



1. BMW Technologietag 2009. EfficientDynamics.	
(Einleitung)	2
2. Weniger Luftwiderstand, weniger Verbrauch und Emissionen, mehr Freude am Fahren. Innovative Aerodynamik-Entwicklung als Beitrag zu EfficientDynamics.	9
2.1 Technische Daten im Vergleich.	13
3. Straße im Prüfstand: das neue Aerolab der BMW Group und die Entwicklung der EfficientDynamics Maßnahme Air Curtain.	14
3.1 Daten und Fakten: Das neue Aerodynamische Versuchszentrum der BMW Group.	18
4. Aerodynamik und Design im Kontext der Entwicklungsstrategie EfficientDynamics.	19
4.1 Technische Daten.	23
5. Noch spontaner, noch effizienter: der neue 3-I-Reihensechszylinder-Benzinmotor mit BMW TwinPower Turbo, High Precision Injection und VALVETRONIC.	24
5.1 Die technischen Daten des neuen Reihensechszylinder-Benzinmotors mit BMW TwinPower Turbo.	27
6. Imponierende Durchzugskraft, vorbildliche Verbrauchs- und Emissionswerte: der neue 3-I-Reihensechszylinder-Dieselmotor mit BMW TwinPower Turbo und Piezo-Injektoren mit 2.000 bar Einspritzdruck.	28
6.1 Die technischen Daten des neuen Reihensechszylinder-Dieselmotors mit BMW TwinPower Turbo.	33
7. Innovativ, effizient, dynamisch: das neue BMW Achtgang-Automatikgetriebe.	34

1. BMW Technologietag 2009. EfficientDynamics. (Einleitung)



Weniger Emissionen, mehr Fahrfreude: Kein anderer Automobilhersteller setzt dieses Prinzip so überzeugend und erfolgreich in die Tat um wie die BMW Group. Sowohl in der Momentaufnahme als auch im langfristigen Vergleich liegen die Marken BMW und MINI bei der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Werte mit deutlichem Abstand vor allen Wettbewerbern des Premiumsegments. Diese Sonderstellung der BMW Group ist das Resultat der Entwicklungsstrategie EfficientDynamics. Sie umfasst sämtliche Innovationen, die dazu beitragen, bei jedem neuen Modell die Verbrauchs- und Emissionswerte gegenüber dem Vorgängermodell zu senken und gleichzeitig die Fahrleistungen weiter zu steigern.

Möglich wird dies durch den grundlegenden und ganzheitlichen Charakter von EfficientDynamics. Die Optimierung der Effizienz ist Leitlinie für sämtliche Bereiche der Fahrzeugentwicklung. Sie fördert die einzigartige Kompetenz der BMW Group auf den Gebieten der Motoren-, Getriebe- und Fahrwerkstechnologie, treibt das intelligente Management von Energieströmen innerhalb des Fahrzeugs und die auf intelligenten Leichtbau ausgerichtete Materialauswahl voran und beeinflusst auch die permanente Optimierung der Aerodynamik.

Ebenso wie die jüngsten Ergebnisse auf dem Gebiet der Motoren- und Getriebeentwicklung ist auch die Inbetriebnahme des neuen Aerodynamischen Versuchszentrums (AVZ) der BMW Group Beleg für das konsequente Streben nach weiteren Fortschritten im Rahmen von EfficientDynamics. Die fortgesetzte Reduzierung von Verbrauchs- und Emissionswerten erfordert immer wieder neue, massive Investitionen in die Forschungs- und Entwicklungskompetenz des Unternehmens. Nur mit hoch qualifizierten Mitarbeitern und modernster Technologie können zukunftsweisende Konzepte für die individuelle Mobilität entstehen. Die BMW Group als weltweit erfolgreichster Hersteller von Premium-Automobilen stellt sich dieser Verantwortung und entwickelt überdurchschnittliches Engagement, um Freude am Fahren bei noch günstigerem Verbrauch und noch geringeren Emissionen zu verwirklichen.

Die effizientesten Premium-Fahrzeuge stammen von BMW und MINI.

