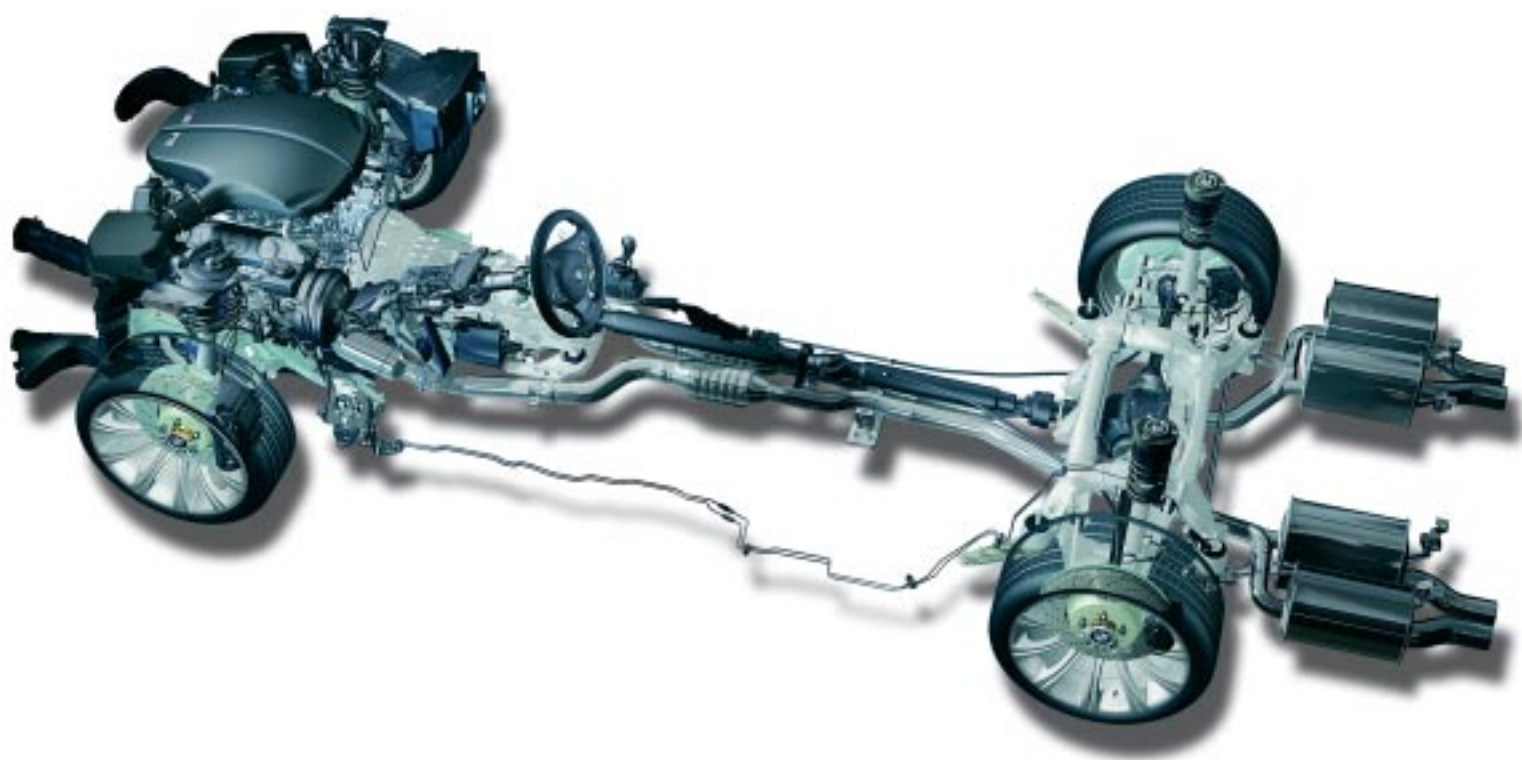


Das Abgassystem des BMW M5



Der neue BMW M5 ist die erste leistungsstarke Serien-Sportlimousine der Welt mit einem V10-Zylinder-Hochdrehzahlmotor. Boysen hat für den 373 kW starken Motor ein zweiflutiges Abgassystem entwickelt, bestehend aus zwei 5-in-1-Rohrfächerkrümmern, je zwei motornahen und zwei Unterbodenkatalysatoren aus Metall, einem Mittel- und vier Nachschalldämpfern. Das System ist konsequent gewichts- und gegendruckoptimiert und gasdynamisch auf maximale Motorleistung und optimales Drehmoment ausgelegt.

