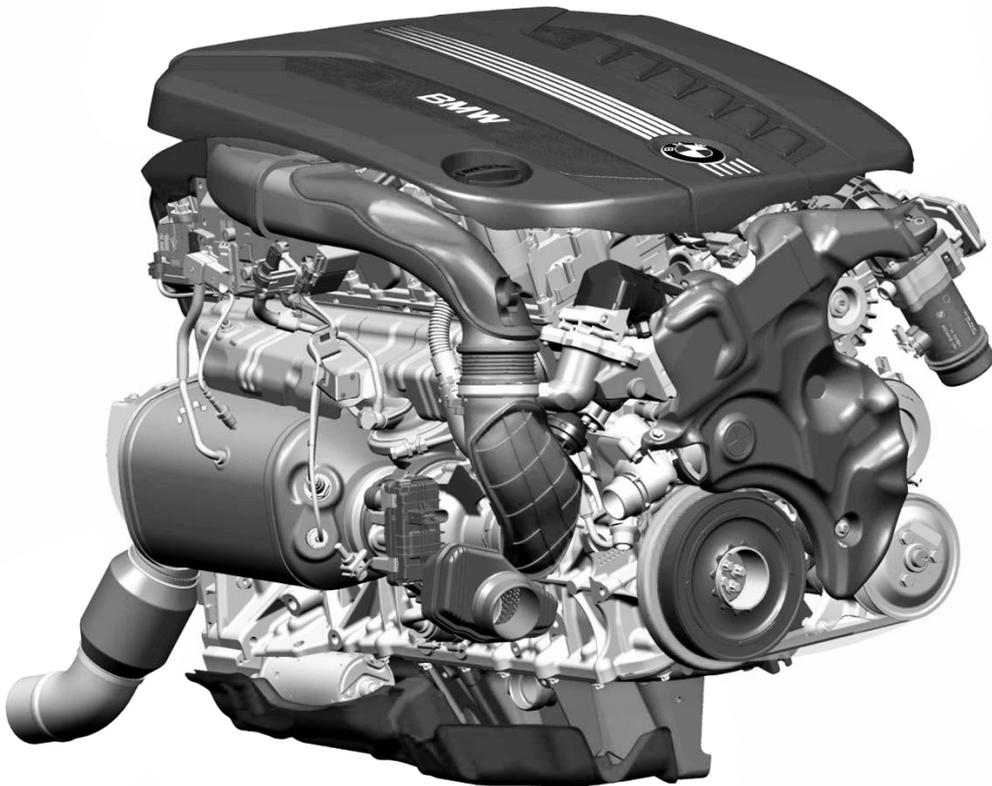


## Der neue BMW 6-Zylinder Dieselmotor



### Kurzfassung

Im September 2008 erfolgte die Einführung des 3,0l 6-Zylinder Dieselmotors, der konsequent vom 2,0l 4-Zylinder Dieselmotor abgeleitet wurde und in unterschiedlichen Leistungsstufen in der Mehrzahl der Fahrzeugbaureihen von BMW eingesetzt wird. Die Kerneigenschaften dieses Antriebs – Sportlichkeit kombiniert mit geringem Verbrauch, niedrigsten Emissionen und exzellentem Laufkomfort – setzen bis heute Maßstäbe auf dem Gebiet der 6-Zylinder Dieselmotoren.

Mit dem neuen 6-Zylinder Dieselmotor erfolgte die Weiterentwicklung dieser markentypischen Eigenschaften. Mit der technischen Überarbeitung des Grundmotors und dessen thermodynamischer Optimierung wurde neben einer Leistungs- und Drehmomentsteigerung eine weitere Verbrauchs- und Emissionssenkung umgesetzt. Das Ergebnis ist eine merklich gesteigerte Spontaneität im Ansprechverhalten des Motors. Gleichzeitig konnte das bereits niedrige Laufgeräusch weiter abgesenkt werden.

Der Ersteinsatz dieses neuen Motors erfolgte im März 2011 im BMW 530d xDrive. Im Rahmen von „Efficient Dynamics“ kommt beim 6-Zylindermotor nun auch erstmalig die Auto-Start-Stop-Funktion serienmäßig zum Einsatz.

# 1 Einleitung

Seit Einführung der BMW 6-Zylinder Dieselmotoren im Jahr 1983 nehmen diese Antriebe eine Spitzenposition ein und verbinden hohe Dynamik und agiles Ansprechverhalten mit den Effizienzvorteilen der dieselmotorischen Verbrennung. Mit der Common Rail Direkteinspritzung der dritten Generation, variabler Aufladetechnik bis hin zu mehrstufigen Konzepten und modernster Emissionierungstechnik wurde mit dem 2,0l BMW 4-Zylinder Dieselmotor in 2007 [1] eine neue Motorenfamilie aufgelegt, deren funktionale Eigenschaften die Spitzenposition in Dynamik und Verbrauch weiter ausgebaut haben. Gleichzeitig legte die Architektur dieser Motorenfamilie, die auf einem Leichtbau-Aluminiumkurbelgehäuse mit schwungradseitigem Steuertrieb basiert, den Grundstein für einen 4-/6-Zylinder Motorbaukasten. Damit erfolgte die Vorbereitung auf die Bedürfnisse einer hocheffizienten Motorenfertigung, die maximale Nutzung von Skaleneffekten bei Zulieferbauteilen und nicht zuletzt auf den Bauraum aktueller und zukünftiger Fahrzeugkonzepte unter Berücksichtigung der Anforderungen an den Fußgängerschutz. Mit dem 730d und 330d ist der 3,0l BMW 6-Zylinder Dieselmotor [2] aus dieser Familie in 2008 angelaufen.

Die innovativen Konzeptmerkmale dieser Motorenfamilie wurden mit dem Ziel einer weiteren Leistungs-, Drehmoment- und Responsesteigerung sowie einer nochmaligen Verbrauchsabsenkung bei gleichzeitig deutlicher Komfortsteigerung weiterentwickelt. Die technischen Überarbeitungen und Anpassungen folgen dabei dem Prinzip, den vorhandenen, flexiblen BMW Fertigungsverbund zu nutzen. Unter Einhaltung der aktuellen sowie der Vorbereitung auf zukünftige Emissionsgrenzwerte und mit dem Optimum an Verbrauch werden die Markt- und Kundenbedürfnisse besonders nachhaltig adressiert. In Verbindung von Dynamik und Laufruhe setzt der überarbeitete BMW 6-Zylinder Dieselmotor erneut Maßstäbe in der Motorentechnik und ist bestens für die zukünftigen Anforderungen der weltweit wachsenden Dieselmotornachfrage gerüstet.

