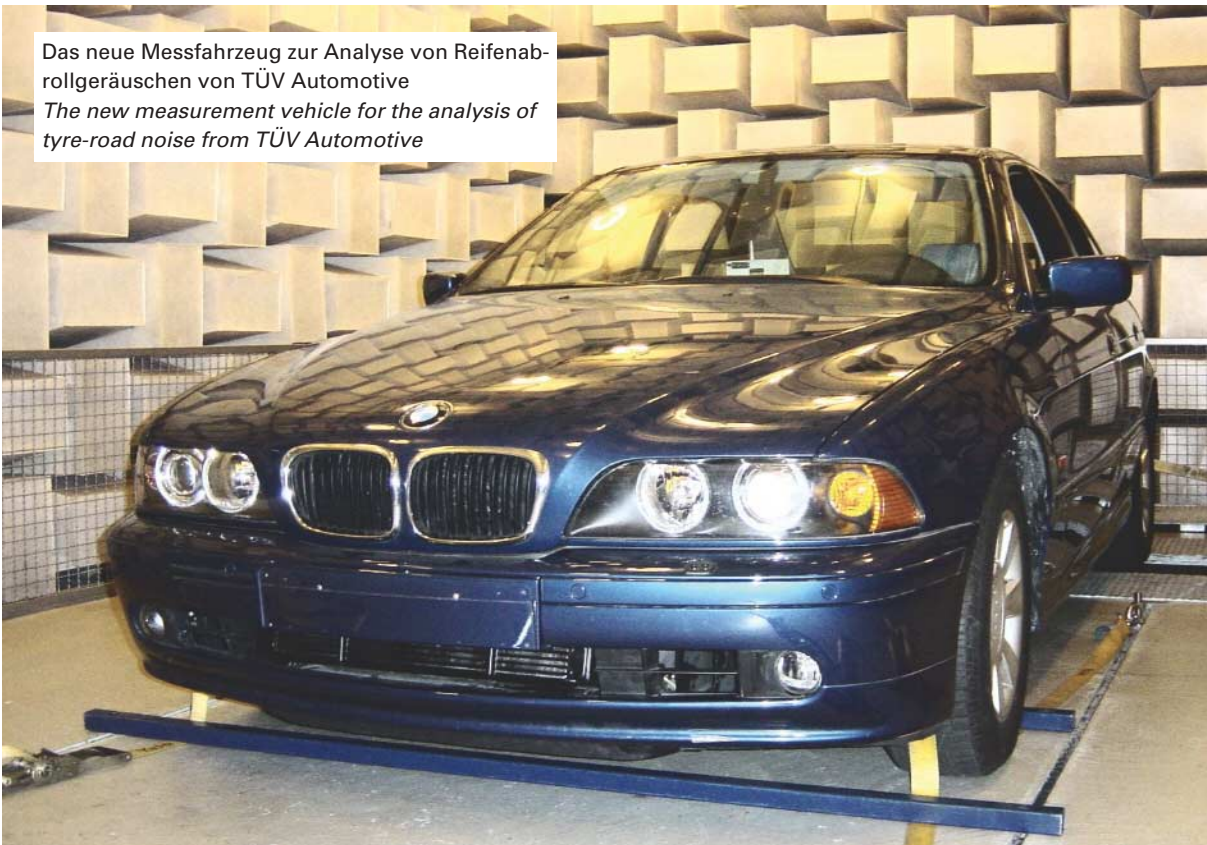


Analyse des Reifenabrollgeräuschs mit einem Messfahrzeug

Das neue Messfahrzeug zur Analyse von Reifenabrollgeräuschen von TÜV Automotive
The new measurement vehicle for the analysis of tyre-road noise from TÜV Automotive



Die Europäische Kommission hat sich zum Ziel gesetzt, den Verkehrslärm bis zum Jahr 2020 zu halbieren. Nach Maßnahmen am Antrieb sind weitere Reduktionen künftig nur noch unter Einbeziehung der Fahrzeugreifen möglich. Zur Messung des Reifenabrollgeräuschs wurde am Institut für Kraftfahrwesen Aachen (ika) der RWTH Aachen, im Auftrag der TÜV Automotive GmbH ein entsprechendes Reifen-Testfahrzeug auf Basis eines BMW 5er aufgebaut.