1 Einleitung

1984 begründete der erste BMW M5 das Marktsegment leistungsstarker Sportlimousinen. Charakteristischer Wesenszug aller M-Automobile ist das Prinzip der außergewöhnlichen Leistung in unaufdringlicher Form. Dieser Ansatz erwies sich auch wirtschaftlich als sehr erfolgreich. In 20 Jahren wurden über 20.000 Exemplare des BMW M5 verkauft.

Seit Anfang 2005 ist die vierte Generation der Baureihe auf dem Markt. Der neue BMW M5 ist der stärkste 5er, den es je gab. In Anlehnung an die Formel 1 ist das neue Modell als erste Serien-Sportlimousine der Welt mit einem V10-Zylinder-Hochdrehzahlmotor ausgerüstet.

Der 240 kg schwere Saugmotor schöpft aus 5,0 l Hubraum eine Leistung von 373 kW. Die Leistungssteigerung gegenüber dem 5,0-l-Achtzylindermotor des Vorgängers (mit 294 kW) beträgt mehr als 25 %. Das maximale Drehmoment von 520 Nm liegt bei 6000/min an. Mit einer spezifischen Leistung von fast 75 kW/l und einer Maximaldrehzahl von 8250/min liegt der V10-Zylindermotor auf Rennsport-Niveau.

2 Das Abgassystem

Der neue BMW M5 ist wie die drei Modellgenerationen davor mit einem Abgassystem von Boysen ausgerüstet. **Bild 1** zeigt die Abgassysteme des neuen M5 und des Vorgängermodells im Vergleich. Bestimmende Größen für die Konzeption des neuen Systems waren die Motorleistung und das Drehmoment. Gefordert war außer einem minimalen Abgasgegendruck ein resonanzarmer Pegelverlauf des Mündungsgeräusches. Bedingt durch den hohen Gasdurchsatz musste das System notwendigerweise zweiflutig ausgelegt werden. Trotzdem galt es, die einzelnen Komponenten möglichst kompakt auszulegen und das Gesamtgewicht des Systems möglichst gering zu halten. Seitens der Akustik war eine sportlich tieffrequente Klangcharakteristik gefordert.

2.1 Die 5-in-1-Rohrfächerkrümmer

Unter gasdynamischen Gesichtspunkten ist der Rohrfächerkrümmer das ideale Konzept für leistungsoptimierte Motoren. Resonanzschwingungen des Abgases in den verhältnismäßig langen Einzelrohren sorgen für einen optimalen Ladungswechsel bei Nenndrehzahl. Konstante Rohrquerschnitte und eine möglichst einheitliche Länge der einzelnen Rohre tragen zudem zu einer guten Gleichverteilung über alle Zylinder hinweg bei.

Beim Fächerkrümmer des neuen BMW M5 wurden die einzelnen Rohre unter Berücksichtigung des vorgegebenen engen Bauraums auf eine Länge von rund 520 mm ausgelegt, **Bild 2**. Der lichte Querschnitt der Rohre beträgt 36,4 mm, die Wandstärke misst 0,8 mm. Beide Krümmer sind spiegelsymmetrisch aufgebaut. Sie wiegen zusammen 5,6 kg. Zum Vergleich: Die vier luftspaltisolierten Krümmer des Vorgängermodells hatten ein Gesamtgewicht von 12,4 kg.