## 2 Zielsetzung

Am neuen BMW 6-Zylinder Dieselmotor [3] galt es, die BMW Strategie „Efficient Dynamics“ konsequent weiterzuentwickeln – gemäß dem Ziel, bei allen BMW Fahrzeugen ein hervorragendes Leistungsangebot mit effizientesten Antriebssträngen darzustellen (Bild 1).

Die Zielsetzungen im Detail:

- Steigerung von Leistung und Drehmoment zur Sicherstellung der BMW Spitzenposition im Wettbewerbsumfeld
- Beibehaltung einer gemeinsamen Basis für unterschiedliche Leistungsvarianten
- Verringerung von Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Weitere Absenkung des Laufgeräuschs, kombiniert mit der Verbesserung des Klangbilds
- Schaffung der technischen Voraussetzung zur Einhaltung auch zukünftiger weltweit gültiger Emissionsvorschriften (EU6, USA, etc.)
- Reduktion von Gewicht und Motorabmessungen als Packagebeitrag – der Motor soll in derzeitigen und zukünftigen Fahrzeugkonzepten eingesetzt werden und die Anforderungen hinsichtlich Fußgängerschutz erfüllen
- Ausbau des Baukastens für 4- und 6-Zylinder Dieselmotoren zur Nutzung des flexiblen BMW-Fertigungsverbundes und von Skaleneffekten, die durch den hohen Anteil an Gleichteilen und konzeptgleichen Teilen erzielt werden.

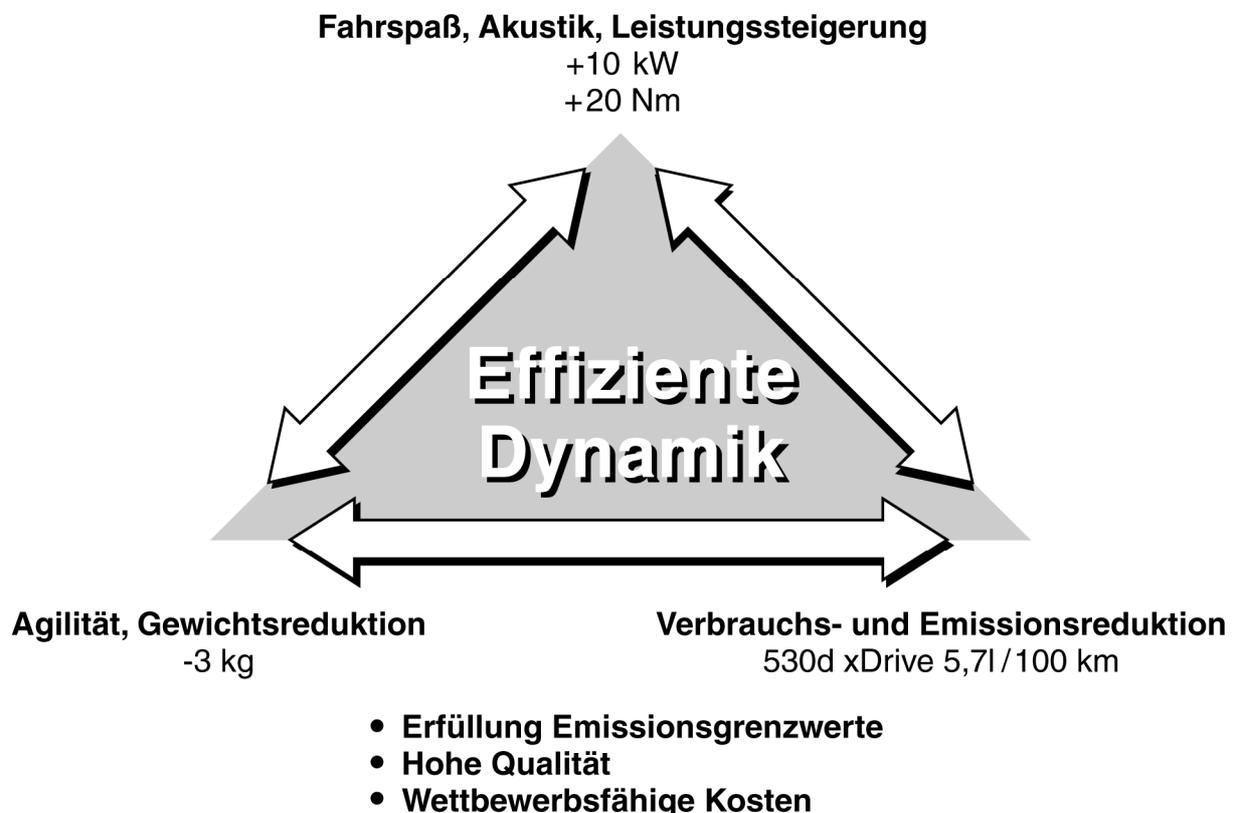


Bild 1: Effiziente Dynamik

### 3 Motorkonzeption

Der neue BMW 6-Zylinder Dieselmotor ist integraler Bestandteil der BMW Dieselmotorenfamilie, deren herausragende Merkmale hohe Leistungsdichte, Leichtbau, Kompaktheit und geringer Kraftstoffverbrauch sind.

Wesentliche Konstruktionsmerkmale der neuen Motorenfamilie sind:

- Aluminium-Zylinderkurbelgehäuse mit gefügten Laufbuchsen
- Steuertrieb mit Kette auf der Schwungradseite
- Einheitlicher Brennraum mit zylinderachspareller Ventilanordnung
- Öl-Vakuumpumpe als Einheit in der Ölwanne
- Einheitliche Aggregateanordnung und Riementrieb
- Motornahe Anordnung der Abgasnachbehandlungssysteme

Die Vorteile des Dieselmotorbaukastens:

- Hoher Anteil an Gleichteilen bzw. konzeptgleichen Bauteilen
- Synergien bei der Motorentwicklung
- Skaleneffekte
- Wirtschaftliche Fertigung und Montage auf einer Fertigungslinie
- Synergien bei der Fahrzeugintegration (Aggregateanordnung/-lagerung, Abgas-, Kühlsystem und Ansaugluftführung)
- Leistungsdifferenzierung über Zylinderanzahl, Einspritzsystem und Aufladung