1 Einleitung

Lärm macht krank. Nach neueren Erkenntnissen sogar auch dann, wenn die Betroffenen den Geräuschpegel gar nicht als Lärm empfinden. Obwohl die Mobilität einen wichtigen Bestandteil unserer Lebensqualität ausmacht und kaum jemand auf den heutigen Komfort verzichten möchte, fühlen sich viele insbesondere durch den Verkehrslärm nachhaltig belästigt. Deshalb kommt der Reduktion von Straßenverkehrslärm eine besondere Bedeutung zu. Auch die Europäische Kommission ist auf diesem Sektor aktiv: Bis zum Jahr 2020 soll der Verkehrslärm halbiert werden.

Für den Verkehrslärm ist neben der Fahrbahnbeschaffenheit und der Witterung auch das Fahrzeug selbst verantwortlich. Die dafür zulässigen Grenzwerte wurden in den letzten 25 Jahren mehrfach gesenkt. Trotzdem hat die Geräuschbelastung durch den steigenden Motorisierungsgrad in Deutschland zugenommen. Deshalb müssen zur Erreichung des genannten Ziels alle Einflussgrößen untersucht und genutzt werden. Die Reduzierung des Verkehrslärms verlangt daher auch die genaue Analyse der Geräuschemissionen des einzelnen Fahrzeugs.

In den vergangenen Jahren wurden die vom Gesetzgeber stufenweise gesenkten Grenzwerte bezüglich Geräuschemission von den Fahrzeugherstellern weitgehend durch Maßnahmen am Antrieb sowie Ansaug- und Abgasanlage erfüllt. Eine weitere Reduzierung der Geräuschemission eines Pkw ist jedoch nur noch möglich, wenn auch das Reifen-Fahrbahn-Geräusch mit in die Betrachtung einbezogen wird. Untersuchungen haben ergeben, dass bei heutigen Fahrzeugen bereits ab einer Geschwindigkeit von 30 km/h das Reifenabrollgeräusch die dominierende Geräuschquelle darstellt, **Bild 1**. Der Anteil des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs kann bis zu 50 % des Gesamtschallpegels eines modernen Pkw ausmachen.

Ein Vergleich eines aktuellen Fahrzeugmodells (BMW 318i) mit dem entsprechenden Modell aus dem Jahr 1971 (BMW 1802) unterstreicht diese Aussage. Während früher das Geräuschverhalten von den Gaswechselvorgängen dominiert wurde und daher das Reifen-Fahrbahn-Geräusch mehr in den Hintergrund schob, limitiert das Reifen-Fahrbahn-Geräusch bei heutigen Fahrzeugen weitere Pegelreduzierungen, **Bild 2**.

Anhand einer Berechnung kann die Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen zur weiteren Geräuschreduzierung im Straßenverkehr abgeschätzt werden. Auch diese Betrachtung unterstreicht das große Potenzial beziehungsweise die große Bedeutung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs. Eine

Grenzwertreduzierung von 74 dB(A) um 5 dB(A) lässt sich nur mit einer entsprechenden Reduzierung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs von rund 6 dB(A) erreichen. Um solche Effekte an einer Teilschallquelle zu erzielen, reichen Maßnahmen im Bereich Antriebsstrang/Motor – von heutigen, modernen Pkw ausgehend – allein nicht mehr aus.

Diese Überlegungen führten zur Konzeption eines „mobilen Akustikreifenprüfstands“, also eines Pkw, bei dem die Geräuschemissionen aller Hauptschallquellen soweit reduziert wurden, dass es zu keiner unzulässigen Beeinträchtigung des zu messenden Reifenabrollgeräuschs mehr kommt. Mit einem solchen Fahrzeug sind noch genauere Messungen des Reifengeräuschs unter verschiedenen Fahr- und Lastzuständen möglich.

2 Akustikkonzept des Messfahrzeugs

Als Basisfahrzeug wurde für den Umbau ein BMW 520i (Baureihe E 39) verwendet. Um Reifengeräuschmessungen auch unter Drehmomentbelastungen der oberen Pkw-Kategorie durchführen zu können, wurde der serienmäßige Verbrennungsmotor gegen den leistungsstärkeren M3-Motor von BMW ausgetauscht. Dieser Sechszylinder-Ottomotor verfügt über eine Höchstleistung von 252 kW sowie ein maximales Drehmoment von 365 Nm.

