



▲ Akustik-Zentrum

# AKUSTIK IM AUTOMOTIVE-UMFELD

Text **Christian Jungebluth** | Fotos **Bertrandt**

Der Tonmeister denkt bei dem Begriff Akustik vermutlich an das Abklingverhalten eines Konzertsalles, denn mit diesem definiert sich maßgeblich, wie eine Aufnahme oder ein Konzert klingt. Musiker spielen in einer guten Akustik besser und auch das Klangerlebnis für den Zuhörer ist erfüllender. So hat die besondere Akustik Säle wie das Concertgebouw in Amsterdam weltberühmt gemacht. Für den Entwickler einer Baumaschine reduziert sich der Begriff Akustik möglicherweise auf die Angabe des Schalldruckpegels. Diesen muss er aus arbeitsschutzrechtlichen Gründen auf der Maschine vermerken. Dieser Bericht wirft einen Blick auf einige interessante Parallelen zwischen Concertgebouw und Baumaschine – ohne dabei einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

In den letzten zehn Jahren hat die Integration von Lifestyle- und Umweltthemen im Automotive-Bereich enorm zugenommen. Neben der aktuellen Frage nach der Umsetzung von alternativen Antriebskonzepten sind z. B. Apple Carplay, Android Auto oder MirrorLink auf dem Weg in unsere Autos. Hier befinden wir uns längst nicht mehr am Anfang, denn Konzepte wie Navigationsassistent und Telefon sind mittlerweile schon vollständig akzeptiert und integriert. Diese können von uns mittels Sprachsteuerung bedient werden

und teilen uns neben der optimalen Route auch die neuesten Verkehrsinformationen mit.

Zudem sind Themen wie Fahrkomfort und Innengeräusche im Zusammenhang mit Elektrofahrzeugen aktueller als je zuvor. Der Verbrennungsmotor hat in der Vergangenheit viele Nebengeräusche maskiert und war das omniprésente Geräusch im Fahrzeug. Heute gilt es, neue Konzepte zu erdenken und umzusetzen. Die

Fahrzeuge von morgen sollen akustisch angenehm und gleichzeitig „stylish“ klingen.

Um diese Bandbreite von Themen als Ingenieurdienstleister bedienen zu können, betreibt Bertrandt eines der größten Akustikzentren Europas mitten im Herzen Niedersachsens zwischen Wolfsburg und Hannover. Die Bertrandt Technologie GmbH bietet auf 3.500 m<sup>2</sup> eine breite Auswahl an Räumlichkeiten, Prüfständen und Messtechnik zu vielen Themen rund um

Akustik, nicht nur im Automotive-Bereich, sondern ebenso in anderen Segmenten wie Medizintechnik, Luftfahrt, Bauakustik und Elektroakustik.

### ELEKTROAKUSTIK IM FAHRZEUG

Das mittlerweile digitale Autoradio gehört auch zum Thema Akustik. Neben der einfachen Distribution von Programmen sind hochpräzise Echtzeit-Verkehrsinformationen über die digitale Radiotechnik DAB+ möglich. Ab März 2018 hat die EU die Autohersteller dazu verpflichtet, in ihre Neuwagen ein automatisches Notrufsystem einzubauen. Diese sogenannte eCall-Technik alarmiert bei einem schweren Unfall automatisch die Notrufzentrale. Die Anforderungen an das gesamte System sind von der EU-Kommission präzise vorgegeben. Beim Notruf muss die Sprachverständlichkeit gewährleistet sein und auch die abzugebende Schall-

oder im Vollfreifeld kontrolliert. Dies endet dabei nicht bei der Messung des Frequenzganges. Umfangreiche Lebensdauertests und die Umweltsimulation von UV-Licht, Nässe und Kälte setzen den Lautsprechern in einem beschleunigten Alterungsprozess zu, um dann extrapolieren zu können, ob ihre Lebensdauer der geplanten Lebenszeit des Gesamtfahrzeuges entspricht.