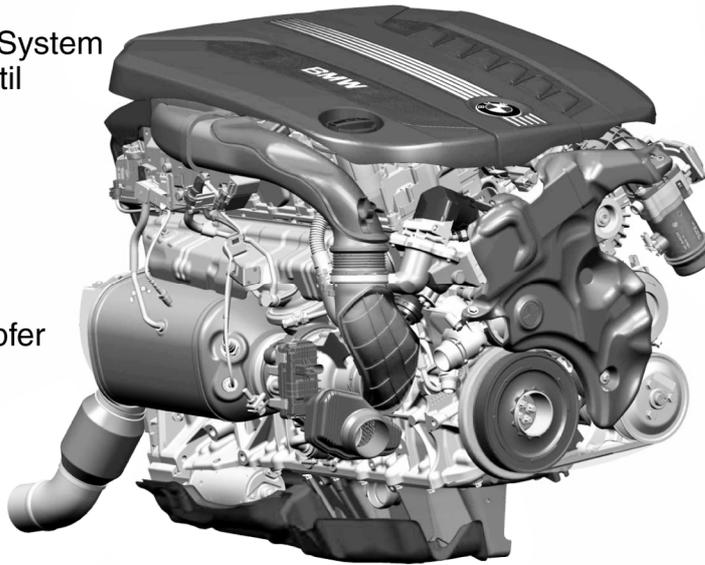
Der neue BMW 6-Zylinder Dieselmotor unterscheidet sich vom Vorgänger im Wesentlichen durch (Bild 2):

- Gewichtsreduzierungen am Triebwerk und bei Anbauteilen sowie Steigerung der Zünddruckfestigkeit des Grundmotors
- Reibungsoptimierung des Kurbeltriebs bzw. Kolben sowie des Riementriebs durch eine neue Anordnung der Aggregate
- Neugestaltung der Luft- und Abgasrückführung mit gesteigerter Kühlleistung
- Wirkungsgradgesteigerte Aufladung mit spontanerem Ladedruckaufbau und Geräuschkämpfer in der Ladeluftführung
- Common-Rail-System mit Magnetventil und einem maximalen Einspritzdruck von bis zu 1800 bar
- Einsatz eines erweiterten Akustikpakets bestehend aus Abdeckung Riementrieb und Schallisolation Ölwanne

Common-Rail-System  
mit Magnetventil  
(1800 bar)

Wirkungsgrad-  
gesteigerte  
Aufladung mit  
Geräuschdämpfer

Gewichts-  
reduzierte  
Kurbelwelle



Funktionsoptimierte  
Luft- und  
Abgasrückführung

Erweitertes  
Akustikpaket:

- Abdeckung  
Riementrieb
- Schallsolierung  
Ölwanne

Reibungsoptimierter  
Riementrieb

Bild 2: Entwicklungsschwerpunkte

## 4 Bauteilbeschreibung

### 4.1 Der Grundmotor

Gegenüber dem Vorgänger wurde der Zünddruck des 3,0l 6-Zylinder Dieselmotors um 5bar auf 185bar gesteigert. Dazu wurde die Geometrie des Zylinderkurbelgehäuses (ZKG) im Bereich Lagerstuhl optimiert sowie die Vorspannkraft der Hauptlagerverschraubung erhöht. Die verfeinerten Außenverrippungen am ZKG verbessern das akustische Abstrahlverhalten.

Der Wassermantel wurde gegenüber dem Vorgängermotor in den hochbeanspruchten Zonen verstärkt. Die gezielte Kühlmittelführung bedingt eine thermische Entlastung des Zylinderkopfes und wurde zusätzlich widerstandsreduziert. Auf den beim Vorgänger integrierten Abgasrückführungs (AGR)-Kanal wurde verzichtet. Die gesamte AGR-Führung wurde an der Motorperipherie angeordnet.

Die Kurbelwelle wurde hinsichtlich ihres Gewichts optimiert und ist nun mit vier statt wie bisher mit acht Gegengewichten ausgeführt (Bild 3). Die erzielte Gewichtsreduktion von ca. 1300g bewirkt einen leichteren Kurbeltrieb und führt zu einer deutlichen Dynamikverbesserung.

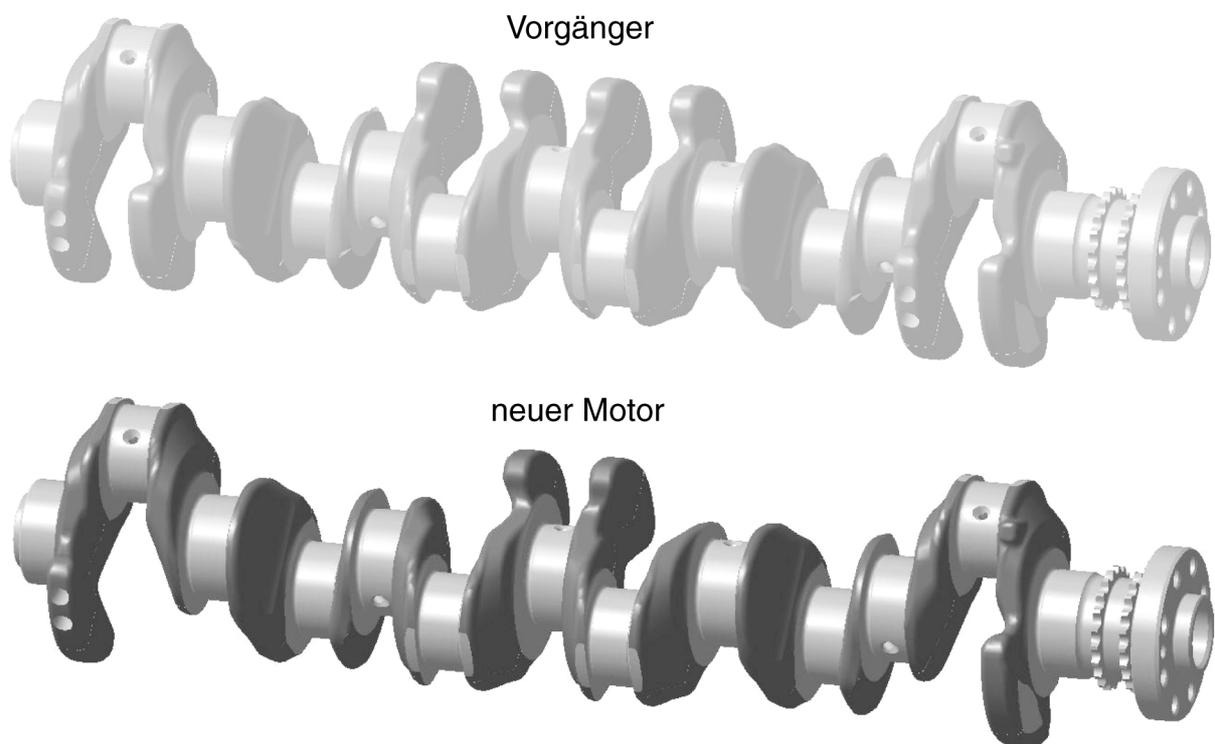


Bild 3: Kurbelwelle



### **4.3 Einspritzsystem**

Beim Einspritzsystem des neuen 6-Zylindermotors kommen ein Zweistellerkonzept mit Zuflussregelung in der Hochdruckpumpe und ein Druckregelventil am Rail zum Einsatz. Als Hochdruckpumpe wird die Zweistempelpumpe CP4.2 eingesetzt. Um die zum Vorgängermotor erhöhten Leistungs- und Drehmomentziele zu erreichen, wurde das Fördervolumen deutlich erhöht. Die Übersetzung der Hochdruckpumpe zur Kurbelwelle beträgt für eine einspritzsynchrone Förderung 1:0,75.