Übernommen wurde auch das mit dem M3-Motor in der Serie verbaute Sechsgang-

Handschatgetriebe. Der Einbau dieser beiden Komponenten in den BMW 5er erforderte diverse Änderungen unter anderem an der Ölwanne, an der Lagerung des Verbrennungsmotors sowie an der Kardanwelle.

Die Autoren



Priv.-Doz. Dr.-Ing. Jan-Welm Biermann ist Mitarbeiter des Instituts für Kraftfahrwesen Aachen (ika) der RWTH Aachen.



Dipl.-Ing. Thomas Beckmann ist Mitarbeiter des Instituts für Kraftfahrwesen Aachen (ika) der RWTH Aachen.



Dr.-Ing. Lothar Wech ist Mitarbeiter der TÜV Automotive GmbH, TÜV-Süd-Gruppe, in München.



Dipl.-Ing. Rudolf Meier ist Mitarbeiter der TÜV Automotive GmbH, TÜV-Süd-Gruppe, in München.

1 Einleitung

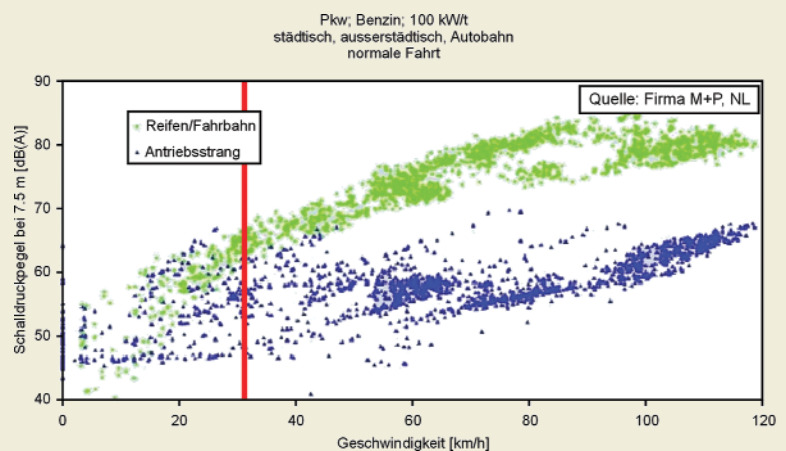


Bild 1: Das Reifen-Fahrbahn-Geräusch als Funktion der Geschwindigkeit (Quelle: [2])

Figure 1: Tyre-road noise as a function of velocity (source: [2])

1 Einleitung

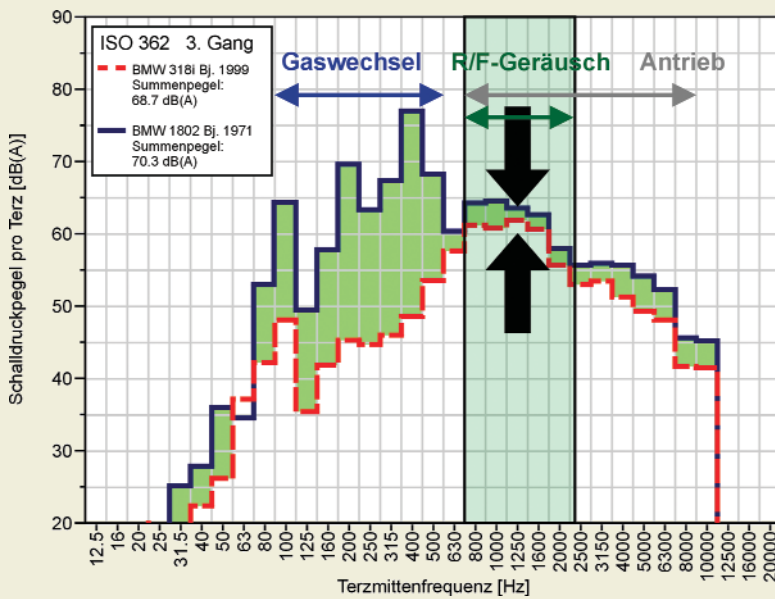


Bild 2: Geräuschquellenverteilung eines Fahrzeugs aus dem Jahr 1971 und 1999 (Quelle: [2])
 Figure 2: Distribution of noise sources in a vehicle from the year 1971 and 1999 (source: [2])

Damit das Reifenabrollgeräusch ohne den verfälschenden Einfluss anderer Schallquellen gemessen werden kann, sind deren Emissionen durch geeignete Maßnahmen zu reduzieren. Angesprochen sind hier die Schallabstrahlung des Verbrennungsmotors sowie das Mündungs- und Oberflächengeräusch der Abgas- und Ansauganlage.