Das letztendliche Produkt erfüllt alle Vorgaben der Automobilhersteller zu Frequenzgang, Gleichanteil, THD, Group Delay oder elektrischer Impedanz. Das gesamte Infotainment-System wird in einem Baukastensystem aus Verstärker- und



Foto: Jungebluth

### CHRISTIAN JUNGEBLUTH

Christian Jungebluth ist Lead Engineer im Fachbereich Akustik bei der Bertrand Technologie GmbH in Sasenburg. Im Akustikzentrum betreut er die verschiedensten Projekte und Themengebiete auf fachlicher und koordinativer Ebene. Zwischen 2004 und 2012 betrieb er sein eigenes Tonstudio, zunächst in Hamburg und später in Goslar.



▲ Abb. 1: Infotainment im Fahrzeug



▲ Abb. 2: Martin Broesel, Teamleiter des Akustikzentrums (r.) und Christian Jungebluth, Lead Engineer bei Bertrand

leistung des Lautsprechers ist exakt beschrieben. Das bedingt im Umkehrschluss ein entsprechendes Konzeptdesign und die Messungen dazu, um alle Vorschriften umzusetzen.

So nimmt das Thema Radio und Wiedergabe enorm an Fahrt auf und belebt die Auslegung der Technik für das Auto immer weiter. Um Funktionalität und Klang definieren zu können, betreiben Automobilhersteller schon seit Jahren Forschung rund um den elektroakustischen Wandler. Die Lautsprecher im Fahrzeug sind auf Kosten und Klang optimiert. Ihre Lebensdauer wird in umfangreichen Tests überprüft und alle akustischen Parameter werden in einer genormten Schallwand

Rechnereinheit mit den Lautsprechern je nach Fahrzeugtyp kombiniert. Separat abgesetzt gibt es in den heutigen mittel- und hochklassigen Fahrzeugen ein „Human Interface“ – das Bedienteil. Die Systeme verhalten sich in unterschiedlichen Fahrzeuginnenräumen akustisch komplett verschieden. Durch die veränderbaren Positionen der Lautsprecher in verschiedenen Fahrzeugen entsteht jeweils eine individuelle Akustik, mit eigenen Resonanzen und Raummoden. Auch stoff- oder lederbezogene Sitze erzeugen hier einen deutlichen Unterschied im Klang, genauso wie eine Ausführung als Kombi oder als Limousine. Um trotzdem ein „Branding“ in den Klang des Fahrzeugs zu implementieren sowie die Einflüsse kompensieren zu können, wird bei den meisten Herstellern für jede Fahrzeugausführung eine Klanganpassung durchgeführt.

Dies ist prinzipiell ein umgekehrtes Mastering. Über Equalizer und Dynamikfunktionen wird der Klang im Fahrzeug an den gewünschten Sound angepasst und die Wiedergabe von bekannten Musiktiteln sollte zum bekannten und gewünschten Klangerlebnis führen. Nicht nur auf spektraler Ebene, sondern auch in Bezug auf Laufzeiten und Dynamik in unterschiedlichen Fahrsituationen. Hier ergeben sich teilweise enorme Klangunterschiede durch Verdeckungseffekte, hervorgerufen von Wind- oder Abrollgeräuschen.

Die Infotainment-Systeme haben mittlerweile eine enorme Komplexität angenommen. Aktuelle Generationen können über 90 Millionen Zeilen Programmcode

erreichen. Die Software einer Boeing 787 mit sieben Millionen oder die des „Large Hadron Colliders“ in Cern mit 50 Millionen Zeilen Code zeigen, wie umfangreich die Zusammenhänge hier sind. Bei Porsche ist seit 2016 das „Auro-3D-Format“ in einigen Fahrzeugmodellen bestellbar. Dies bietet 3D-Sound inklusive des entsprechenden Upscalings (Berechnung aus einem Stereosignal in ein Mehrkanalformat inklusive zusätzlicher Höhenebene) innerhalb des Infotainment-Systems der Fahrzeuge. Diese vernetzen dabei sämtliche elektroakustische Themen im Auto – neben den schon genannten Punkten wie CD- und Medienwiedergabe, motorsoundunterstützende Systeme, Warn- und Hinweistöne auch die Kommunikation von und mit den Assistenzsystemen.

Auch der Zusammenhang zwischen Warn- und Ereignis, sollte für den Fahrer klar zu erkennen sein. Aber gibt es einen Klang, der auf natürliche Weise auf einen toten Winkel oder ein kreuzendes Reh in der Abenddämmerung hinweist? Manche solcher Klänge schaffen es tatsächlich, Teil unserer kollektiven Hörwahrnehmung zu werden. Wenn jemand vom „Rückwärtspiepen“ eines Lkw oder dem „Blinkerklicken“ spricht, hat vermutlich jeder Erwachsene eine Assoziation dazu.