Die Biegeradien des Krümmers wurden so gewählt, dass sich die Rohre bei hohen Temperaturen ungehindert ausdehnen können. Durch die konstruktive Auslegung wurden mechanische Spannungen infolge hoher thermischer Belastungen so weit minimiert, dass die Haltbarkeit des Krümmers über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs gewährleistet ist.

Bezogen auf den motornahen Katalysator hat der Rohrfächerkrümmer tragende Funktion. Zusätzlich wird der Katalysator durch gelenkige Halter gestützt. Die Gelenke ermöglichen zum einen eine freie Ausdehnung der Vorrohre und sichern somit die Beweglichkeit der Katalysatoren in Richtung der Längsachse. Zum anderen dienen sie dazu, die Metallkatalysatoren von mechanischen Schwingungen – angeregt durch Motor und Getriebe – abzukop-

peln. Auch ohne Abstandshalter oder Zwischenbügel ist sichergestellt, dass es über die gesamte Strecke bis zur Übersprechstelle nach den Unterbodenkatalysatoren zu keinem Betriebszeitpunkt zu Kollisionen zwischen den einzelnen Strängen oder zu Problemen im Bereich der Bauteilfestigkeit kommen kann.

Die Autoren



Rainer Diez ist Leiter Technische Entwicklung bei der Friedrich Boysen GmbH & Co. KG in Altensteig.



Dipl.-Ing. Volkmar Knipps ist Projektleiter BMW M5 bei der Friedrich Boysen GmbH & Co. KG in Altensteig.



Dipl.-Ing. Björn Koch ist Versuchsingenieur im Fachbereich Akustik bei der Friedrich Boysen GmbH & Co. KG in Altensteig.

2 Das Abgassystem

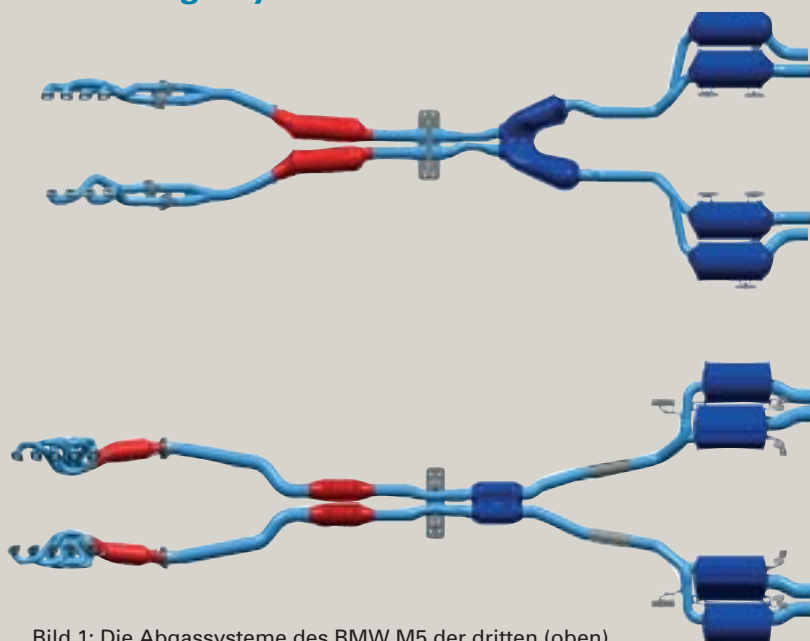


Bild 1: Die Abgassysteme des BMW M5 der dritten (oben) und vierten Generation

Figure 1: The exhaust system of the third-generation (top) and fourth-generation BMW M5

Bedingt durch die komplexe Bauteilgeometrie infolge der verhältnismäßig großen Rohrlängen sowie der erforderlichen Schrauberfreigänge zur Montage der Einzelflansche fertigt Boysen sämtliche Krümmerrohre im Innenhochdruckverfahren (IHU). Aufgrund der engen Radien scheiden traditionelle und kostengünstigere Biegetechniken aus.

