

# Modular aufgebautes Abgasreinigungssystem eines Reihensechszylinder-Ottomotors

Boysen hat für die Reihensechszylinder-Ottomotoren von BMW ein modular aufgebautes Abgasreinigungssystem mitentwickelt. Die Baugruppe besteht aus innovativen Rohrkrümmern und motornahen Katalysatoren. Die Konzeption ist so flexibel angelegt, dass sich die Einheit von Krümmer und Katalysator mit geringem Aufwand an die Einbausituationen in unterschiedlichen Fahrzeugbaureihen anpassen lässt. Durch eine weitreichende Gleichteilestrategie konnten erhebliche Kosteneinsparungen erzielt werden.



## 1 Einleitung

Der Sechszylinder-Reihenmotor hat bei BMW eine über 70-jährige Tradition. Der Automobilhersteller ist heute der weltweit größte Produzent von Reihensechszylindermotoren für Pkw. Mehr als die Hälfte aller BMW-Automobile wird mit einem Reihensechszylinder-Otto- oder Dieselmotor ausgerüstet. Auch in Zukunft soll etwa jeder zweite Neuwagen der Marke von einem Sechszylinder-Reihenmotor angetrieben werden.

Mitte 2004 hat BMW die ersten Vertreter einer neuen Generation Reihensechszylindermotoren vorgestellt. Die Motorenfamilie mit der Bezeichnung NG-R6 zeichnet sich gegenüber der Vorgängergeneration durch höhere Leistung und größeres Drehmoment, niedrigeren Kraftstoffverbrauch und geringere Emissionen aus. Die neuen Motoren sollen sukzessive in allen Modellreihen der Premium-Marke zum Einsatz kommen.

Als beauftragter Partner der BMW Group hat Boysen das Abgasreinigungssystem für die neuen NG-R6-Ottomotoren mitentwickelt, **Bild 1**. Es deckt mit Ausnahme der 3,0-l-Linkslenker-Euro-4-Motorisierung alle Anwendungen ab.

Laut Lastenheft musste sich die Konstruktion flexibel an die veränderten Gegebenheiten in unterschiedlichen Fahrzeugmodellen anpassen lassen. Darüber hinaus mussten die Abgasgrenzwerte der europäischen Euro-4- und der US-amerikanischen ULEV-II-Norm erfüllt werden. Das Gewicht der Baugruppe sollte minimiert, Abgasgedruck und Ladungswechsel optimiert werden. Im Übrigen galt es, anspruchsvolle Kostenziele zu erreichen.

## 2 Die NG-R6-Motorenfamilie von BMW

Im Zusammenhang mit der Präsentation der neuen Motorengeneration bezeichnete BMW den NG-R6 als das größte Motorenprojekt seit der Einführung des ersten BMW-Automobils. Von der Vorgängergeneration M54 hatte der Automobilhersteller in vier Jahren 1,4 Millionen Einheiten produziert.

NG-R6-Ottomotoren gibt es in drei Varianten:

- mit 3,0 l, 190 kW und einem maximalen Drehmoment von 300 Nm
- mit 2,5 l, 160 kW und maximal 250 Nm
- mit 2,5 l, 130 kW und 230 Nm.

Der 3,0-l-Basismotor der NG-R6-Familie ging als erster in Serie. Er feierte im September 2004 im BMW 630ci Premiere. Ihm folgte an zweiter Stelle der 160-kW-Motor, der im Dezember 2004 im BMW 325i auf den Markt kam. Die 130-kW-Variante wird seit März 2005 im BMW 523i angeboten.

Zum Januar 2006 wird das Abgasreinigungssystem von Boysen in den BMW-Modellen 130i, 323i, 325i, 330i, 523i, 525i, 530i, 630ci und 730i verbaut. In den Modellen Z4, X3 und im X5-Nachfolger geht es zu einem späteren Zeitpunkt in Serie. Eine SULEV-Variante ist in Vorbereitung.