2.1 Maßnahmen am Antrieb

Für den Antrieb (Motor und Getriebe) wurde als akustische Maßnahme eine motornahe Vollkapselung ausgewählt. Diese besteht im Wesentlichen aus einer Stahlblech-Verbundkonstruktion, auf deren Innenseite ein akustisch abgestimmtes System aus verschiedenen temperaturbeständigen Kunststoffwerkstoffen ange-

bracht ist. So wird die vom Verbrennungsmotor emittierte Schallenergie zum einen teilweise dissipiert, das heißt in Wärme umgewandelt, zum anderen behindert die Kapsel die Transmission des Schalls nach außen. Die Kapsel umschließt den Verbrennungsmotor inklusive Nebenaggregate, das Getriebe sowie den größten Teil der Kardanwelle. Schnellverschlüsse an der oberen Kapselabdeckung ermöglichen bei Wartungsarbeiten einen problemlosen Zugang zum Antrieb, **Bild 3**.

Die aus Akustikgründen gewählte vollständige Kapselung des Antriebs bewirkt jedoch auch eine starke thermische Isolation des Verbrennungsmotors. Die Kühlung durch den Fahrtwind ist im Gegensatz zum normalen Fahrzeugbetrieb vollständig unterbunden. Um eine zu hohe thermische Belastung und damit mögliche Beschädigung der Bauteile in der Kapsel auszuschließen, ist eine Zwangsbelüftung unerlässlich. Hierzu ist ein elektronisch ansteuerbares System aus Lüftern und Öffnungsklappen entwickelt worden, das sowohl eine ausreichende Kühlluftversorgung als auch eine hinreichende akustische Abdichtung der Kapsel gewährleistet, **Bild 4**. Die Kühlgebläse der Kapsel sowie der Lüfter des fahrzeugseitigen Wasserkühlers werden je nach Bedarf zwischen den Akustikmessungen üblicherweise vom Fahrer ein- beziehungsweise ausgeschaltet. Die aktuelle Temperatur an verschiedenen Punkten in der Kapsel wird über ein Display angezeigt. Bei Überschreiten eines Grenzwerts erklingt ein akustisches Hinweissignal. Erfolgt keine Reaktion des Fahrers wird die Kühlung aus Sicherheitsgründen vom Steuerrechner eingeschaltet.

2.1 Maßnahmen am Antrieb



Bild 3: Kapsel mit Schnellverschlüssen
 Figure 3: Encapsulation with quick fasteners