Für BMW und MINI sind Innovationen zur Reduzierung der Verbrauchs- und Emissionswerte elementarer Bestandteil der Produktsubstanz. Die aktuellen EfficientDynamics Maßnahmen gehören daher – in jeweils modellspezifischer Zusammenstellung – zur serienmäßigen Ausstattung jedes neuen BMW und MINI. Kein anderer Automobilhersteller bietet derzeit ein ähnlich umfassendes

Paket von effizienzfördernden Maßnahmen über alle Fahrzeugsegmente hinweg und darüber hinaus auch noch ohne Aufpreis an. Auch diese Herangehensweise zeigt die einzigartige Zielsetzung von EfficientDynamics auf. Durch den modellübergreifenden, serienmäßigen Einsatz und die hohe Effektivität des Maßnahmenpakets wird eine herausragende Breitenwirkung zugunsten einer Reduzierung des CO₂-Ausstoßes im Straßenverkehr erzielt.

Die einzigartige Strategie von EfficientDynamics schlägt sich im Vergleich der durchschnittlichen Verbrauchs- und Emissionswerte deutlich nieder. Laut Statistik des Kraftfahrtbundesamtes weisen die im Jahr 2008 in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge der Marken BMW und MINI einen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 5,9 l je 100 km und einen mittleren CO₂-Wert von 158 g/km auf. Beide Werte liegen deutlich unter dem Durchschnitt aller 2008 in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge. Mit den in jüngster Zeit erzielten Fortschritten auf dem Gebiet der Effizienzsteigerung setzt sich die BMW Group zudem deutlich von anderen Anbietern des Premiumsegments ab. Zwischen 2006 und 2008 wurden die durchschnittlichen Verbrauchs- und CO₂-Werte der Marke BMW um 16 und der Marke MINI um 20 Prozent reduziert. Mit diesen Ergebnissen wird der nächstbeste Wettbewerber im Premiumsegment um mehr als das Doppelte übertroffen. Insgesamt liegt die von der BMW Group erzielte Verringerung der durchschnittlichen CO₂-Emissionen nach Berechnung des Kraftfahrtbundesamtes um das Vierfache höher als im Gesamtergebnis aller auf dem deutschen Automobilmarkt vertretenen Marken.

EfficientDynamics: fester Bestandteil der Produktsubstanz und der Unternehmensphilosophie.

Der Vorsprung der BMW Group gegenüber dem Wettbewerb resultiert nicht aus einer kurzfristigen Prioritätensetzung, sondern ist das Ergebnis einer konsequent betriebenen Strategie. Auf europäischer Ebene zeigt sich dies unter anderem in einer Reduzierung des Flottenverbrauchs zwischen 1995 und 2008 um deutlich mehr als 25 Prozent. Die BMW Group hat damit für die Marken BMW und MINI die zentrale Aussage der Selbstverpflichtung des Verbands der europäischen Automobilhersteller (ACEA) übererfüllt.

Die Entwicklungsstrategie EfficientDynamics, ressourcenschonende Produktionsverfahren und hohe soziale Standards für die Mitarbeiter an allen Standorten sind wesentliche Bestandteile der Unternehmensphilosophie der BMW Group. Diese Faktoren verhelfen nicht nur den Produkten, sondern auch dem Unternehmen zu einer herausgehobenen Position innerhalb der Automobilbranche. Diese spiegelt sich unter anderem im aktuellen Dow Jones Sustainability Index wider. Das gemeinsam von Dow Jones Indizes, Stoxx Limited und der Züricher Vermögensverwaltungsgesellschaft SAM erstellte

Ranking gilt als weltweit wichtigster Gradmesser für unternehmerische Verantwortung. Zum vierten Mal in Folge wurde die BMW Group darin als „weltweit nachhaltigster Automobilhersteller“ eingestuft.

Durch die klare Ausrichtung auf Innovationskraft und Nachhaltigkeit ist die BMW Group in besonderer Weise auf die Herausforderungen der Zukunft vorbereitet. Technologische Kompetenz und finanzielle Ressourcen werden gezielt dazu verwendet, um heute und in der Zukunft Fahrzeuge mit herausragenden Effizienzeigenschaften und faszinierender Dynamik anbieten zu können.

Investition in die Zukunft: das Aerodynamische Versuchszentrum.

Bei keinem anderen Automobilhersteller sind die Bereitschaft und die Fähigkeit, dauerhaft und massiv in die Steigerung der Effizienz neuer Modelle zu investieren, stärker ausgeprägt als bei der BMW Group. Durch den Bau des neuen Aerodynamischen Versuchszentrums wird ein erheblicher Kompetenzgewinn erzielt, der mittel- und langfristig zur Stärkung der elementaren Qualitäten von BMW und MINI Modellen beiträgt. Die Optimierung der aerodynamischen Eigenschaften wirkt sich sowohl auf die Dynamik als auch auf die Effizienz positiv aus und beeinflusst darüber hinaus auch die Fahrstabilität. Sie hat daher schon heute einen hohen Stellenwert bei der Entwicklung neuer Modelle.