Die Einspritzung wurde auf Magnetventilinjektoren mit 1800 bar umgestellt. Um die Anforderungen an die Funktionsziele bestmöglich zu erfüllen, wurde die Lochanzahl der Düse von 7 auf 8 Loch erhöht. Die Düse ist mit verbesserter Sitzgeometrie und kleinerem Sacklochvolumen ausgeführt.

Die gleichzeitige Reduktion der Spritzlochdurchmesser bei gleichem hydraulischen Durchfluss ermöglicht die Anhebung der Leistung bei gleichzeitiger Verbesserung von Emissions- und Verbrauchswerten. In Verbindung mit adaptiven Lernfunktionen wird über die Motorlebensdauer eine hohe Stabilität der Einspritzmengen gewährleistet.

### **4.4 Aufladung**

Im Gegensatz zum Vorgängermotor kommt ein kleinerer Turbolader von Honeywell Turbo Technologies zum Einsatz. Das Verdichter- und das Turbinenrad wurden im Durchmesser verkleinert. Ebenso konnte der Wellendurchmesser entsprechend verringert werden.

Einen weiteren Beitrag zur Effizienzsteigerung und zum dynamischen Verhalten leistet das bei BMW erstmals in diesem Produkt eingesetzte Z-Wellenlagerungssystem mit entsprechender Reibungsminderung. Das Z-Lager erfüllt die Aufgaben der radialen und axialen Lagerung in nur einem Bauteil.

An der Turbine kommt die letzte Generation der variablen Turbinengeometrie zur Anwendung. Eine neu ausgelegte Lagerung des Betätigungsringes für die Leitschaufeln vermindert Reibung, bewirkt eine geringere Hysterese und verbessert die Regelgenauigkeit. Die elektronenstrahlgeschweißte Verbindung von Turbinenrad und Läuferwelle wird erstmalig unter inerter Atmosphäre wärmebehandelt, um nachträgliche Wuchtwertverschlechterungen zu verhindern. Für eine weitere Akustikverbesserung sorgt ein ladeluftseitig angebrachter Geräuschkämpfer (Bild 5). Diese Maßnahme erlaubt einen Betrieb des Verdichters näher an der Pumpgrenze.

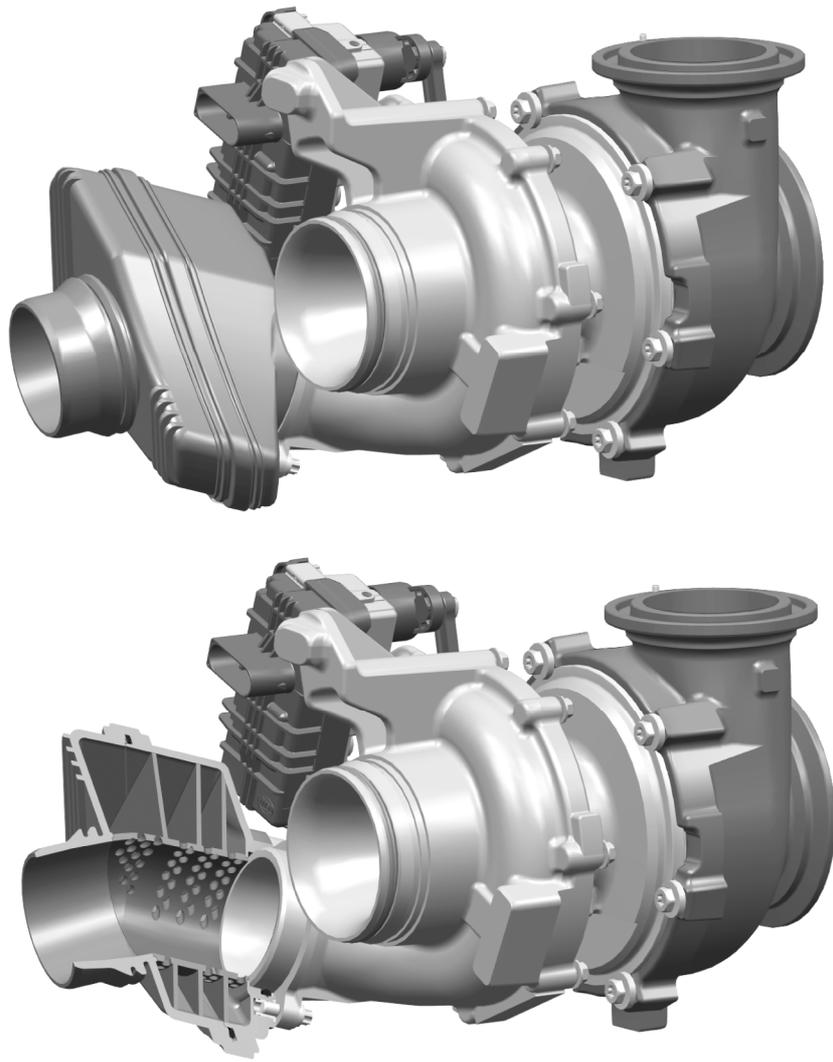


Bild 5: Turbolader mit Geräuschkämpfer

## 4.5 Luftführung

Die Luftführung (Bild 6) wurde als Baukastensystem konzipiert und ist für alle Fahrzeuge mit dem neuen Motor identisch. Lediglich die Rohluftführung muss fahrzeugspezifisch angepasst werden. Diese Vereinheitlichung konnte durch eine motorfeste Anbindung des Ansaugeräuschkämpfers (AGD) erreicht werden. Mit dieser Maßnahme verbunden ist die Reduzierung des Applikationsaufwands in der Entwicklung.

Die Anströmung des Luftmassenmessers wurde mittels Berechnung soweit optimiert, dass Streuungen in den Luftfiltereinsätzen und laufzeitbedingte Änderungen der Luftfilterdurchströmung aufgrund von Verschmutzungen ohne Einfluss bleiben. Die seitliche AGD-Anordnung verringert das Wummern in Folge der Abgasrückführung und verbessert dadurch nochmals die Akustik gegenüber dem Vorgängermotor.