2.1 Maßnahmen am Antrieb

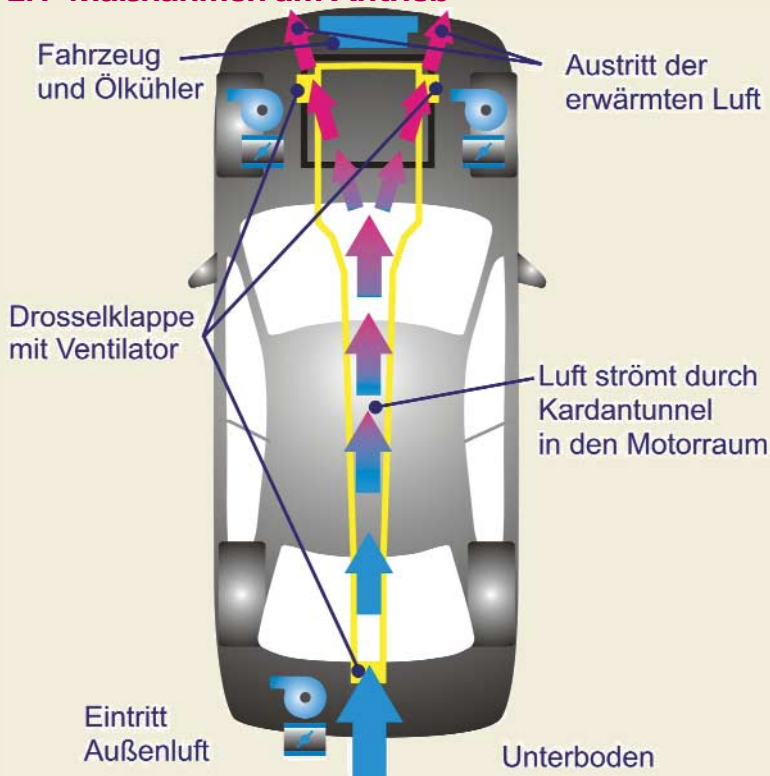


Bild 4: Kühlsystem der Kapsel
Figure 4: Cooling system of the encapsulation

2.2 Maßnahmen an der Ansaug- und Abgasanlage

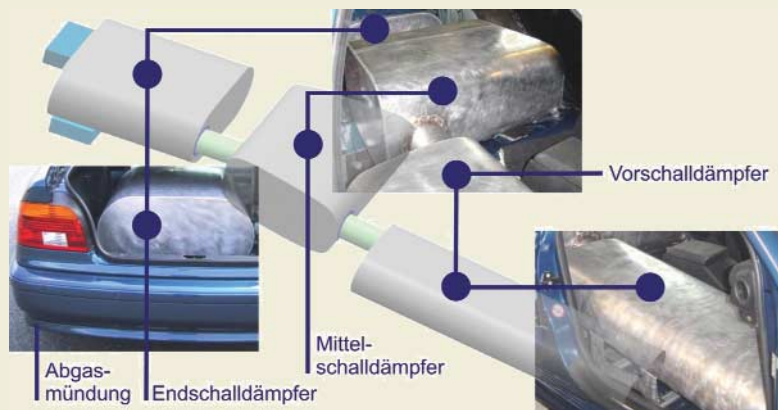


Bild 5: Spezielle Abgasanlage
Figure 5: Special exhaust system

2.2 Maßnahmen an der Ansaug- und Abgasanlage

Die geforderte starke Verringerung des Mündungs- und Oberflächenschalls von Ansaug- und Abgasanlage lässt sich nur durch den Einsatz großvolumiger Dämpferelemente erreichen. Hierzu wurde von Arvin Meritor eine spezielle Abgasanlage ausgelegt und angefertigt, **Bild 5**. Hierbei

handelt es sich um so genannte Absorptionsdämpfer, die aus Gewichtsgründen aus Aluminiumblechen gefertigt sind. Ansaug- und Abgasanlage sind komplett im Innenraum des Fahrzeugs untergebracht.

Dies hat gegenüber einer Positionierung außen (zum Beispiel auf dem Fahrzeugdach) den Vorteil, dass zusätzlich die Schalldämmwirkung der Fahrgastzelle genutzt

werden kann. Außerdem lassen sich so durch den Fahrtwind verursachte, die Messung beeinträchtigende Strömungsgeräusche vermeiden. Nach dem Ausbau von Beifahrersitz, Rücksitzbank und Ersatzrad konnte die komplette Anlage in diesem Bereich untergebracht werden.

3 Automatisierte Bedienung des Messfahrzeugs

Ein wesentlicher Aspekt für Geräuschmessungen bei „Beschleunigter Vorbeifahrt“ ist die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Fehler seitens des Testfahrers entstehen häufig zu Beginn der Messstrecke, weil er nicht exakt die geforderte Einfahrtgeschwindigkeit einhält oder weil er das Gaspedal zeitlich versetzt betätigt. Durch eine Automatisierung des Messablaufs kann die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse verbessert und gleichzeitig eine Entlastung des Fahrers erzielt werden. In dem hier vorgestellten Kapselfahrzeug wurde deshalb eine entsprechende Automatisierung mit Hilfe eines Mikrocontrollers realisiert. **Bild 6** zeigt die Struktur dieses Systems mit den wesentlichen Schnittstellen sowie Ein- und Ausgängen.

Die Schnittstellen zum Fahrer umfassen ein Display in der Instrumententafel mit vier Betätigungstasten, **Bild 7**, den akustischen Warnsignalgeber (Kapseltemperatur), das Multifunktionslenkrad mit drei Betätigungstasten sowie das Gaspedal. Im Display werden Kapseltemperaturen, Soll- und Ist-Geschwindigkeit, Motordrehzahl, Gaspedalstellung und Betriebsmodus („Vollastbeschleunigung“ beziehungsweise „Motor ausgeschaltet“) angezeigt. Über die Tasten erschließen sich weitere Display-Darstellungen zur Vorgabe des Betriebsmodus, der Sollgeschwindigkeit (normalerweise 50 km/h) und des maximalen Gaspedalwegs (maximales Drehmoment entsprechend dem zu simulierenden Pkw).