2.2 Das Abgasreinigungssystem

Zur Reinigung der Abgase sind beide Abgasstränge mit jeweils einem motornahen und einem Unterbodenkatalysator ausgerüstet. Um den Gegendruck zu minimieren, sind alle vier Katalysatoren mit dünnwandigen Metallträgern bestückt. Die trimetallbeschichteten Träger haben einen Durchmesser von jeweils 105 mm und eine Wandstärke von je 0,04 mm. Die Katalysatoren sind auf einen schnellen Light-off und hohe NO_x -Stabilität über die gesamte Laufzeit ausgelegt. Die Träger der motornahen Katalysatoren haben eine Länge von 150 mm und eine Zelldichte von 400 cpsi, die Metallträger der Unterbodenkatalysatoren eine Länge von 175 mm bei einer Zelldichte von 200 cpsi.

Integrierte Strömungsdüsen in den Eingangstrichtern der motornahen Katalysatoren sorgen für die optimale Anströmung der Frontfläche des Metallträgers im Sinne einer hohen Konvertierungsleistung und einer optimalen Dauerhaltbarkeit des Katalysators. Zur Verringerung der Wärmeverluste zwischen motornahen und Unterbodenkatalysatoren sind die Verbindungsrohre luftspaltisoliert.

Die Konvertierungsleistung des Abgasreinigungssystems gewährleistet, dass der neue BMW M5 die strengen Grenzwerte der europäischen Euro-4-Norm und der US-amerikanischen LEV2 dauerhaft unterschreitet. Nach Euro 4 liegt die Obergrenze für HC-Emissionen bei 0,1 g/km, für CO bei maximal 1,0 g/km und für NO_x bei maximal 0,08 g/km. LEV 2 schreibt für NMOG (Non-Methan-HC) einen Grenzwert von 0,075 Gramm pro Meile, für CO maximal 3,4 g/mil und für NO_x maximal 0,05 g/mil vor.

2.3 Die Schalldämpferanlage

Das effektive Schalldämpfervolumen von insgesamt 41 l verteilt sich auf einen Mittel- und vier Nachschalldämpfer. Um den Abgasgegendruck zu minimieren, sind sämtliche Schalldämpfer nach dem Absorptionsprinzip ausgelegt und mit glatten Rohrdurchgängen versehen. Zur Optimierung des Drehmoments sind die beiden Stränge der Abgasanlage unmittelbar vor dem Mittelschalldämpfer durch einen Druckausgleich verbunden.

Ober- und Unterschale des Mittelschalldämpfers

sind aus Doppelblechen mit einer Stärke von jeweils 0,8 mm gefertigt. Zur Vermeidung von Oberflächenschall ist der Dämpfer mit einem gelochten Zwischenboden und einem Distanzrohr versehen. Er hat ein Volumen von 3,4 l und ein Gewicht von 3,2 kg. Die vier Nachschalldämpfer des M5 sind paarweise zu beiden Seiten des Hecks angeordnet. Die innen liegenden und die beiden äußeren Dämpfer sind praktisch baugleich. Alle vier Nachschalldämpfer sind in Wickelbauweise gefertigt. Die Mäntel werden aus 1,2 mm starken Blechen hergestellt, die Böden sind bombiert. Die innen liegenden Dämpfer haben ein effektives Volumen von jeweils

10,5 l bei einem Gewicht von 6,5 kg. Das effektive Volumen der äußeren Dämpfer beträgt 8,3 l, das Gewicht jeweils 5,8 kg. Das Abgassystem des BMW M5 mündet am Heck in für diese Baureihe charakteristische vier Endrohre. Die doppelwandige Auslegung der Endrohre gewährleistet eine niedrige Oberflächentemperatur und – durch die Vermeidung von Anlauffarben – eine perfekte Optik. Um möglichen thermischen Verspannungen vorzubeugen, sind die Innenrohre mit Schiebesitzen versehen, **Bild 3.**

Sowohl in Bezug auf das Mündungsgeräusch als auch bezogen auf die Oberflächenabstrahlung weist die Abgasanlage