## 3 Das Abgasreinigungssystem der NG-R6-Ottomotoren

Entscheidend für die Erfüllung anspruchsvoller Abgasnormen wie Euro 4 oder ULEV II ist, dass die Katalysatoren nach dem Anlassen des Motors innerhalb kürzester Zeit ihre Betriebstemperatur erreichen. Je geringer die Wärmekapazität des Krümmers und je motornäher die Platzierung der Katalysatoren desto günstiger sind die Voraussetzungen für einen schnellen Light-off.

Das Abgasreinigungssystem von Boysen ist doppelflutig angelegt. Es besteht aus zwei kompakten Rohrkrümmern und zwei motornahen Katalysatoren in Kaskadenbauweise. Komplettiert wird die Baugruppe durch zwei Auslassrohre. Über Flanschverbindungen an deren Enden wird das Abgasreinigungssystem mit der Schalldämpferanlage verschraubt, **Bild 2**.

### 3.1 Krümmerkonstruktion

Die beiden 3-in-1-Rohrkrümmen sind baugleich. Die Grundkonstruktion ist spiegelsymmetrisch angelegt. Die längeren seitlichen Rohre und das kurze Rohr in der Mitte

## Die Autoren



Dipl.-Ing. Rainer Diez ist Leiter Technische Entwicklung bei der Friedrich Boysen GmbH & Co. KG, Altensteig.

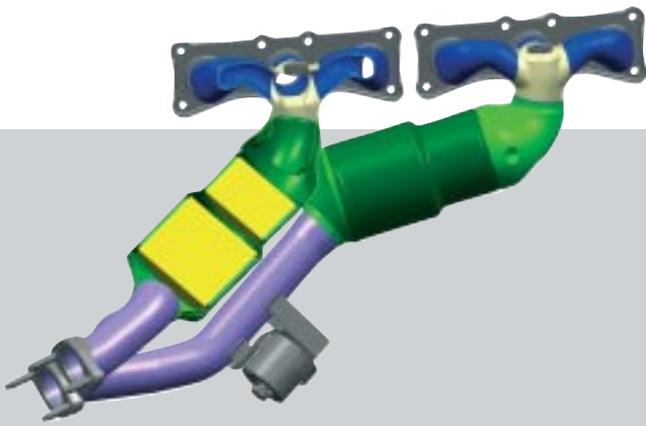


Dipl.-Ing. Frank Bühler ist Mitarbeiter der Konstruktion Krümmer und Katalysatoren NG-R6 bei der Friedrich Boysen GmbH & Co. KG, Altensteig.



**Bild 1:** Prüfstands Aufbau

**Figure 1:** Test bench set-up



**Bild 2:** Schnittbild Krümmer/motornahe Katalysatoren  
**Figure 2:** Cutaway image of the manifolds/close-coupled catalytic converters



**Bild 3:** Sammler  
**Figure 3:** Collector

münden in einen Sammler, **Bild 3**. Konstruktiv gesehen erfüllt der Sammler drei verschiedene Funktionen: Er ist Rohrzusammenführung, Halter für die Lambdasonde und Verbindungsstück zum Katalysator in einem. Das Bauteil ist strömungstechnisch dahingehend optimiert, dass die Abgase aus allen drei Zylindern auf die vertikal montierte Lambdasonde gelenkt werden. Aufgrund seiner komplexen Geometrie und zur Vermeidung von innen liegenden Schweißnähten wird der Sammler im Innenhochdruckverfahren aus einem Stück geformt. Boysen hat „die einstückige Sammeleinrichtung zur Erreichung einer vorteilhaften Lambda- und Katalysatoranströmung“ zum Patent angemeldet.

Um die Wärmekapazität des einwandigen Krümmers so weit wie möglich zu verringern, wurden die Rohrlängen auf ein Minimum gekürzt. Der Nennwert für die Wandstärke der Rohre beträgt 1,5 mm, für den lichten Durchmesser liegt er bei 35 mm.

