohlraum vor allem am Handling beim Reifenwechsel in der Werkstatt, den diese Materialien nicht dauerhaft überstehen. Der hier vorgestellte Lösungsweg verfolgt den Ansatz, einen mikroperforierten Absorber in die Felge zu integrieren [6]. Die mikroperforierte Felgenoberfläche, ⑤ (links), wird direkt über die Felge realisiert, indem die benötigten Löcher ins Felgentiefbett gebohrt werden. Eine separat ge-

fertigte Kammer, ⑤ (rechts), für das Luft rückvolumen und die Abdichtung des Rades wird in den Innendurchmesser der Felge eingebracht und luftdicht verklebt.

Für die Messungen im Fahrzeuginnen wurde ein kompletter Reifensatz der Größe 255/40 R18 95W als Prototyp hergestellt. Die Messungen erfolgten auf der Straße sowie auf dem Akustik-Rollenprüfstand am IBP bei montierten Belagschalen zur Simulation eines Rauasphalts mit erhöhter Geräuschanregung. Mit einem Kunstkopf auf dem Beifahrersitz wurden die Pegel erfasst. In ⑥ ist der auf dem Prüfstand ermittelte A-bewertete Schalldruckpegel für ein Fahrzeug mit Serienrädern und mit mikroperforiertem Reifenabsorber dargestellt. Sowohl auf dem Prüfstand als auch auf der Straße konnte eine Pegelminderung der Torusmode von 5 dB erzielt werden.

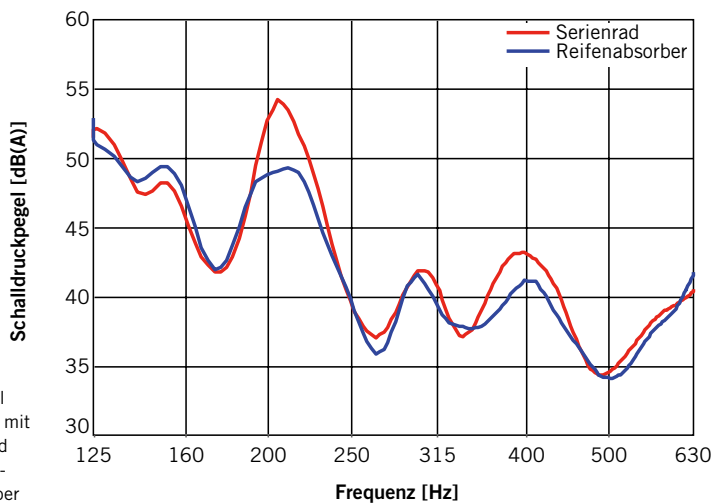
Natürlich ist ein Durchbohren der Felge zur Herstellung der Mikroperforation für ein Serienprodukt weder praktikabel noch wirtschaftlich. Daher wird eine in die Felge integrierte Lösung weiterverfolgt und befindet sich bei vergleichbarer akustischer Wirksamkeit derzeit in seriennaher Erprobung.

FAZIT UND AUSBLICK

Im Labor für Fahrzeugakustik am Fraunhofer-Institut für Bauphysik steht ein leistungsstarker und moderner Allrad-Rollenprüfstand zur Verfügung, der zur witterungsunabhängigen Fahrzeugentwicklung in zahlreichen Industrieprojekten genutzt wird. Forschungsprojekte im Rahmen der traditionellen Kernkompetenzen des IBP, der Absorber- und Schalldämpferentwicklung, führen zu neuen Anwendungen und Produkten, wie dem hier vorgestellten mikroperforierten Reifenabsorber.

Im Bereich der simulierten Vorbeifahrt finden zurzeit vergleichende Untersuchungen mit verschiedenen Prüf Strecken und Prüfständen mit dem Ziel statt, die Typprüfung in Zukunft auf derartigen Prüfständen zu ermöglichen. Die dabei gewonnenen Daten fließen mit ein in die Arbeiten der Normungsgruppe ISO TC 43/SC 1 WG, die sich mit dem entsprechenden Normentwurf als ISO 362-3 beschäftigt.

Weiterhin wurden erste psychoakustische Untersuchungen zur Nutzerakzeptanz von Elektrofahrzeugen und zu ihrer Wahrnehmbarkeit, zum Beispiel bei



⑥ Schalldruckpegel im Fahrzeuginnen mit einem Serienrad und mit dem mikroperforierten Reifenabsorber

DANKE

Das Fraunhofer-IBP möchte den folgenden Personen danken, die neben vielen anderen, an der gelungenen Umsetzung des Allrad-Rollenprüfstands beteiligt waren: Horst Großmann von der Porsche AG, Jürgen Knust von SBI, Christian Hartmann von Maha-AIP und Gerd Halter von Müller BBM-VAS.

Annäherung an den Zebrastreifen, im vom BMBF geförderten Projekt „Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität“ durchgeführt. Gerade die Elektromobilität wirft in akustischer Hinsicht viele neue Fragen auf und bildet einen Forschungsschwerpunkt für die Zukunft.

LITERATURHINWEISE

- [1] Hawighorst, M.; Teller, P.: Sound Characteristics of Electric Cars – Perception and Impact. In: ATZlive (Editors): 12th Stuttgart International Symposium „Automotive and Engine Technology“, Volume 2, 13 and 14 March 2012 in Stuttgart. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2012, S. 133 – 145
- [2] DIN ISO 362-2009: Messverfahren für das von beschleunigten Straßenfahrzeugen abgestrahlte Geräusch. Beuth-Verlag, Berlin, 2009
- [3] Teller, P.; Brandstät, P.: Labor für Fahrzeugakustik und simulierte Vorbeifahrt. In: Möser, M. (Hrsg.); u. a.: Fortschritte der Akustik – DAGA 2010: 36. Jahrestagung für Akustik, 15. bis 18. März 2010 in Berlin. Berlin: DEGA, 2010, S. 971 – 972
- [4] DIN EN ISO 3745-2012: Akustik – Bestimmung der Schalleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen. Beuth-Verlag, Berlin, 2012
- [5] Maa, D.-Y.: Potential of Microperforated Panel Absorber. In: Journal of the Acoustical Society of America, S. 2861 – 2866, November 1998
- [6] Herget, W.; Brandstät, P.; Bay, K.; Moll, W.: Mikroperforierter Reifenabsorber. IBP-Mitteilung 38 (2011), Nr. 511



DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.ATZonline.de



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
order your test issue now:
springervieweg-service@springer.com



Enjoy the silence



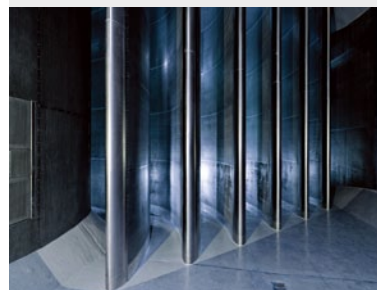
Akustikprüfstand mit BKA-Flachabsorbem



Akustischer Messraum für Vorbeifahrtgeräuschmessung



Akustischer Messraum mit asymmetrischen Strukturabsorbem



Akustische Umlenkecken in einem Aero-Akustik-Windkanal

- Akustische Messräume gemäß ISO 3744 und 3745
 - Motorenprüfstände
 - Komponentenprüfstände
 - Vorbeifahrtgeräuschmessung
- Hallräume
- Aero-Akustik-Windkanäle
- Raumakustik
- Schallschutzkabinen