Durch den Bau des AVZ wird die Aerodynamikentwicklung als maßgebliche Säule von EfficientDynamics weiter gestärkt. Optimierte Aerodynamik hat direkte Auswirkungen auf möglichst günstige Verbrauchs- und Emissionswerte. Durch die Reduzierung des Luftwiderstands um 10 Prozent wird der vom Kunden in der Fahrpraxis erzielte Verbrauch um mehr als 2,5 Prozent gemindert. Als Bestandteil eines Gesamtpakets zur Effizienzsteigerung sind für die BMW Group auch derart geringere Verbrauchsreduzierungen von Bedeutung. Aufgrund der schon heute hervorragenden aerodynamischen Eigenschaften von Fahrzeugen der BMW Group ist zum Erschließen weiterer Optimierungspotenziale ein erheblicher Aufwand nötig. Mit den hohen für das AVZ getätigten Investitionen dokumentiert die BMW Group ihre Bereitschaft, auch in Zukunft alle Möglichkeiten auszuschöpfen, um noch günstigere Verbrauchs- und Emissionswerte zu realisieren.

Das AVZ schafft neue Möglichkeiten bei der Analyse von Aerodynamikeigenschaften – zugleich wird durch flexible Prozessabläufe und durch den Standort in unmittelbarer Nähe zum Forschungs- und Innovationszentrum (FIZ) die Integration in den Gesamtablauf der Fahrzeugentwicklung optimiert. Die Experten für Aerodynamik arbeiten künftig Tür an Tür und damit auch Hand in Hand mit Designern, Konstrukteuren, Motorenentwicklern und anderen Spezialisten.

Neben der verbesserten Einbindung in den Entwicklungsprozess bietet das AVZ weltweit einzigartige Möglichkeiten zu einer realitätsnahen Ermittlung von aerodynamischen Eigenschaften. So können Fahrzeugmodelle bereits in einem sehr frühen Stadium ihrer Entwicklung in einer Vielzahl von Situationen analysiert werden. Die Testszenarien orientieren sich am realen Fahrgeschehen. Dabei können nicht nur unterschiedliche Geschwindigkeiten dargestellt werden, sondern auch verschiedene Fahrsituationen wie zum Beispiel Kurvenfahrten unter Berücksichtigung der entsprechenden Karosseriebewegungen. Zusätzlich kann erstmals auch in der Entwicklung von Serienfahrzeugen die Interaktion mit anderen Fahrzeugen, unter anderem beim Überholvorgang, dargestellt und analysiert werden. Derartige Prüfverfahren waren bisher nur mit nahezu vollständig entwickelten Fahrzeugen auf der Teststrecke möglich. Künftig können die so gewonnenen Erkenntnisse weitaus früher in den Entwicklungsprozess einfließen und daher wirksam zur Optimierung eines neuen Modells genutzt werden.

Modernste Windkanaltechnik für realitätsnahe Messungen.

Mit dem neuen AVZ verfügt die BMW Group über die weltweit modernste Einrichtung dieser Art im Automobilbereich. Die Anlage umfasst einen Windkanal zur Analyse von Fahrzeugen in Originalgröße. Um die wichtigsten Effekte der Straßenfahrt nachbilden zu können, wird die Fahrbahn über eine aus 5 Laufbändern bestehende Bodensimulation modelliert. In einem zweiten Windkanal können die Modelle mithilfe einer in allen Raumrichtungen steuerbaren Halterung über dem weltweit größten Windkanal-Laufband bewegt werden. Diese Darstellung ermöglicht die Analyse der Fahrzeugströmung in unterschiedlichsten Fahrzuständen – ein Vorgehen, das bereits seit einigen Jahren im Motorsport üblich ist. Somit kann die Verknüpfung von Aerodynamik und Fahrdynamik nun auch bei der Entwicklung von Serienfahrzeugen intensiviert werden. Die Vielfalt der Einsatzszenarien und die Präzision der Messverfahren erreichen ein für Anlagen dieser Art einzigartiges Niveau. In beiden Windkanälen können Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 300 km/h erzeugt werden. Dies ermöglicht erstmals die Messung von Maßstabsmodellen unter korrekten physikalischen Bedingungen.