Um trotz der stark unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Aluminium-Zylinderkopf und Edelstahlkrümmer einen gasdichten Anschluss zu gewährleisten, hat BMW die Flanschverbindung zwischen Motor und Abgassystem neu konzipiert. Anders als bei konventionellen Konstruktionen schließen die Krümmerrohre nicht bündig mit dem Flansch ab, sondern ragen 11,5 mm in den Zylinderkopf hinein. Der Spalt zwischen Krümmer-eintrittsrohr und Zylinderauslass wird durch einen Ring aus Graphit abgedichtet, **Bild 4**. Die im Kraftnebenschluss liegenden Dichtungen führen aufgrund ihrer radialen Verpressung zu einer gegenüber der Flachdichtung deutlich verbesserten Dichtfunktion. Die Konstruktion ermöglicht es, auf einen traditionellen Stanzflansch zu verzichten. Stattdessen kommt eine nur 2 mm starke Blechflanschleiste zum Einsatz,

die in Bezug auf die Wärmekapazität des Krümmers deutliche Vorteile gegenüber einem Stanzflansch hat. BMW hat für dieses innovative Dichtungskonzept Patentschutz beantragt.

### 3.2 Katalysatorkonstruktion

Die Dreibege-Katalysatoren in den parallelen Abgassträngen sind jeweils baugleich. Zur Begünstigung eines schnellen Light-off sind alle Katalysatoren in Kaskadenbauweise ausgeführt. Verglichen mit der vorangegangenen Motorengeneration sind die Dünnwandkeramikträger kleiner und leichter.

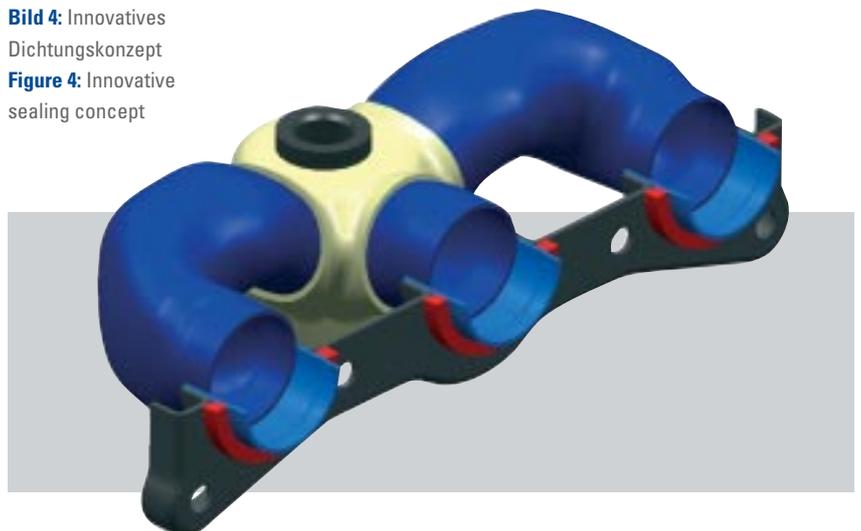
Boysen deckt die komplette Fahrzeugpalette mit zwei verschiedenen Katalysatorpatronen ab. Mit Ausnahme der Variante für den Z4-Rechtslenker sind die Katalysatoren für sämtliche Fahrzeugmodelle mit einem ersten kleineren Monolith mit einem Durchmesser von 86 mm und einer Länge von 55 mm bestückt. Der zweite Monolith ist größer; er misst 101,6 mm im Querschnitt und 85 mm in der Länge. Beide trimetallbeschichteten Dünnwandkeramikträ-