Die Schnittstellen zum Fahrzeug beinhalten Signale zweier Lichtschranken in der vorderen und hinteren Stoßstange des Fahrzeugs, die mit Hilfe von auf der Fahrbahn befestigten Reflexionsfolien das Einfahren in die Messstrecke sowie das Ausfahren detektieren. Des Weiteren, wie bereits erwähnt, drei Temperaturangaben zur Überwachung der thermischen Verhältnisse in der Kapsel. Zudem gibt es das Messsignal eines Correvitsensors, der die Ist-Geschwindigkeit des Fahrzeugs (Referenzgeschwindigkeit) erfasst.

Der Steuerrechner ist zudem mit dem CAN-Bus des Messfahrzeugs verbunden. Hier wird unter anderem das Geschwindigkeitssignal des ABS-Steuergeräts abgegriffen. Diese Information wird, weil Räder mit

3 Automatisierte Bedienung des Messfahrzeugs

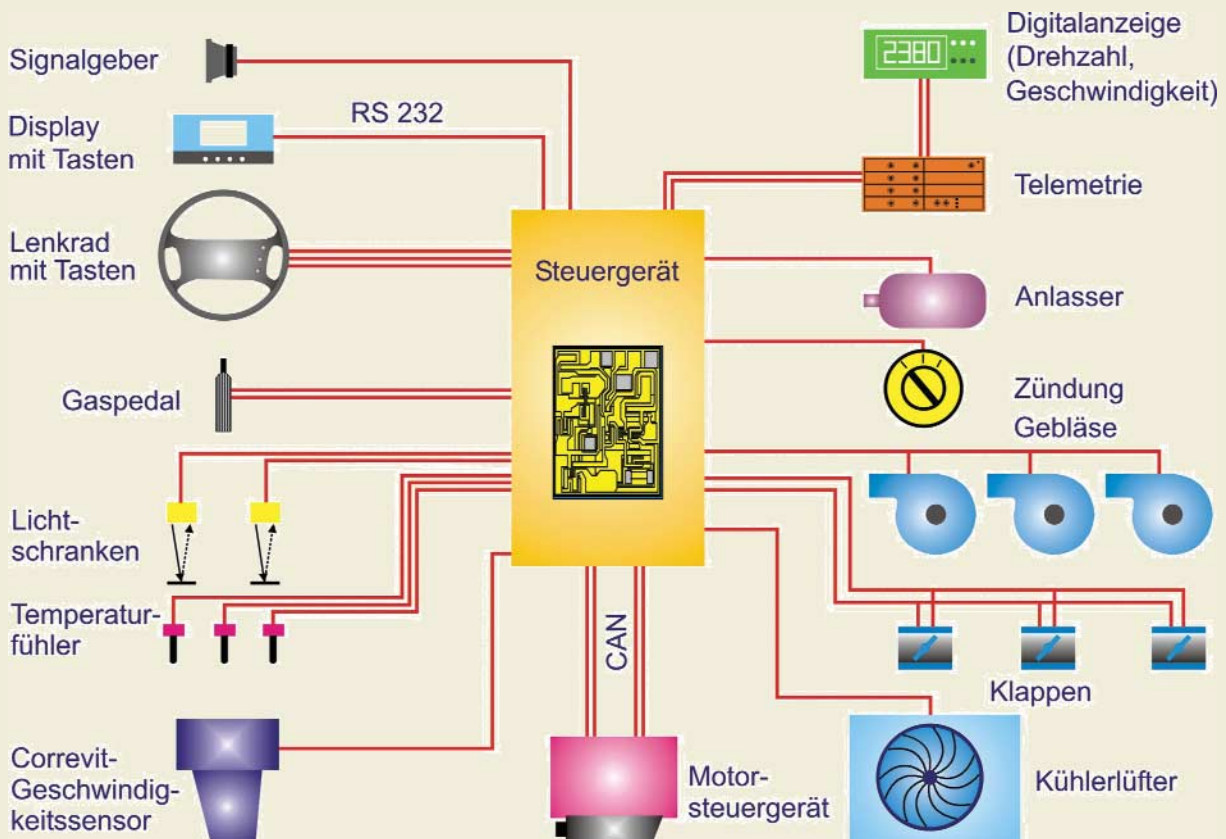


Bild 6: Struktur des zentralen Steuergeräts (Messablauf)
 Figure 6: Structure of the central control unit (measurement process)



Bild 7: Multifunktionslenkrad und Display mit Bedientasten
 Figure 7: Multi-function steering wheel and display with keys

unterschiedlichem Durchmesser auf dem Messfahrzeug untersucht werden, zur Regelung von Motordrehzahl beziehungsweise Fahrgeschwindigkeit benötigt.