In den Bau und die Einrichtung des Aerodynamischen Versuchszentrums hat die BMW Group rund 170 Millionen Euro investiert. Innerhalb von rund drei Jahren entstand auf dem rund 25.000 m² großen Grundstück in unmittelbarer Nähe zum Münchner FIZ ein insgesamt fünf Stockwerke umfassendes Gebäude, dessen Architektur bereits in der Außenansicht deutliche Hinweise auf die in seinem Inneren eingesetzte Technologie vermittelt. So ist beispielsweise die runde Kontur des Gebläses für den horizontal angeordneten Strömungsring des Hauptwindkanals an der Südseite des Gebäudes zu erkennen. Ebenso tritt

der vertikal aufgestellte Strömungsring des Modellwindkanals im Zentrum des AVZ markant in Erscheinung. Die Mitarbeiter des Bereichs EfficientDynamics, in dem die Aerodynamik eine tragende Säule darstellt, waren vor dem Bezug des AVZ auf insgesamt fünf Standorte verteilt. Für gemeinsame Arbeiten im Windkanal mussten sie jeweils Entfernungen von bis zu 20 km bewältigen. Durch die Zusammenlegung wurden äußerst kurze Wege realisiert und neue Prozesse etabliert, die eine extrem effiziente Arbeitsweise ermöglichen. In dem neuen Gebäude werden rund 500 Mitarbeiter des Bereichs EfficientDynamics zusammenarbeiten.

Noch effizienter: neue Generation von Reihensechszylinder-Motoren mit Turboaufladung.

Parallel zum neuen AVZ präsentiert BMW die jüngsten Ergebnisse bei der Entwicklung besonders leistungsstarker und gleichzeitig beeindruckend wirtschaftlicher Reihensechszylinder-Motoren. Mit ihnen wird sowohl auf dem Gebiet der Benzinmotoren als auch auf dem Feld der Dieselantriebe eine nochmals günstigere Relation zwischen Kraftstoffverbrauch und Fahrleistungen erreicht. Bei beiden Motoren kommen von BMW entwickelte Technologien zur Steigerung von Effizienz und Dynamik zum Einsatz. Beide Antriebseinheiten sorgen für eine Kraftentfaltung, die das Niveau eines deutlich hubraumstärkeren Achtzylinder-Motors erreicht, während sowohl ihr Gewicht als auch ihre Verbrauchs- und Emissionswerte erheblich geringer ausfallen.

Beim neuen BMW TwinPower Turbo Benzinmotor mit einer Leistung von 225 kW/306 PS werden erstmals die Merkmale Turboaufladung, Direkteinspritzung und vollvariable Ventilsteuerung gemeinsam in einer Antriebseinheit integriert. Diese BMW exklusive Kombination eines Twin-Scroll-Turboladers mit High Precision Injection und VALVETRONIC verhelfen dem neuen, für den weltweiten Einsatz konzipierten Motor nicht nur zu einem außergewöhnlich spontanen Ansprechverhalten, sondern auch zu herausragend niedrigen Verbrauchs- und Emissionswerten. Der 3 l große Sechszylinder stellt sein maximales Drehmoment von 400 Nm bereits bei einer Motordrehzahl von 1.200 min⁻¹ zur Verfügung und hält es bis zum Wert von 5.000 min⁻¹ aufrecht. Im Vergleich zu dem in mehreren Baureihen etablierten Reihensechszylinder-Motor mit Twin Turbo und High Precision Injection ergibt sich zugleich eine nochmalige Verbrauchsreduzierung um bis zu 9 Prozent.

Mit der Einführung einer zusätzlichen Topvariante des bereits im BMW 730d und im BMW 330d eingesetzten Sechszylinder-Dieselmotors demonstriert BMW einmal mehr das außergewöhnliche Potenzial dieser Antriebsart. Auch in der neuen Generation des Reihensechszylinder-Diesels wird durch die Kombination einer Stufenaufladung mit Common-Rail-Direkteinspritzung auf

besonders effiziente Weise für eine faszinierend dynamische Kraftentfaltung gesorgt. Umfangreiche Innovationen im Bereich des Vollaluminium-Grundmotors, der beiden Turbolader und des Einspritzsystems bewirken – ganz im Sinne von BMW EfficientDynamics – sowohl ein deutliches Leistungsplus als auch reduzierte Verbrauchs- und Emissionswerte. Der Wirkungsgrad des Aufladesystems wurde nochmals erhöht. Außerdem steigt die Effizienz der Kraftstoffversorgung durch Piezo-Injektoren, die mit einem Einspritzdruck von bis zu 2.000 bar agieren. Der neue 3 l große BMW TwinPower Turbo Dieselmotor erzeugt eine Höchstleistung von 225 kW/306 PS bei einer Motordrehzahl von 4.400 min⁻¹ und stellt sein maximales Drehmoment von 600 Nm bereits bei 1.500 min⁻¹ zur Verfügung. Mit diesen Werten übernimmt er die Spitzenposition als sportlichster Sechszylinder-Dieselantrieb der Welt vom Vorgängermotor, den er zugleich beim Kraftstoffkonsum und beim CO₂-Ausstoß um jeweils rund 4 Prozent unterbietet.