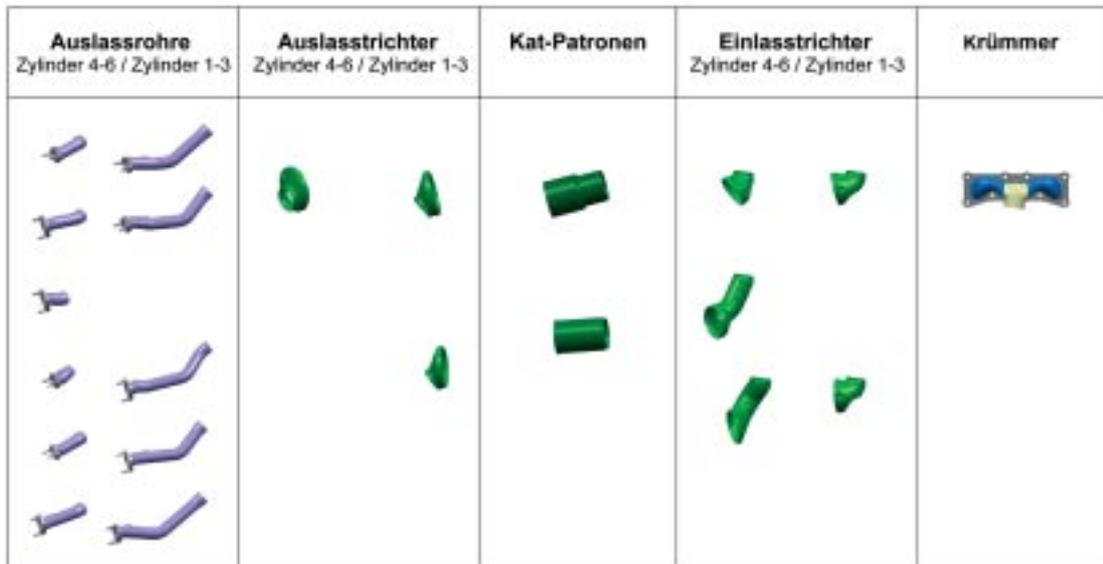
ger haben eine Zelldichte von 600 cpsi und eine Wandstärke von 3,5 mil.

Bedingt durch die Bauraumsituation kommt im BMW-Z4-Rechtslenker eine andere Katalysatorvariante zum Einsatz: In diesem Fall misst der Querschnitt beider Träger 93 mm. Die Länge beträgt 55 mm für den ersten und 72 mm für den zweiten Monolithen. Die 900-Zeller haben eine Wandstärke von 2,5 mil. In allen Varianten sind die Eintrittstrichter beider Katalysatoren direkt mit den kompakten 3-in-1-Krümmern verschweißt. Durch Strömungsdüsen in den Trichtern wird eine günstige Anströmung der Oberfläche des ersten Monolithen erreicht. Gleichzeitig wirkt die doppelwandige Konstruktion aus Düse und Trichter wie eine Luftspaltisolierung. Die Katalysatoraustrittstrichter sind luftspaltisoliert.

Da sämtliche Krümmer identisch aufgebaut sind, bestimmt die Form des Katalysatoreintrittstrichters die Lage des Katalysators im Motorraum. Für den Abgasstrang der Zylinder eins bis drei kommt Boysen mit zwei unterschiedlich geformten Eintritts-

**Bild 4:** Innovatives Dichtungskonzept  
**Figure 4:** Innovative sealing concept





**Bild 5:** Gleichteile-übersicht  
**Figure 5:** Overview of the common parts used

trichtern aus. Für den zweiten Abgasstrang – Zylinder vier bis sechs – sind drei verschiedene Eintrittstrichter erforderlich.

Bei den Katalysatoraustrittstrichtern werden ebenfalls zwei Varianten für den ersten und drei Varianten für den zweiten Abgasstrang verwendet. Da jedoch zwei der Trichter in beiden Strängen verbaut werden, bleibt es in Summe bei drei verschiedenen Trichtern. Demgegenüber steigt die Vielfalt bei den Auslassrohren deutlich an: Für den vorderen Strang produziert Boysen in Länge und Ausformung fünf verschiedene Rohre. Für den hinteren Strang sind es sechs unterschiedliche Varianten, **Bild 5**.

### 3.3 Intelligenter Leichtbau

Das Gewicht des kompletten Abgasreinigungssystems beträgt je nach Ausführung zwischen 7,7 und 8,5 kg. Verglichen mit der entsprechenden Baugruppe aus der früheren Motorengeneration liegt die Einsparung in der Größenordnung von 30 %. Sie ist zum Teil das Ergebnis der kompakten Auslegung der gesamten Konstruktion. Rohrlängen und Wandstärken wurden aufgrund von Simulationsrechnungen und nach intensiver Erprobung auf ein Minimum reduziert. Wie bereits erwähnt sind die Dünnwandkeramikträger kleiner und somit leichter als bisher.