Der Ablauf einer „Beschleunigten Vorbeifahrt“ ist wie folgt: Zunächst gibt der Fahrer Sollgeschwindigkeit und -beschleunigung (maximales Drehmoment) über die

Tasten des Displays ein. Anhand von Referenzfahrten wird dann der Einfluss des Radumfangs (Raddrehzahl und Fahrgeschwindigkeit) korrigiert. Die eigentliche

Messfahrt beginnt, indem der Fahrer die Solleinfahrgeschwindigkeit einstellt und am Lenkrad den Tempomat aktiviert. Von da an übernimmt der Steuerrechner die Ansteuerung des Motors. Durch kontinuierliche Betätigung der „Totmann“-Taste am Lenkrad erteilt der Fahrer die Freigabe zur Vollastbeschleunigung in der Messstrecke. Diese wird dann vom Steuerrechner mit dem vorgegebenen Maximaldrehmoment positionsgenau mittels der Lichtschranken-signale ausgeführt. Nach Durchfahren der zweiten Lichtschranke bricht der Steuerrechner den Beschleunigungsvorgang ab; der Fahrer übernimmt nun wieder die Kontrolle über das Gaspedal.

Neben dem Messablauf der "Beschleunigten Vorbeifahrt" ist auch die Messung bei so genannten Ausrollversuchen, das heißt bei ausgeschaltetem Verbrennungsmotor, automatisiert möglich. Hier erhält der Fahrer vom Steuerrechner nach Erreichen der Sollgeschwindigkeit das akustische Hinweissignal, das Kupplungspedal zu betätigen. Ist dies geschehen, wird der Verbrennungsmotor vom Steuerrechner ausgeschaltet. Nach Abschluss der Messung wird der Motor automatisch vom Steuerrechner wieder gestartet.

Letztlich verfügt das Fahrzeug auch über eine Telemetrie-Anlage. Mit deren Hilfe können die Motordrehzahl- und Fahrgeschwindigkeitssignale zur Messzentrale am Rand der Messstrecke übertragen werden.

4 Ausblick

Mit dem neuen Reifengeräusch-Messfahrzeug sind die Voraussetzungen für gezielte Untersuchungen zum Reifen-Fahrbahn-Geräusch geschaffen. Ziel ist jetzt, die wichtigen Einflussgrößen zu detektieren und zu optimieren. Entscheidend sind dabei Faktoren wie:

- Reifenkontur
- Konstruktion
- Profil
- Gummimischung
- Alterung
- Runderneuerung.

In der Fahrzeugentwicklung werden Zielpegel für die Geräuschemission, die bei der Typprüfung einzuhalten sind, auf Pegelziele der Subsysteme herunter gebrochen. Daraus leiten sich Anforderungen für das Reifen-Fahrbahn-Geräusch ab. Mit dem neuen Messfahrzeug kann das zur Verfügung stehende Reifenangebot hinsichtlich des Aspekts Reifenabrollgeräusch untersucht werden. Damit ist eine akustische Empfehlung einsetzbarer Reifen möglich. Bereits bei der Vorstellung des neuen Messfahrzeugs im September 2003 wies die

BMW AG auf ihr zukünftig verstärktes Engagement in der Erfassung und Reduzierung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs hin.

Neben der Auswahl von Reifen bezüglich Akustikverhalten für Fahrzeughersteller wird das neue Reifengeräusch-Messfahrzeug aber auch von der Reifenindustrie zur zielgerichteten akustischen Entwicklung von Reifen eingesetzt. Der Einsatz des Messfahrzeugs ergänzt hier die Analyse- und Simulationstechniken.

Das neue Messfahrzeug kann für Untersuchungen des Reifenabrollgeräusches beim TÜV-Automotive-Team im Akustik-Messzentrum in München-Allach gemietet werden. Das Messzentrum verfügt über eine ISO-Geräuschmessstrecke mit beheizbarem Asphalt und 500-m-Beschleunigungsstrecke. Für die Durchführung der Messungen steht hier moderne Technik mit wetterfesten Mikrofonen, Radar und Sechs-Kanal-Telemetrie-Empfangeinheit zur Verfügung. Der Einsatz des Fahrzeugs kann aber auch auf einer Fahrbahn nach Kundenwunsch erfolgen. Durch den engen Toleranzbereich, in dem sich die Messwerte bewegen, sind die Ergebnisse zu jeder Zeit sehr detailliert und nachvollziehbar. Die automatisierte Messablaufsteuerung reduziert die Leerfahrten auf ein Minimum, was Zeit und Kosten spart.