Das neue Achtgang-Automatikgetriebe von BMW: auf intelligente Weise zu mehr Gängen, höherer Effizienz und gesteigerter Dynamik.

Ein weiteres Beispiel dafür, wie herausragende Ingenieurskunst zu einem deutlichen Plus an Fahrfreude und gleichzeitig zu maßgeblichen Effizienzsteigerungen führt, ist das neue Achtgang-Automatikgetriebe von BMW. Das innovative Kraftübertragungssystem, das erstmals im BMW 760i und im BMW 760Li mit Zwölfzylinder-Motor vorgestellt wurde, zeichnet sich durch seinen außergewöhnlich hohen Wirkungsgrad aus. Gleichzeitig fördert seine Charakteristik sowohl den Komfort als auch die Dynamik des jeweiligen Fahrzeugs. Dabei wurde der nochmalige Fortschritt gegenüber den für ihre hohe Schaltdynamik und Effizienz bekannten Sechsgang-Automatikgetrieben von BMW auf besonders intelligente Weise erzielt. Die beiden zusätzlichen Gänge führen zu einer größeren Spreizung des Getriebes und gleichzeitig zu kleineren Drehzahlsprüngen beim Wechsel zwischen den einzelnen Übersetzungsstufen. Dank eines innovativen Radsatzaufbaus war es möglich, die Zahl der zusätzlich erforderlichen Bauteile und damit auch das Gewicht des neuen Achtgang-Automatikgetriebes auf ein Minimum zu reduzieren. Insgesamt führen der auf den Bereich niedrigster Drehzahlen beschränkte Wandler-schlupf, der hohe innere Wirkungsgrad, die geringen Reibwertverluste durch jeweils nur zwei geöffnete Kupplungen, die längere Übersetzung der höheren Gänge und die verbesserte Schwingungsentkopplung, die das Fahren bei niedrigen Drehzahlen begünstigt, zu einem Verbrauchsvorteil gegenüber der Sechsgang-Automatik von rund 6 Prozent.

Zusätzlich unterstützt das Achtgang-Automatikgetriebe die Dynamik des Motors, indem es bei nahezu allen Schaltvorgängen einschließlich des Zurückschaltens um mehr als einen Gang das Öffnen und Schließen von jeweils nur einer Kupplung notwendig macht. Damit weist es ein bisher nur bei Doppelkupplungsgetrieben realisiertes Qualitätsmerkmal auf und kombiniert dieses mit den für den Kunden relevanten Vorzügen einer Automatik, zu der beispielsweise das dynamische Beschleunigungsvermögen aus niedrigen Drehzahlen gehört.

Darüber hinaus stellt die neue Achtgang-Automatik eine besonders zukunftsorientierte Lösung für die Kraftübertragung bei Premium-Automobilen dar. Es kann mit Motoren unterschiedlichster Bauart und Leistung kombiniert werden, neben dem Einsatz in Fahrzeugen mit Hinterradantrieb ist auch eine Integration in Allradmodellen möglich. Darüber hinaus bietet das Achtgang-Automatikgetriebe die Option einer Kombination mit einem Hybridantrieb. Diese Verbindung gewährleistet Effizienz und Dynamik auf einem ganz neuen Niveau, zeugt von der Zukunftssicherheit dieses Konzepts und wird noch im Laufe des Jahres 2009 die Serienreife erreichen.

Die neuen Möglichkeiten, die das Aerodynamische Versuchszentrum bietet, werden ebenso wie die aktuellen und künftigen Innovationen auf dem Gebiet der Antriebstechnologie dazu beitragen, den Zielkonflikt zwischen wachsender Dynamik und optimierter Wirtschaftlichkeit in allen Fahrzeugsegmenten immer wieder aufs Neue aufzulösen. Damit verfügt die BMW Group über nochmals optimierte Voraussetzungen, um auch in der Zukunft Fahrzeuge entwickeln zu können, die durch ihr Design und ihre Fahreigenschaften faszinieren und zugleich mit vorbildlichen Verbrauchs- und Emissionswerten überzeugen.