2.1 Die 5-in-1-Rohrfächerkrümmer

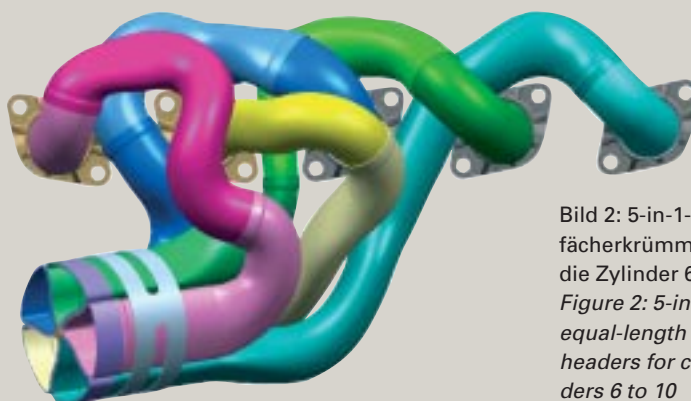


Bild 2: 5-in-1-Rohrfächerkrümmer für die Zylinder 6 bis 10
Figure 2: 5-into-1 equal-length tubular headers for cylinders 6 to 10

2.3 Die Schalldämpferanlage

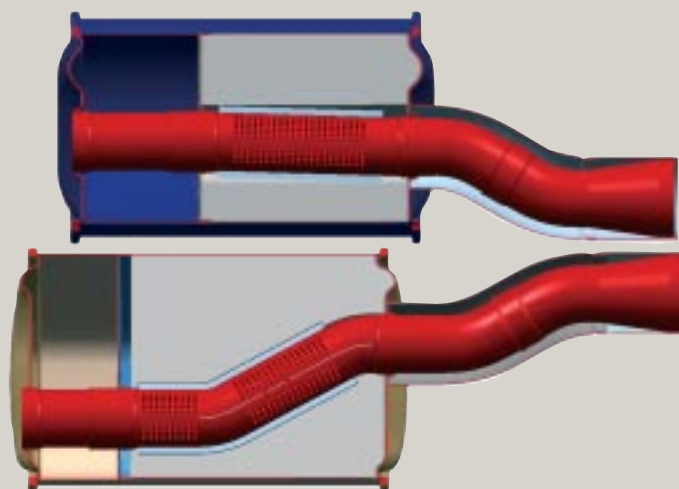
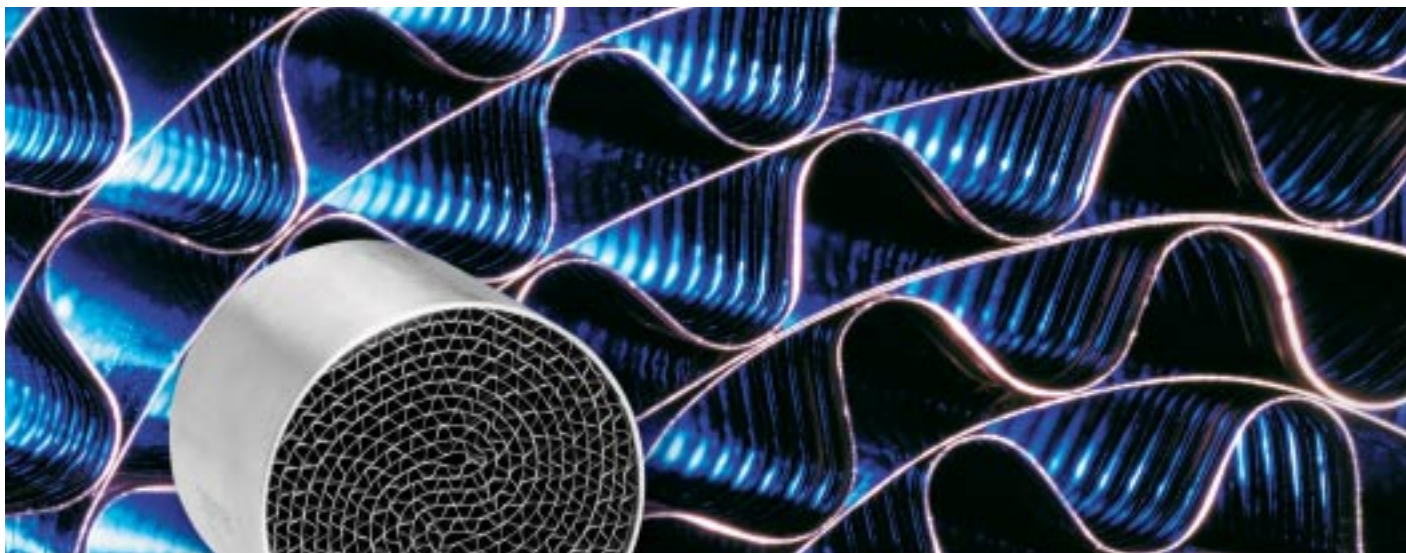