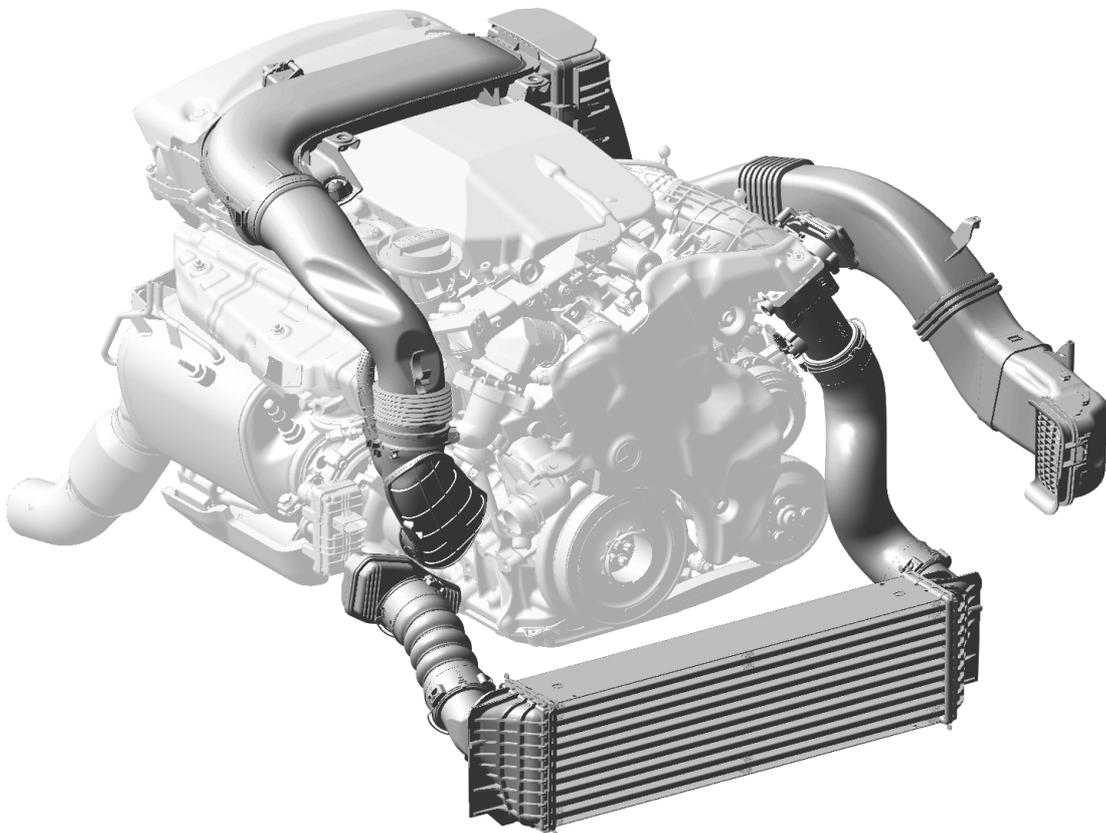


Bild 6: Luftführung

## 4.6 Akustikpaket

Das Akustikpaket (Bild 7) besteht aus:

- Gesamtabdeckung
- Injektorabdeckung
- hinterer Abdeckung über dem Kettentrieb
- Abdeckung Riementrieb
- Schallisolierung Ölwanne

Die Konzeptionierung der Riementriebsabdeckung erfolgte als Gleichteil, die restlichen Abdeckungen des Akustikpakets sind als konzeptgleiche Teile zwischen 4- und 6-Zylindermotor in allen Fahrzeugen umgesetzt. Die Schallisolierungen von Riementrieb und Ölwanne sind als Heißprägesandwichteile ausgeführt.

Um hohe akustische Wirksamkeit zu erreichen, werden Aussparungen vermieden. Gleichzeitig ist die Zugänglichkeit bei Montage und Service sowie die thermische Betriebssicherheit gewährleistet.



Bild 7: Akustikpaket

## 5 Funktionsergebnisse

### 5.1 Leistung und Drehmoment

Der überarbeitete 6-Zylinder Dieselmotor für den Einsatz im BMW 530d xDrive erzielt eine Nennleistung von 190 kW bei 4000 U/min und ein maximales Drehmoment von 560 Nm im Drehzahlbereich von 1500 bis 3000 U/min (Bild 8).

Neben diesem Maximalwert ist die füllige Drehmomentcharakteristik im breit nutzbaren Drehzahlband entscheidend für ein dynamisches Fahrerlebnis. Die Agilität des Motors wurde gegenüber dem Vorgängermodell deshalb noch einmal gesteigert. Der Motor ist so ausgelegt, dass bei Drehzahlen von 1300 bis 3600 U/min bereits 90 % des maximalen Drehmomentes erreicht werden bzw. 90% der Nennleistung im Drehzahlbereich von 2900 bis 4700 U/min. Diese Werte unterstreichen die Souveränität des Antriebs und die sprichwörtliche Freude am Fahren.