Einen wesentlichen Beitrag zur Gewichtseinsparung leistet auch das innovative Verbindungskonzept an der Schnittstelle zwischen Motor und Abgassystem. Es ermöglicht den Verzicht auf die traditionelle gestanzte Flanschleiste. Stattdessen wird ein Tiefziehflansch mit einer Stärke von 2 mm verbaut. Die Gewichtseinsparnis durch die Verwendung der Blechflanschleiste beträgt pro Krümmer rund 350 g.

### 3.4 Gleichteilekonzept

Vom Blechflansch am Krümmereinlass bis zum Stanzflansch an der Verbindung von Auslassrohr und Schalldämpferanlage besteht das zweiflutige Abgasreinigungssystem aus 43 Einzelteilen. Dabei sind mit Ausnahme der Katalysatoreintritts- und Austrittstrichter, der Austrittsrohre und des Festigkeitstilgers sämtliche Komponenten in beiden Strängen identisch. Zur Erfüllung der US-amerikanischen Emissionsnorm ULEV II muss zum Beispiel lediglich die Beschichtung der Keramikträger angepasst werden. Die Monolithe, Lagermatten und die Katalysatorpatrone sind mit denen der Euro-4-Fahrzeuge identisch.

Auch für die geplante SULEV-Variante sind nur vergleichsweise geringfügige Veränderungen erforderlich: Die Katalysatoren werden hier mit Ultradünnwand-Keramikträgern (1200 cps/2,0 mil und 900 cps/2,5 mil) in den Abmessungen (D x L) 60 x 80 und 95 x 101,6 mm bestückt. Folgerichtig sind Katalysatorpatronen und Lagermatten, Eintrittstrichter und Strömungsdüsen exakt an die Monolithe angepasst.

Genauso flexibel wie an die Erfordernisse in diversen Märkten lässt sich das Abgasreinigungssystem an die Anforderungen unterschiedlicher Baureihen anpassen. In der Endausbaustufe wird BMW die neuen NG-R6-Motoren in acht Modellreihen einbauen. Einschließlich Rechtslenkern sind dafür acht Varianten des beschriebenen Abgasreinigungssystems erforderlich, die SULEV-Variante nicht mit eingerechnet. Dieses Spektrum deckt Boysen mit nur einem Krümmer, zwei Katalysatorpatronen, fünf Katalysatoreintrittstrichtern, drei Katalysatoraustrittstrichtern und elf Austrittsrohren ab. Durch die Modulbauweise und das weitrei-

chende Gleichteilekonzept konnte der Aufwand sowohl in der Entwicklung einschließlich Konstruktion, Berechnung, Prototypenbau und Versuch als auch in der Fertigung inklusive Betriebsmittel und Werkzeugbau und nicht zuletzt in der Logistik auf ein Minimum reduziert werden: In Folge dessen konnten die gesteckten Kostenziele erreicht werden.

### 4 Fazit

Das Abgasreinigungssystem, das Boysen für die NG-R6-Ottomotoren von BMW mitentwickelt hat, erfüllt durch innovative konstruktive Lösungen (Dichtungskonzept, Sammler) die Entwicklungsziele in Bezug auf Motorleistung, Abgasgrenzwerte und Leichtbau. Die modulare Konzeption der kompletten Baugruppe ermöglicht die flexible Anpassung der Konstruktion an unterschiedliche Bauraumsituationen beziehungsweise unterschiedliche Abgasnormen. Die weitreichende Gleichteilestrategie schafft die Voraussetzungen für eine deutliche Senkung der Teilstückkosten. ■

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



**MTZ** Vieweg Verlag Postfach 1546 D-65173 Wiesbaden  
Tel. +49 5241 80-1968 | E-mail: vieweg@abo-service.info