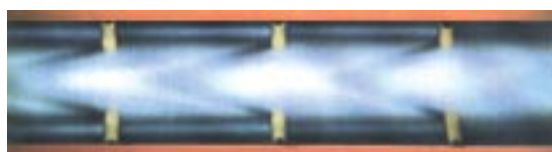
Bild 3: Die beiden rechten Nachschalldämpfer: gelochte Innenrohre mit Schiebesitzen, doppelwandige Endrohre
Figure 3: The two right-hand rear silencers: perforated inner pipes with sliding joints, double-walled tailpipes

TS-Design für Hochleistungskatalysatoren



Die TS-Zellstruktur verbessert die Konvertierung.

Die transversale Folienstruktur erzeugt „Micro-Turbulenzen“ und steigert so die katalytische Effektivität. Entsprechend kann die Zelldichte des METALIT® TS-Wabenkörpers verringert werden:



Der Druckverlust wird abgesenkt. Das wirkt sich vorteilhaft auf die Motorleistung aus. Hinzu kommen wirtschaftliche Vorteile durch Material- und Gewichtseinsparungen.

Homepage: www.emitec.com

E-mail: info@emitec.com

Weitere Informationen durch

EMITEC

2.3 Die Schalldämpferanlage

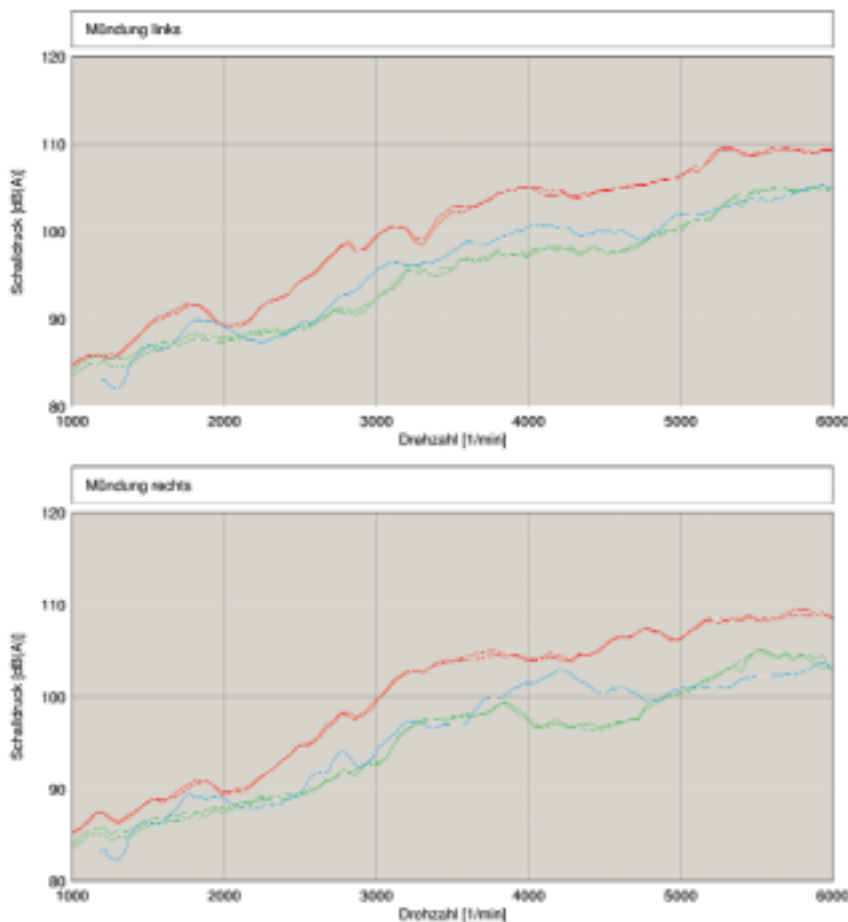


Bild 4: Ergebnisse von Mündungsgeräuschmessungen bei einem ersten Prototyp, einer optimierten Anlage und einer optimierten Anlage mit volumenreduzierten Nachschalldämpfern

Figure 4: The results of tailpipe noise measurements on an early prototype, an optimised system and an optimised version with reduced-volume rear silencers



Bild 5: Vergleich der Ergebnisse von Geräuschmessungen bei unterschiedlichen Mittelschalldämpfern

Figure 5: Comparison between the results of noise measurements for different middle silencers

des BMW M5 einen resonanzarmen Pegelverlauf im Zug- wie auch im Schubbetrieb über den gesamten Drehzahlbereich auf. Das Mündungsgeräusch des V10-Zylinder-Hochdrehzahlmotors zeichnet sich durch einen charakteristischen sportlich-kraftvollen Sound aus. **Bild 4** zeigt die Ergebnisse von Mündungsgeräuschmessungen