## REISEKOMFORT UND DURCHSCHALLUNGSMESSUNGEN

Der eingangs erwähnte Fahrkomfort ist schon seit Jahrzehnten ein Qualitätsmerkmal für Automobilhersteller. Doch wie definiert sich Fahrkomfort? Einige denken dabei an die Weiterleitung der Stöße beim Überfahren von Unebenheiten. Dies ist aber nur ein Teil des Puzzles. Wie und bis zu welcher Frequenz werden die Stöße an den Sitz und damit an den

Um die qualitative Wahrnehmung zu verbessern, wird dauerhaft an neuen Dämpfungsmaßnahmen gearbeitet. Ständig werden Lagerstellen verbessert oder neue Dämmstoffe getestet. Diese können im sogenannten „Fensterprüfstand“ auf ihre Wirksamkeit kontrolliert werden. Der Fensterprüfstand ist eine Anlage zur Ermittlung des Dämpfungsmaßes, einer Struktur oder eines Materials. Dazu wird in einem Hallraum ein diffuses Schallfeld erzeugt. Dort gibt es ein „Fenster“, in dem das Prüfobjekt eingebracht wird. Nach der Transmission des Schalls durch das zu prüfende Objekt wird auf der anderen Seite der von der durchschallten Struktur nicht absorbierte Schall gemessen. So können quantitativ eindeutige Größen zur Absorption bestimmt werden. Der enorme Aufwand der Prüfungen wird in der Darstellung (Abbildung 4) deutlich. Der komplette Vorderwagen eines Autos ist in ein „Fenster“ zwischen zwei Räumen montiert. Mit „Räume“ ist hier jeweils ein Betonkubus von etwa 180 Tonnen gemeint. Beide Räume sind doppelschallig vom Hauptgebäude und voneinander durch Federelemente entkoppelt. Die gesamte Anlage ist schwingend ausgeführt, damit die Räume untereinander und vom Hauptgebäude bis herunter zu 4 Hz entkoppelt sind. Da die Absorption bei Transmission des Schalls bei hohen Frequenzen sehr groß ist, benötigt man, um einen ausreichenden Signal-Rauschabstand zu erreichen, enorme Schallpegel im Diffusfeld des Hallraums. Im gegenüberliegenden Empfangsraum wird die zu messende Struktur mit einem Roboter abgefahren, welcher über die Schallschnelle Richtung und Pegel des nicht absorbierten Schalls bestimmt. So erhält man eine Schallkarte des Prüfobjektes.



▲ Abb. 3: Assistenzsysteme wie Fußgängererkennung

## ASSISTENZSYSTEME

Viele Assistenzsysteme „sprechen“ schon mit dem Fahrer und weisen ihn mit einer Tonfolge oder einem Geräusch auf etwas hin. Dabei stellt sich die Frage, wie ein Warnton klingen muss, damit er vom Fahrer wahrgenommen wird. Erkennt das Assistenzsystem, dass der Fahrer müde ist, sollte er darauf hingewiesen werden. Aber was passiert, wenn jemand in seinem Hörvermögen eingeschränkt ist? Welche Warntöne sind allgemeingültig anwendbar? Welche Töne individuell anzupassen?

Fahrer weitergeleitet? Was ist an der Pedalerie oder am Lenkrad zu spüren? Welcher Anteil der Energie wird in Schall umgewandelt und erreicht das Fahrer-Ohr? An all diesen Themen wird geforscht.

Betrachtet man die Stoßenergie, welche über das Fahrwerk und die Reifen eingeleitet wird, gelangt diese natürlich auch anteilig in die gesamte Fahrzeugstruktur. Die Vibrationen werden dann möglicherweise über Stirnwand und Instrumententafel als Luftschall in den Innenraum übertragen und dort als guter oder schlechter „Fahrkomfort“ über das Ohr wahrgenommen.