2. Weniger Luftwiderstand, weniger Verbrauch und Emissionen, mehr Freude am Fahren. Innovative Aerodynamik- entwicklung als Beitrag zu EfficientDynamics.

0,27 beträgt der Luftwiderstandsbeiwert für das aktuelle BMW 320i Cabrio mit geschlossenem Dach. Diese Messgröße, zumeist als c_w - beziehungsweise c_x -Wert angegeben, gilt als entscheidendes Merkmal für die aerodynamischen Qualitäten eines Fahrzeugs. Tatsächlich bildet ein möglichst geringer Luftwiderstandsbeiwert die Grundlage für dynamische und auch für effiziente Fortbewegung. Aus ihm sowie aus der Querschnittsfläche des Fahrzeugs setzt sich der Luftwiderstand zusammen, zu dessen Überwindung schon bei Stadtverkehrstempo ein Großteil der Antriebskraft aufgewendet werden muss. Günstige Aerodynamikwerte wirken sich folglich unmittelbar auf das Verbrauchsverhalten aus. Ein um ein Zehntel gesenkter Luftwiderstand führt in der Fahrpraxis des Kunden zu einer durchschnittlichen Verbrauchsreduzierung um mehr als 2,5 Prozent. Aerodynamik-Entwicklung ist daher ein wichtiger Bestandteil der Entwicklungsstrategie EfficientDynamics. Dabei wurden schon in der Vergangenheit mit jeder neuen Modellgeneration erhebliche Fortschritte erzielt. So lag beispielsweise der Luftwiderstandsbeiwert für das BMW 320i Cabrio des Modelljahrs 1987 noch bei 0,39. Mit den Möglichkeiten, die das neue Aerodynamische Versuchszentrum der BMW Group bietet, wird dieser Weg nun konsequent fortgesetzt.

Moderne Aerodynamikentwicklung berücksichtigt neben dem Luftwiderstand noch eine Vielzahl weiterer Kriterien. Die Optimierung von Auftriebskräften zugunsten von maximaler Fahrstabilität, eine präzise Zufuhr von Kühlluft zum Motor, zum Getriebe und zur Bremsanlage, die Reduzierung von Windgeräuschen und möglichst geringe Verschmutzungen aufgrund von Verwirbelungen gehören zu den Zielen, die heute mit modernster Technik und detaillierten Analysemethoden verfolgt werden. Bei der Entwicklung von Cabrio- und Roadster-Modellen kommt zusätzlich noch die gezielte Minimierung störender Zuglufteinflüsse im Innenraum bei geöffnetem Dach hinzu.

Auf dem Gebiet der Aerodynamik sind die Anforderungen, die an moderne Automobile des Premium-Segments gestellt werden, höher und vielfältiger geworden. Mit dem neuen Aerodynamischen Versuchszentrum (AVZ) verfügt die BMW Group jetzt über ideale Voraussetzungen, um die herausragende Qualität neuer Modelle auch in diesem Bereich zu gewährleisten.

Im Windkanal und am Computer: Luftströmung präzise analysiert.

Durch präzise Strömungsberechnung und realitätsnahe Versuche im Windkanal lässt sich die Wechselwirkung zwischen dem Fahrzeug und der Luftströmung unter verschiedensten Bedingungen analysieren. Um bereits frühzeitig Erkenntnisse über die aerodynamischen Eigenschaften eines neuen Fahrzeugs zu gewinnen, werden dreidimensionale Maßstabsmodelle der Designentwürfe im Modellwindkanal, dem so genannten Aerolab, untersucht und miteinander verglichen. Im weiteren Verlauf der Entwicklung werden dann die aus einer Spezialtonmasse gefertigten Clay-Modelle in Originalgröße getestet. An ihnen können Detailoptimierungen auf einfache Weise umgesetzt werden. Dabei arbeiten Designer und Aerodynamikexperten zusammen, um die jeweiligen Zielsetzungen in enger Abstimmung zueinander umsetzen zu können. Erst im Anschluss daran entstehen vollständige Fahrzeugmodelle. Sie werden im großen Windkanal des AVZ getestet.

Parallel zur Arbeit im Windkanal werden auch computergestützte Analysemethoden eingesetzt. Die Entwickler der BMW Group nutzen die so genannte CFD-Berechnung (Computational Fluid Dynamics), um die aerodynamischen Eigenschaften eines virtuellen 3-D-Modells zu ermitteln. Mit hochkomplexen Programmen können sie jene Fahrzeugbereiche erkennen, an denen unerwünschte Verwirbelungen, Luftstromabriss oder Druckverluste entstehen, die den Luftwiderstand erhöhen. Diese Erkenntnisse nutzen sie, um den Entwicklungsprozess bereits in einer frühen Phase in Richtung auf ein aerodynamisches Optimum zu lenken.