Das neue Reifengeräusch-Messfahrzeug kann erheblich dazu beitragen, geräuschärmere Reifen zu entwickeln. Damit ist ein kleiner Beitrag geleistet, den Verkehrslärm zu reduzieren, ohne auf die Mobilität verzichten zu müssen.

5 Zusammenfassung

Umfragen zufolge fühlt sich annähernd die Hälfte aller Bundesbürger durch den Verkehrslärm von Kraftfahrzeugen nachhaltig belastigt. Dementsprechend kommt der Reduktion des Verkehrslärms, das heißt einer damit erreichbaren Verbesserung der Lebensqualität, eine besondere Bedeutung zu. Die Europäische Kommission hat sich deshalb zum Ziel gesetzt, den Verkehrslärm bis zum Jahr 2020 zu halbieren.

Während in den vergangenen Jahren die Fahrzeughersteller die vom Gesetzgeber sukzessiv gesenkten zulässigen Pegel weitgehend durch Maßnahmen an Antrieb, Ansaug- und Abgasanlage erfüllen konnten, sind weitere Reduktionen zukünftig nur noch unter Einbeziehung der Fahrzeuge greifbar möglich. Insofern ist für den Fahrzeughersteller die Kenntnis der Geräuschemission bei der Auswahl der Fahrzeugreifen für ein neuentwickeltes Fahrzeug unerlässlich.

Zur Messung des Reifenabrollgeräusches wurde am Institut für Kraftfahrwesen, Aa-

chen (ika), im Auftrag der TÜV Automotive GmbH, ein Unternehmen der TÜV SÜD Gruppe, ein entsprechendes Reifen-Testfahrzeug auf Basis eines 5er BMW aufgebaut. Die BMW AG unterstützte diese Entwicklung, indem sie Erfahrungen mit einem BMW-eigenen Reifen-Testfahrzeug einbrachte [1]. Die Besonderheiten des Fahrzeugs lauten wie folgt: Die Geräuschemissionen der Hauptschallquellen Antrieb, Ansaug- und Abgasanlage wurden durch Akustik-Maßnahmen soweit reduziert, dass das zu messende Reifenabrollgeräusch nicht mehr unzulässig beeinträchtigt wird. Darüber hinaus wurde für das Fahrzeug eine entsprechende Steuerungs-Software entwickelt, die einen komfortablen Messseinsatz ermöglicht und Bedienfehler vermeidet. Damit sind noch genauere Messungen des Reifengeräusches unter verschiedenen Fahr- beziehungsweise Lastzuständen möglich.

Literaturhinweise

- [1] Nowak, W.: Reifengeräusch-Messfahrzeug. Interne Dokumentation, BMW AG, München
- [2] Finsterhölzl, H.: Das Reifen-Fahrbahngeräusch in der Fahrzeug-Entwicklung. Vortrag und Präsentation des TÜV-Reifengeräusch-Messfahrzeugs, BMW AG, München, 18. September 2003

Forschung ist heutzutage nur in Teamarbeit möglich. Die Autoren dieses Fachartikels danken den folgenden Mitarbeitern am Projekt zwischen ika, TÜV Automotive und BMW:

Priv.-Doz. Dr.-Ing. Jan-Welm Biermann, Institut für Kraftfahrwesen (ika), RWTH Aachen

Dipl.-Ing. Thomas Beckmann, Institut für Kraftfahrwesen (ika), RWTH Aachen

Dipl.-Ing. Carl Renner, Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen (fka)

Dipl.-Ing. Rudolf Meier, TÜV Automotive GmbH, TÜV-Süd-Gruppe, München

Dipl.-Ing. Christoph Wibmer, TÜV Automotive GmbH, TÜV-Süd-Gruppe, München

For an English version of this article, see **ATZ worldwide**. For information on subscriptions, just call us or send an email or fax.



ATZ Vieweg Verlag Postfach 1546 D-65173 Wiesbaden
Hotline 06 1178 78-151 Fax 06 1178 78-423
email: vieweg.service@gvwv-fachverlage.de