bei einem ersten Prototyp im Vergleich zu einer optimierten Anlage beziehungsweise zu einer optimierten Anlage mit volumenreduzierten Nachschalldämpfern. **Bild 5** illustriert, welchen Einfluss der Mittelschalldämpfer auf das Mündungsgeräusch hat. Der subjektiv angenehme Klang des Motors ist praktisch über den kompletten Drehzahlbereich auch im Innenraum des Fahrzeugs präsent.

3 Leichtbau

Das Gesamtgewicht des zweiflutigen Abgassystems beträgt 67,4 kg – 13,5 kg weniger als das Abgassystem des Vorgängermodells. Die verhältnismäßig geringe Masse des Systems ist das Ergebnis umfangreicher Maßnahmen zur Gewichtsreduzierung. Die Geometrie der Nachschalldämpfer wurde so gestaltet, dass auf den Einsatz von Doppelblechen zur Vermeidung von Oberflächenschallabstrahlung verzichtet werden konnte. Die Wandstärken von Rohren und Blechen einschließlich der Innenböden der Schalldämpfer wurden in Abhängigkeit von den Anforderungen an die Dauerhaltbarkeit konsequent reduziert. Auch die Krümmereintrittsflansche aus Feinguss und die Ausgangsflansche aus Edelstahl der motornahen Katalysatoren sind gewichtsoptimiert.

Aufgrund ihrer komplexen Geometrie und geringen Wandstärke von 0,8 mm werden große Teile des Abgassystems aus innenhochdruckgeformten Rohren hergestellt. Dazu zählen neben den Krümmerrohren die Ein- und Auslasstrichter der Katalysatoren sowie der Übersprecher.

4 Zusammenfassung

Das Abgassystem des BMW M5 ist exakt auf die Anforderungen des V10-Hochdrehzahlmotors zugeschnitten. Gemäß dem hohen technologischen Anspruch der exklusiven Sportlimousine sind Rohrfächerkrümmer, Katalysatorsystem und Schalldämpferanlage konsequent leistungs-, drehmoment- und gewichtsoptimiert. ■