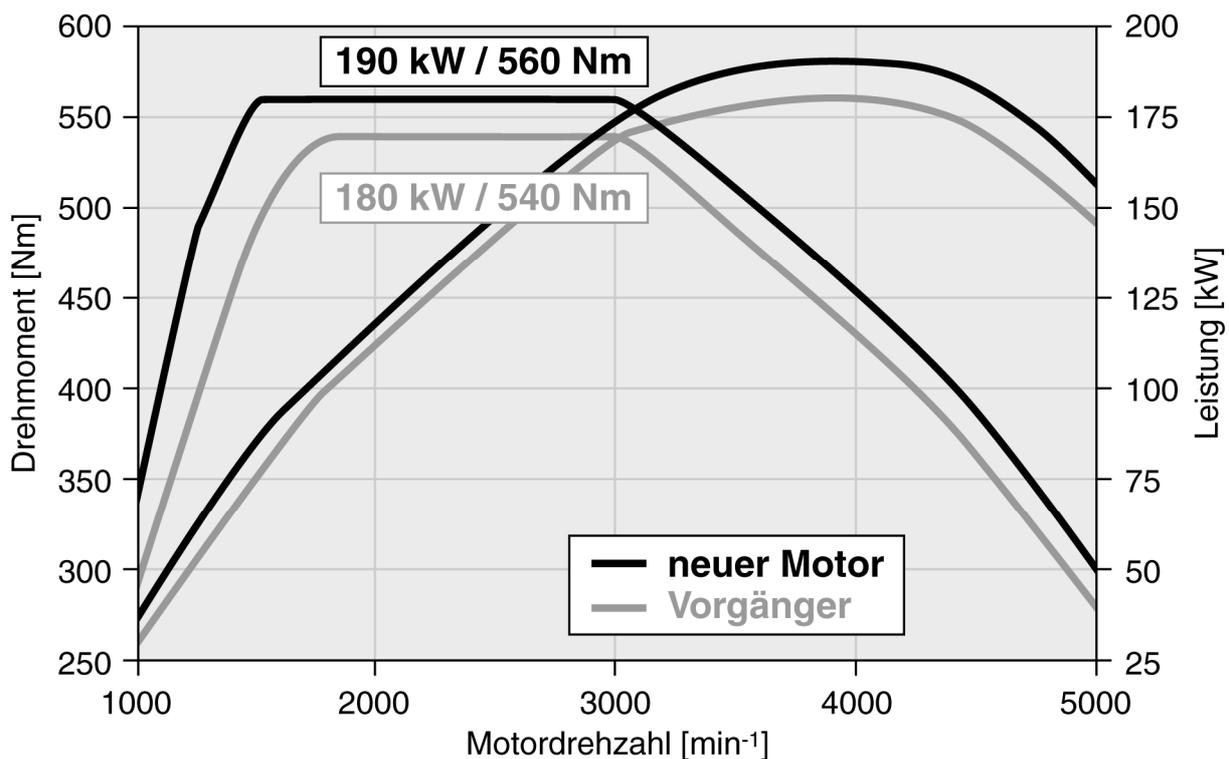


Bild 8: Leistungs- und Drehmomentverlauf

## 5.2 Dynamik und Ansprechverhalten

Der gegenüber dem Vorgängermodell verkleinerte Abgasturbolader sorgt für einen spontanen Ladedruckaufbau (Bild 9). Diese Maßnahme bewirkt ein besseres Ansprechverhalten des Motors vor allem im unteren Drehzahlbereich und steigert dessen Dynamik und Spontaneität im kundenrelevanten Kennfeldbereich. Zur Erreichung des Leistungszieles wurden die Luft- und Abgasführung konsequent entdrosselt.

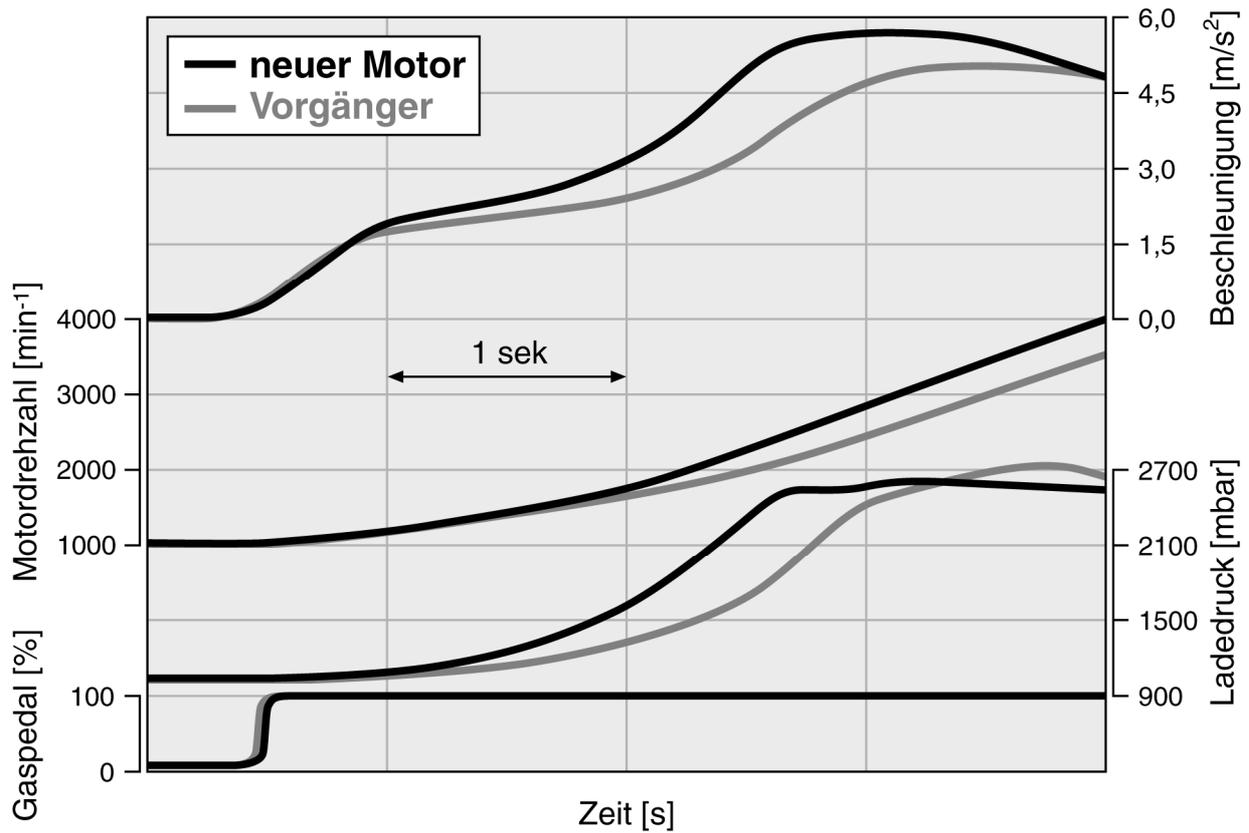


Bild 9: Dynamik im Vergleich zum Vorgänger

### 5.3 Kraftstoffverbrauch und Fahrleistung

Ziel war die nochmalige signifikante Reduktion des Kraftstoffverbrauchs um 9 % im neuen europäischen Fahrzyklus. Optimierungen am Motor und der bei einem BMW 6-Zylinder Dieselmotor erstmalige Einsatz der Motor-Start-Stop-Automatik (MSA) führen zur Erreichung dieser Vorgabe. Der Kraftstoffverbrauchs-Bestpunkt im Kennfeld liegt bei 196 g/kWh.

Zusätzlich zur Verbrauchssenkung wurden die Elastizitätswerte deutlich verbessert, die Beschleunigungszeit von 0-100 km/h ist um 0,2 sec verkürzt. Bild 10 zeigt die herausragende Stellung des 530d xDrive im Wettbewerbsumfeld.