CFD-Berechnungen und Windkanal-Analysen werden präzise aufeinander abgestimmt. Dies erfolgt vor allem aus zeitlichen Gründen – wobei stets der Mensch das Tempo vorgibt. Obwohl den Entwicklern der BMW Group äußerst leistungsfähige Computer zur Verfügung stehen, führt die enorme Datenmenge dazu, dass jeder Berechnungsvorgang bis zu drei Arbeitstage in Anspruch nimmt. Im Windkanal können in der gleichen Zeitspanne fast 100 Messungen durchgeführt werden.

Aerolab der BMW Group: die Straße in den Prüfstand geholt.

Effizient und konsequent werden auch im neuen Aerolab der BMW Group die Weichen für günstige aerodynamische Eigenschaften gestellt. Dort können die dreidimensionalen Modellentwürfe künftiger Serienfahrzeuge bereits in einem frühen Entwicklungsstadium analysiert werden. Neben dem Luftwiderstand kann im Aerolab auch der Einfluss aerodynamischer Kräfte auf die Fahrstabilität ermittelt werden. Dabei lassen sich unterschiedliche Fahrsituationen realitätsnah simulieren. Dank präziser Messtechnik und hoher Windgeschwindigkeiten werden schon anhand der Modelle außergewöhnlich realitätsnahe Erkenntnisse gewonnen.

Darüber hinaus ist das Aerolab als weltweit einzige Einrichtung dieser Art darauf ausgelegt, zeitgleich zwei Fahrzeugmodelle unter Anströmung zu analysieren. Diese Versuche geben zum Beispiel Aufschluss darüber, wie sich Luftströmungen im Verlauf eines Überholvorgangs verändern und gegenseitig beeinflussen. Vergleichbare Szenarien waren bisher nur mit fahrbereiten Prototypen auf einer Teststrecke darstellbar. Im Aerolab haben die Entwickler nun erstmals die Möglichkeit, ein solches Straßenszenario in den Prüfstand zu holen, um unter allen Bedingungen einen Gewinn an Fahrkomfort und Fahrstabilität zu erreichen.

Detailoptimierung im neuen Windkanal: näher an der Realität.

Für die präziseste Abbildung der realen Strömungsverhältnisse auf der Straße sorgt der große Windkanal des neuen Aerodynamischen Versuchszentrums, in dem Fahrzeugmodelle in Originalgröße, Prototypen und Serienfahrzeuge untersucht werden. Dort trifft der von einem Gebläse mit einem Durchmesser von 8 m erzeugte Windstrom nach zweifacher Umlenkung auf das an seiner Messposition verankerte Fahrzeug. Die Größe der Messstrecke, eine präzise Gleichrichtung im Austrittsbereich und eine Düsenöffnung mit einem Format von bis zu 25 m² gewährleisten unverfälschte Strömungsverhältnisse.

Der Windkanal verfügt über ein Laufbandsystem mit fünf Bändern. Die Räder des auf der Messstrecke fixierten Fahrzeugs stehen auf kleinen Laufbändern, mit deren Hilfe die Drehbewegung der Fahrzeugräder simuliert wird. Die Position der Laufbänder kann in Breite und Länge variiert und so an unterschiedliche Fahrzeuggrößen angepasst werden. Zusätzlich wird mithilfe eines breiten Laufbands zwischen den sich drehenden Rädern auch die Luftströmung im Unterflurbereich originalgetreu dargestellt. Mithilfe der fünf Laufbänder lässt sich der so genannte Flow-Split, also die Anteile der Strömung, die über und unter dem Fahrzeug sowie seitlich daran entlang fließen, wesentlich genauer erfassen als in einem konventionellen Windkanal. Die Breite des zentralen Laufbands kann der Spurweite des zu untersuchenden Fahrzeugs entsprechend angepasst werden. Aufgrund seiner Länge von 10 m bietet es zudem ideale Voraussetzungen für konstante, den realen Verhältnissen auf der Straße entsprechenden Strömungsbewegungen. So können die Entwickler genauestens erkennen, wie sich Detailoptimierungen auf den Luftwiderstand, die aerodynamische Balance oder die Zu- und Abfuhr von Kühlluft auswirken.