## DAS MATERIALLABOR

Ein Hallraum lässt sich außerdem zur Bestimmung der Absorption von Materialien vor der Wand oder dem Boden des Hallraumes benutzen. Die natürliche Nachhallzeit des Raumes verändert sich durch das Einbringen der Prüfkörper. Über die Differenz und die Oberfläche der Prüflinge lässt sich dann auf die Absorption schließen. Natürlich kann die Absorption von senkrecht einfallendem Schall in einem Impedanzrohr auch einfacher bestimmt werden. Jedoch ist absolut senkrechter Schalleinfall eher ein Attribut, mit dem in der Simulation gerechnet wird. In der

Realität ist die Schallausbreitung meist diffus.

Eine sogenannte Alphakabine stellt hier eine einfache Lösung für kleine Proben dar und nutzt das Prinzip des Hallraums mit einem Volumen von nur 6,44 m<sup>3</sup>. Wenn aber die Absorption bei diffusem Schalleinfall bis zu 50 Hz gefragt ist, benötigt man ein sehr großes Volumen, da ansonsten die Schallausbreitung von extrem tiefen, langwelligen Frequenzen gar nicht möglich wäre. Im Akustikzentrum in Sassenburg werden in den Hallräumen Nachhallzeiten von bis zu 13 Sekunden erreicht. Das liegt auf dem Niveau des Kölner Domes und bietet hervorragende Messbedingungen für die beschriebenen Verfahren. Das Betreten der Hallräume ist ein imposantes Erlebnis zum Thema Sprachverständlichkeit. Ein Gespräch in den Räumen und auch die Messe im Kölner Dom müssten etwa sechsmal langsamer gehalten werden, um ähnlich gut wie unter „normalen“ Bedingungen verstanden zu werden.

Die Dämpfungseigenschaften der Materialien werden aber nicht nur mit Versuchen belegt, sondern schon in der Entstehungsphase im Computer berechnet. Gerade durch die Kombination von verschiedenen Materialien lassen sich Masse-Feder-Systeme simulieren oder verschieden wirksame Materialien kombinieren. Daher werden Parameter wie E-Modul, Biegesteifigkeit oder Porosität im Materiallabor für die Simulation erstellt und später in Versuchen verifiziert.

In Konzerthäusern und Tonstudios werden Diffusoren eingesetzt, um das Maß an Diffusion zu steigern und Echos zu minimieren, ohne die Nachhallzeit mit Absorbieren zu kurz zu gestalten. Die Wirksamkeit vieler Diffusoren ist jedoch messtechnisch kaum quantifiziert und ihre Wirkung stark von Frequenz und Einfallswinkel abhängig. Im Labor lässt sich für Diffusoren der Diffusionsgrad über die Frequenz präzise bestimmen. Zusätzlich kann man die Diffusion über ein Polardiagramm pro Frequenzband und Einfallswinkel aufzeigen. Zusammen mit dem Absorptionsgrad lassen sich dann qualitative Aussagen über verschiedene Modelle treffen und der planende Akustiker hat die Möglichkeit, diese bei der Auslegung von Räumen bzgl. Nachhallzeit und Reflexionen anzuwenden.

Das Psychoakustiklabor der Bertrand Technologie GmbH ist prinzipiell die Tonregie des Akustikzentrums. Hier können aufgezeichnete Geräusche über Kopfhörer oder Lautsprecher wiedergegeben werden. Dazu ist der Raum auf eine frequenzlineare Nachhallzeit von circa 300 ms bedämpft, Erstreflexionen über die Wände werden durch geeignete Absorber oberhalb von 1 kHz unterbunden. Da



▲ Abb. 4: Fensterprüfstand

es im NVH (Noise Vibration and Harshness)- und Automotive-Bereich üblich ist, die Beschleunigung der Sitzschiene als Qualitätsmerkmal des Fahrkomforts aufzuzeichnen, wurde dazu noch ein besonderer Kniff realisiert. An den neun im Psychoakustiklabor installierten Fahrzeugsitzen kann die Beschleunigung aus Fahrzeugmessungen synchron zum Audiosignal wiedergegeben werden. Ein Shaker-System regt die Sitze mit der aufgezeichneten Beschleunigung aus der Messung an. Dem Ganzen sind natürlich physikalische Grenzen gesetzt, aber das emotionale Erlebnis eines Videos mit Sound plus Shaker-Wiedergabe an den Sitzen gewinnt eine weitere Dimension des Erlebens hinzu. Die Wahrnehmung, ob ein Fahrzeug laut oder leise ist, wird plötzlich differenzierbar zu dem Erlebnis, ob das Fahrwerk des Autos als „gut“ oder „schlecht“ wahrgenommen wird. So hat das leisere Auto nicht zwingend das bessere Fahrwerk!