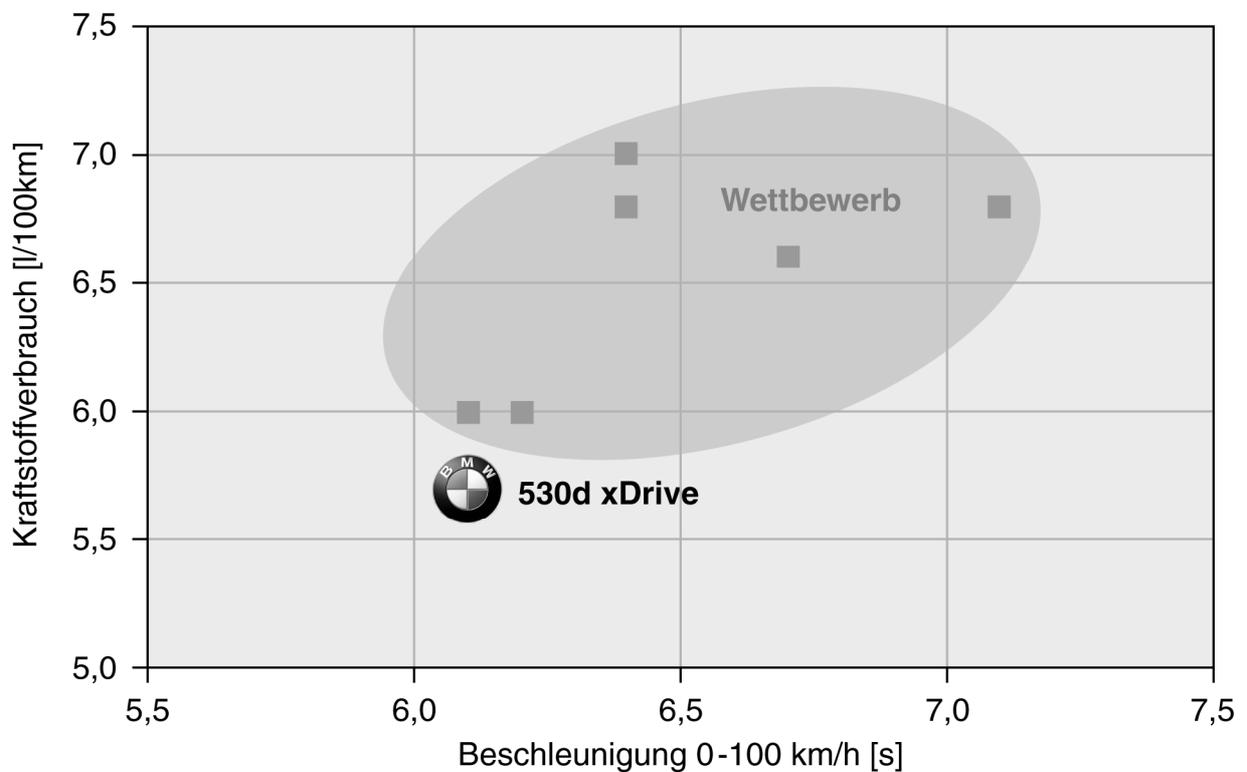


Bild 10: Verbrauch und Fahrleistung im Wettbewerbsumfeld

## 5.4 Emissionen

Kernelement zur Reduktion der Stickoxide und zur Einhaltung der EU5 Emissionsgrenzen ist die geregelte und gekühlte Abgasrückführung. Beim neuen 6-Zylinder Dieselmotor wurden zusätzliche Vorbereitungen zur Erfüllung der ab September 2014 geltenden EU6 Norm getroffen. Durch eine signifikante Steigerung der Kühlleistung des AGR-Kühlers und durch den Einsatz eines schaltbaren Bypasskanals wird die Spreizung und Leistungsfähigkeit des AGR-Systems deutlich erhöht. Das elektrisch betätigte AGR-Ventil wurde dabei vom Vorgängermodell übernommen. Bild 11 zeigt die AGR-Kühleraustrittstemperatur bei unterschiedlichen Motordrehzahlen, die gegenüber dem Vorgängermotor um bis zu 120 °C abgesenkt wurde.

Durch das neue AGR- und Einspritzsystem sowie die optimierte Aufladung werden die Kohlenwasserstoff- und Kohlenmonoxidrohmissionen um 25% bzw. 10% abgesenkt. Zur Vermeidung von Partikelemissionen ist serienmäßig ein wartungsfreier Partikelfilter eingebaut. Darüber hinaus werden die Stickoxidemissionen (NOx) in weiten Kennfeldbereichen deutlich reduziert, sodass die Einhaltung der EU5-Grenzwerte auch für schwere Fahrzeuge mit rein innermotorischen Maßnahmen erfolgt. Die um 56% herabgesetzten NOx-Grenzwerte bei EU6 werden durch Modifikationen der Abgasnachbehandlung erreicht [4].