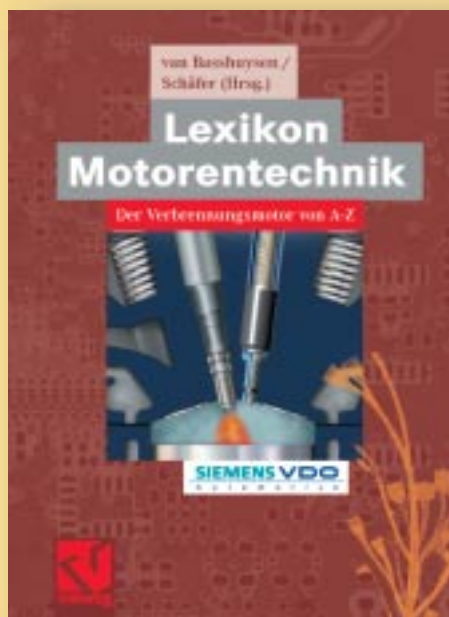
For an English version of this article, see **MTZ worldwide**. For information on subscriptions, just call us or send an email or fax.

MTZ

Vieweg Verlag, Postfach 1546, D-65173 Wiesbaden
Hotline 05 11/78 78-131, Fax 05 11/78 78-423
email: vieweg.service@gvw-fachverlage.de



DER Wissensfundus zur Motorentechnik: 99 Autoren aus Praxis und Wissenschaft, 4500 Stichwörter und 1742 Abbildungen



van Basshuysen, Richard/
Schäfer, Fred (Hrsg.)

Lexikon Motorentechnik

Der Verbrennungsmotor von A-Z

2004. XVIII, 1.078 S. Geb. € 99,00

ISBN 3-528-03903-5

DER INHALT

4500 Begriffe von A-Z wie z.B.: Abgastechnik, Akustik, Aufladung, Brennraum, Einspritzsysteme, Elektronische Motorsteuerung, Flammenausbreitung, Gemischbildung, Katalysator, Kolben, Kraftstoff, Kühlung, Kurbelgehäuse, Kurbeltrieb, Ladungswechsel, Lambda-Regelung, Nockenwelle, Öl, Partikelfilter, Sensoren/Aktuatoren, Schadstoffe, Ventiltrieb, Verbrennungsverfahren, Wirkungsgrad, Zündung, Zylinderkopf

DAS BUCH

Das Lexikon Motorentechnik ist ein Nachschlagewerk, das die aktuelle Motorentechnik umfassend beschreibt und Ausblicke in die Zukunft ermöglicht. Das ausgefeilte System aus Querverweisen führt alle Unterbegriffe zum Hauptbegriff und ermöglicht so eine optimale Benutzerführung. Dadurch stehen die Stichwörter nicht isoliert, sondern es werden inhaltlich zusammenhängende Betrachtungen möglich.

DIE AUTOREN

Dr.-Ing. E. h. Richard van Basshuysen war bei Audi Entwicklungsleiter der Fahrzeug-Komfortklasse und verantwortlich für die Aggregateentwicklung aller Fahrzeuge. Er ist heute Herausgeber der ATZ und MTZ. Ihm wurde der hochdotierte Ernst-Blickle-Preis 2000 und die Benz-Daimler-Maybach-Ehrenmedaille 2001 des VDI für die Serieneinführung des Pkw-Dieselmotors mit Direkteinspritzung und für seine Verdienste um die Fahrzeugtechnik verliehen.

Prof. Dr.-Ing. Fred Schäfer, früher Leiter Motorenkonstruktion bei Audi, lehrt heute an der FH Südwestfalen das Gebiet Kraft- und Arbeitsmaschinen.

Ja, ich bin interessiert und bestelle

_____ Expl. Basshuysen/Schäfer

Lexikon Motorentechnik

2004. Geb. € 99,00

ISBN 3-528-03903-5

Vorname und Name _____ 321 04 568

Firma _____ Abteilung _____

Straße (bitte KEIN Postfach) _____

PLZ/Ort _____

Datum/Unterschrift _____



Abraham-Lincoln-Straße 46
D-65189 Wiesbaden
Fax 0611.7878-420
www.vieweg.de

zzgl. Versandkosten
Änderungen vorbehalten.
Erhältlich im Buchhandel oder beim Verlag.

BESTELL-COUPON