Neben der Nutzung des Psychoakustiklabors als Hörraum für verschiedene Anwendungsfälle, ist es dem Namen entsprechend auch dazu geeignet,

verschiedene Klänge über Probandentests zu bewerten. Die Frage, welches Fahrgeräusch des Elektrofahrzeuges der Zukunft für welche Alters- oder Kundengruppe „gut“ klingt, lässt sich so wissenschaftlich ermitteln. Den Probanden werden dazu über Kopfhörer Beispiele vorgespielt, deren Bewertung erfasst und die Ergebnisse gesammelt. Die Auswertung erfolgt in einer detaillierten Analyse bis zur Einbeziehung des semantischen Differentials.

Entwicklung von Warn- und Hinweistönen Sounddesign ist in diesem Zusammenhang natürlich ebenfalls ein Thema, nicht nur beim synthetisch erzeugten Klang für Elektrofahrzeuge. Hierzu hat sich eine Arbeitsgruppe unter Führung des Bundesumweltministeriums bereits 2011 geeinigt, dass Elektrofahrzeuge mit künstlichen Fahrgeräuschen ausgestattet werden müssen, um andere Verkehrsteilnehmer zu schützen. Die Geräusche dürfen nicht lauter sein als die von anderen Pkw, Bussen oder Motorrädern mit Verbrennungsmotoren bei Geschwindigkeiten bis 20 km/h. Zusätzlich soll das Geräusch anderen Verkehrsteilnehmern suggerieren, ob das Elektrofahrzeug beschleunigt, verzögert oder mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit fährt. Es darf aber nicht an Klänge wie Sirenen, Alarmanlagen, Melodien oder Tierstimmen erinnern. Hier die vorgegebene Klangstruktur einzuhalten und gleichzeitig der Fahrzeugmarke entsprechend sportlich oder souverän zu klingen, bedeutet Vorschriften mit

Zielvorgaben zu kombinieren sowie die psychoakustische Wahrnehmung der Konsumenten zu beachten.

Auch Geräusche wie Schalterklicken oder das Piepen des Rückfahrassistenten wollen „erfunden“ werden und sind im Hinblick auf einen Markenstatus ein wichtiges Qualitätsmerkmal. Hinzu kommt die psychoakustische Wahrnehmung von Hinweistönen. Ist vielleicht ein Glockenklang geeigneter für die Meldung des Müdigkeitswarners als ein Sirenton? Reagiert der Fahrer schneller auf die Sirene und ein Unfall wird vermieden? Vielleicht, jedoch wird der Fahrer einen extrem unangenehmen Klang als seinen Assistenten bestimmt nicht akzeptieren. Daher muss der Hersteller hier einen Kompromiss finden, der auch zu seiner „Marke“ passt.

### FAHRVERSUCH

Der Zustand, welcher die Hauptemotion des Autofahrens ausmacht, ist vielleicht der als Fahrer auf einer schönen Landstraße im Sonnenschein. Doch wie lässt sich solch ein Erlebnis qualitativ ausdrü-