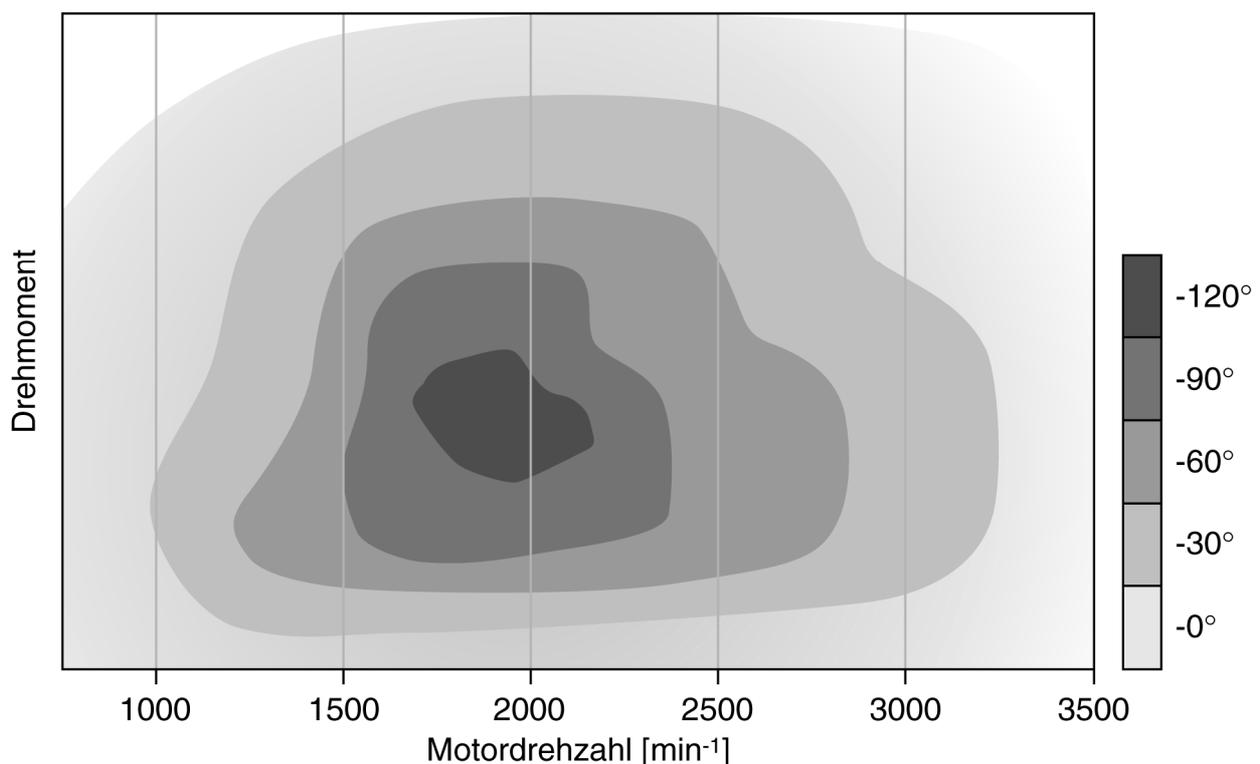


Bild 11: AGR-Kühler Austrittstemperatur – Vergleich neuer Motor zu Vorgänger

## 5.5 Akustik

Bereits bei der Entwicklung des Basismotors wurde auf das gute akustische Verhalten des Antriebs Augenmerk gelegt. Passivmaßnahmen wie die Schallsolierung von Ölwanne und Abdeckung des Riementriebs führen zu einer weiteren Verbesserung der Akustikwerte. Die breite Injektorabdeckung und eine Vergrößerung der hinteren Abdeckung optimieren das akustische Verhalten. Darüber hinaus wird durch den Einsatz von Magnetventilinjektoren das impulshaltige Schaltgeräusch verringert.

Der Luftschallvergleich weist im gesamten Drehzahlpektrum eine geringere Geräuschentwicklung als beim Vorgängermotor auf. Der neue 6-Zylindermotor präsentiert sich damit auch im Akustikbereich perfekt für die Premiumklasse.

Bild 12 zeigt die akustischen Verbesserungen beim Innen- und Außengeräusch.

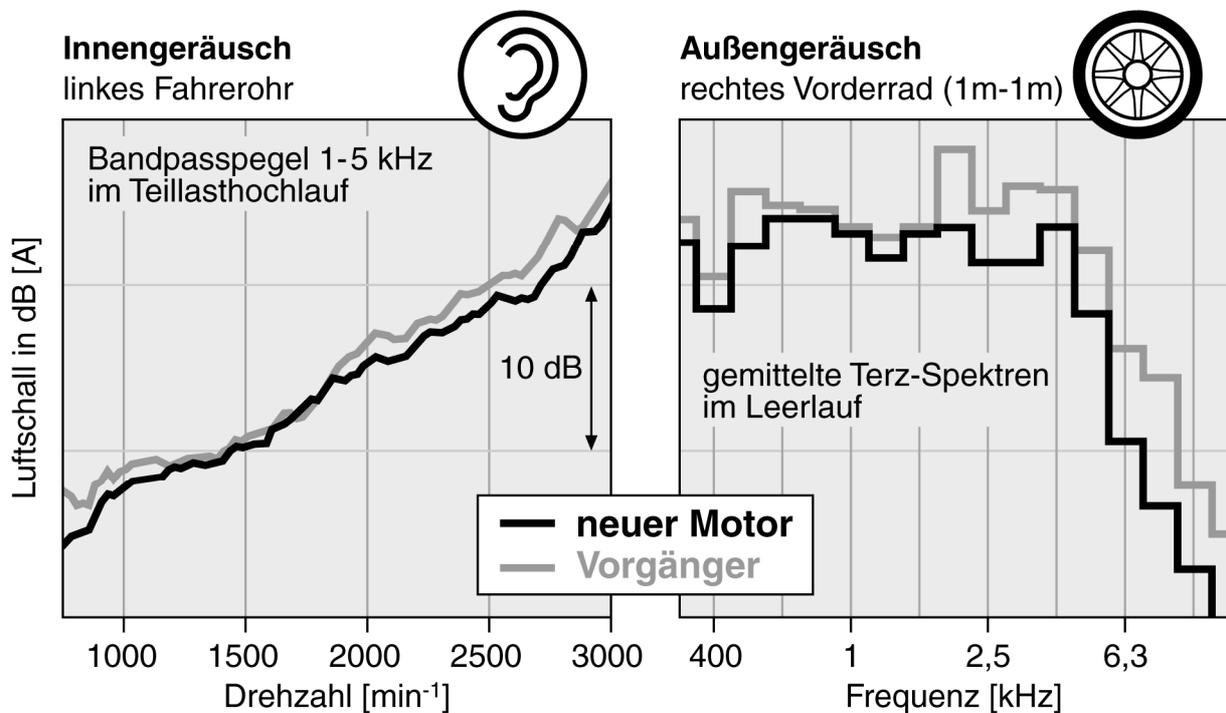


Bild 12: Luftschallspektrum im Vergleich zum Vorgängermotor

## 6 Zusammenfassung

Dynamische Leistungsentfaltung, die neuerliche Steigerung von Leistung und Drehmoment, verbesserte Akustik und weniger Schadstoffausstoß sind die herausragenden Merkmale des weiterentwickelten BMW 6-Zylinder Dieselmotors. Die Gewichts- und Verbrauchseinsparungen markieren neue Maßstäbe zur Verringerung von Emissionen und weisen den Weg in die Zukunft der Motorentechnologie. Basierend auf der in 2007/2008 gestarteten 4-/6-Zylinder BMW Dieselmotorenfamilie [2] wurden diese Verbesserungen im Wesentlichen durch folgende Maßnahmen erreicht: eine Weiterentwicklung des Einspritzsystems, eine höhere Belastbarkeit des Grundtriebwerks, eine verbesserte innermotorische Kühlung, eine weiter optimierte Aufladetechnik, den Ausbau passiver Akustikmaßnahmen sowie eine Neuauslegung von Verbrennung und Ladungswechsel. Die BMW-Dieselmotorenfamilie ist damit optimal auf die zukünftigen Anforderungen von Markt und Kunde und die zukünftigen Fahrzeugarchitekturen vorbereitet, ohne dabei den BMW Dieselmotorbaukasten zu verlassen.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] STEINPARZER, F.; MATTES, W.; NEFISCHER, P.; WICHTL, R.  
Der neue 2,0 l 4-Zylinder Dieselmotor von BMW  
28. Internationales Wiener Motorensymposium  
Wien, 2007
  
- [2] HALL, W.; MATTES, W.; NEFISCHER, P.; STEINMAYR, T.  
Der neue BMW Reihen-6-Zylinder Dieselmotor  
17. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentchnik  
Aachen, 2008
  
- [3] DWORSCHAK, J.; NEUHAUSER, W.; RECHBERGER, E.; STASTNY, J.  
Der neue BMW 6-Zylinder-Dieselmotor  
MTZ 70 2009 Nr. 1
  
- [4] BRÜNE, H.-J.; HONEDER, J.; RASCHL, P.; SCHINNERL, M.; TANGEMANN, R.  
Euro 5, Euro 6 und US Tier2Bin5 Emissionstechnologien für BMW Dieselfahrzeuge  
MTZ 2009 Nr. 3