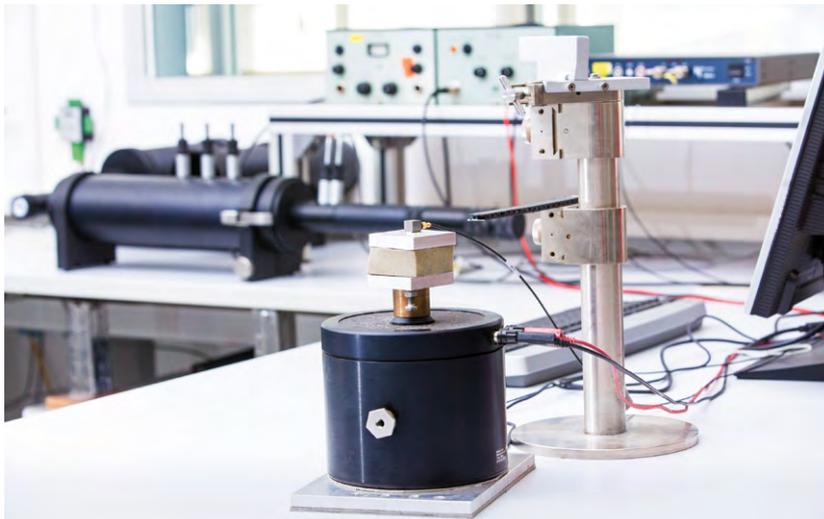
Messpunkte sind dabei zumeist die Ohrpunkte der Insassen, aber auch die schon erwähnte Beschleunigung wird an vielen Punkten aufgezeichnet. Zum Beispiel lässt sich unterhalb des Fahrzeugbodens, hinter den Lagerpunkten des Getriebes, eine sehr gute quantitative Aussage darüber treffen, ob das Getriebe gut entkoppelt vom Fahrzeug angebracht wurde, um möglichst wenig Schwingungen in das Fahrzeug einzuleiten. Jedoch ist es an dieser Position kaum sinnvoll, ein Mikrofon zu platzieren. Hier gibt es zu viele Windgeräusche und die quantitative Aussage über die Bewegung der Fahrzeugstruktur an dieser Stelle ist viel aussagekräftiger. Vergleichbar wäre dies mit der Mikrofonierung eines Kontrabasses direkt vor dem Schlagzeug der Rhythmusgruppe. Wenn es schon so sein muss, würde der Tonmeister dort lieber einen Kontaktton-

wahrgenommen. Im tieffrequenten Bereich wird aus „Hören“ dann „Fühlen“, wobei die Aufgabenstellung gleichbleibt.

### AKUSTIK ROLLENPRÜFSTAND

Um Messungen unter akustisch optimalen Bedingungen auf die Spitze treiben zu können, befindet sich im Akustikzentrum ein großer Halbfreifeldraum mit Akustik-Rollenprüfstand. Hier lassen sich Fahrtmessungen auf im Boden eingelassenen, drehenden Rollen bei Stillstand des Fahrzeuges durchführen. Natürlich gibt es noch viele andere gute Gründe, einen solchen Prüfstand zu betreiben. Neben der akustischen Halbfreifeldsituation herrscht absolute Ruhe im Raum. Bei einer Grundfläche von 350 m<sup>2</sup> und einer Raumhöhe von sechs Metern ist dieser komplett auf Federn gelagert und als Raum-in-Raum-Lösung konzipiert. Die abgefederte Gesamtlast beträgt hier circa 1.050 Tonnen bei einer vertikalen Lagerungsfrequenz von 4 Hz. Die Lufttemperatur ist regelbar und zur Motorkühlung lässt sich klimatisierter Fahrtwind vor dem Pkw einblasen und dahinter wieder ableiten. Für viele Messungen ist es aber auch interessant, das Fahrzeug ohne Windgeräusche zu betrachten. Zum Beispiel, um diese als Quelle für Störgeräusche auszuschließen.

Auch die Möglichkeit, ein Bauteil – wie den Motor – vom Fahrzeug zu entkoppeln, ist ohne einen solchen Prüfstand nicht möglich. Mittels Prüfaufbauten kann jegliche Verbindung des Motors zum Fahrzeug getrennt werden und das Fahrzeug ist trotzdem „fahrbereit“. Der Antriebsstrang bleibt bestehen. So lässt sich zum Beispiel die Schallimmission ohne den Großteil des Körperschalleintrages vom Motor bestimmen. Es kann festgestellt werden, ob die als störend empfundene Emission vom Motor oder vielleicht doch über das Differenzialgetriebe eingestreut wird. Eine weitere Möglichkeit, die vielen verschiedenen Pfade vom Erreger bis zum Fahrer-Ohr zu betrachten, ist die Transferpfadanalyse. Hier wird das zu untersuchende Signal (zum Beispiel am Fahrer-Ohr) in die einzelnen Beiträge des Gesamtgeräusches zerlegt (Reifengeräusche, Motor, Getriebe, Fahrtwind usw.). Im Anschluss kann bestimmt werden, in welchem Pfad ein eventuell störendes Signal enthalten ist.



▲ Abb. 5: Das Materiallabor

cken? Wie schon erwähnt gibt es neben der Fahrdynamik, dem Motorsound, dem Radio und dem Klang der Assistenzsysteme natürliche Faktoren, an die man zuerst denkt: Wie laut ist es im Fahrzeug? Wie stark ist die Wahrnehmung bei Erschütterungen? Auch zu diesen Fragen werden unglaublich viele Daten erhoben. Es werden in allen Gängen bei Voll- und in Teillast des Motors Messungen durchgeführt und das Verhalten beim Ausrollen des Fahrzeuges wird bewertet.

abnehmer am Kontrabass platzieren als ein Großmembranmikrofon. Mit der Messung der Beschleunigung vor und nach Lagerpunkten lassen sich auch die Übertragungsfunktionen der Lager und somit deren Effizienz im entsprechenden Anwendungsfall bestimmen. Entwickelt ein Getriebe durch eine hohe Drehzahl der Planetenräder eine hochfrequente Störung bei 6 kHz, sollten die Lager bei dieser Frequenz dementsprechend gut das Getriebe von der übrigen Fahrgastzelle abschirmen. Ansonsten wird die Energie bei 6 kHz über verschiedene Wege in den Innenraum geleitet, dort von unterschiedlichen Oberflächen abgestrahlt und letztendlich am Fahrer-Ohr

Ein derartig großer Halbfreifeldraum eignet sich natürlich auch dazu, sehr trockene Aufnahmen ohne jegliche Reflexionen über Wände oder Decken zu erstellen.

Auch gibt es keine Raumeigenfrequenzen, welche als Resonanz zum aufzuzeichnenden Schall auftreten könnten. Mit dem Allrad-Rollenprüfstand im Raum ergibt sich zusätzlich die Möglichkeit, dies alles im Fahrbetrieb zu tun. Wenn also kein identifizierbarer Raumklang vorhanden sein soll und auch die Windgeräusche nicht erwünscht sind, bietet der Prüfstand eine Akustik, welche das Schallereignis „lupenrein“ wiedergibt. Unter diesen Bedingungen wurden in Sassenburg Aufnahmen für Auto-Rennspiele mit diversen Supersportwagen durchgeführt. Wind und Nachhall können später im Computer je nach Spielverlauf wieder hinzugefügt werden.

Die Möglichkeit, den Motorsound bei 250 km/h in konstantem Abstand von Motor oder Abgasanlage ohne Windgeräusche durchzuführen, ist natürlich einmalig. Um den Klang von Innen-, Außen-, Motor-, und Abgasgeräuschen gleichzeitig aufzunehmen, ist eine große Anzahl von Mikrofonen nötig, welche fast schon an die Aufzeichnung einer Big Band erinnert. Es gibt dröhnende Bässe wie von einer Bassdrum, kreischende Mitten wie bei einer E-Gitarre und lautes Zischen wie von Becken. Wenn alles richtiggemacht und das gesamte

„Fahrzeug-Konzert“ in verschiedenen Last-situationen und Getriebegängen aufgezeichnet wurde, kann das Ergebnis wirklich ergreifend sein. So kann man dem Motorsport-Enthusiasten beim Abhören durchaus eine Gänsehaut bereiten.

### EMOTIONEN WECKEN

Am Ende bleibt zu sagen: Das Thema Akustik im Automotive-Umfeld hat unendlich viele Facetten, letztendlich geht es aber immer um Emotionen. Können die positiven Emotionen beim Hören eines Orchesters aus dem Concertgebouw in Amsterdam über das Autoradio ins Fahrzeug transportiert werden? Was passiert, wenn das Auto zu laute Fahrgeräusche entwickelt? Wird dann aus der ursprünglich positiven Emotion des Konzertes eine Stresssituation für den Fahrer?

Auch, wenn das Sport Coupé klingt wie ein Lkw, sind wir emotional enttäuscht. Doch spricht die Probefahrt uns auf emotionaler Ebene mit tollem Motorsound, sattem Türzuschlag und einem hervorragenden Hifi-Klang an, dann sind wir als Käufer begeistert.

Das Hören ist einer der wichtigsten Sinne. Es spricht unsere Erinnerungen und Emotionen an. Diese können uns während einer Autofahrt ins Concertgebouw nach Amsterdam bringen. Daher sind und bleiben Entwicklung und Design eines Fahrzeuges im Zusammenhang mit Akustik ebenso vielfältig wie spannend. ●



▲ Abb: 6: Akustik-Allrad-Rollenprüfstand in Sassenburg