Die maximale Anströmgeschwindigkeit im neuen Windkanal beträgt 300 km/h. Dies führt beispielsweise bei der Untersuchung von Motorsportfahrzeugen auch im Hochgeschwindigkeitsbereich zu realitätsnahen Messungen.

AVZ ermöglicht neuen Entwicklungsschub auf dem Gebiet der Aerodynamik.

Durch den Einsatz modernster Messtechnik und innovativer Testverfahren hat die BMW Group in den vergangenen Jahrzehnten auch auf dem Gebiet der Aerodynamik immer neue Fortschritte erzielt. Die Gegenüberstellung des aktuellen BMW 3er Cabrio mit dem Vorgänger aus dem Modelljahr 1987 belegt dies auf vielfältige Weise.

Das neue Aerodynamische Versuchszentrum bildet jetzt die Grundlage für einen weiteren Entwicklungsschub. Gesteigerte aerodynamische Qualität ist dabei das Ergebnis von gezielten Verbesserungen auf vielen Gebieten, die in erster Linie der Effizienz, aber auch dem Fahrerlebnis und dem Komfort zugute kommen. Bei der Optimierung des Luftwiderstands richten die Entwickler ihr Augenmerk insbesondere auf den Unterboden sowie auf die Räder und Radhäuser. In diesen Bereichen entstehen auch bei modernen Fahrzeugen rund 50 Prozent des Gesamtluftwiderstands. Deshalb ist die originalgetreue Darstellung realer Fahrsituationen im großen Windkanal des AVZ von großer Bedeutung. Präziser als jemals zuvor lassen sich dort auch die Auftriebskräfte ermitteln, die die Fahrstabilität beeinflussen.

Auch die bei Cabrio-Modellen eingesetzten Windschotts unterliegen detaillierten strömungstechnischen Analysen. Sie dienen dazu, störende Rückströmungen in den Fahrgastraum zu unterbinden. Die Arbeit im Windkanal ermöglicht eine präzise Bestimmung der idealen Position und Größe des Windschotts. Das Resultat: Im neuen BMW 3er Cabrio herrscht nach dem Aufstellen des Windschotts mehr denn je zugluftfreies Offenfahrvergnügen.

2.1 Technische Daten im Vergleich.

		BMW 320i Cabrio (1987)	BMW 320i Cabrio (2009)
Karosserie			
Anzahl Türen/Sitzplätze		2/4	2/4
Länge/Breite/Höhe (leer)	mm	4.325/1.645/1.370	4.580/1.782/1.384
Radstand	mm	2.570	2.760
Spurweite vorne/hinten	mm	1.407/1.415	1.500/1.513
Leergewicht nach DIN	kg	1.280	1.595
Zuladung nach DIN	kg	400	430
zul. Gesamtgewicht	kg	1.680	2.025
Kofferrauminhalt bei offenem/ geschlossenem Dach	l	312/312	210/350
Aerodynamik			
Luftwiderstandsbeiwert c_x	Dach geschlossen	0,39	0,27
Querschnittsfläche A	m ²	1,86	2,08
Motor			
Bauart/Zylinder		Reihe/6	Reihe/4
Hubraum	cm ³	1.990	1.995
Leistung (bei Drehzahl)	kW/PS (min ⁻¹)	95/125 (6.000)	125/170 (6.700)
max. Drehmoment (bei Drehzahl)	Nm (min ⁻¹)	164 (4.300)	210 (4.250)
Verdichtung		8,8 : 1	12 : 1
Fahrwerk			
Vorderradaufhängung		Ein-Gelenk-Federbeinachse mit Vorlaufversatz, kleiner positiver Lenkroll- radius, Querkraftausgleich, Bremsnickreduzierung	Aluminium-Doppelgelenk- Zugstrebenachse mit Federbeinen, Querkraftausgleich, Bremsnickreduzierung
Hinterradaufhängung		Einzelradaufhängung an Schräg- lenkern, getrennte Federn und Dämpfer, Anfahrnickausgleich	Stahl-Leichtbau- Fünflenker-Achse mit jeweils zwei Einzellenkern oben und unten, Karosserieanbindung über Schubstreben, Anfahr- und Bremsnickausgleich
Bremsen vorn		Einkolben-Faustsattel- Scheibenbremsen	Einkolben-Faustsattel- Scheibenbremsen
Durchmesser	mm		312 x 24
Bremsen hinten		Trommelbremsen	Einkolben-Faustsattel- Scheibenbremsen
Durchmesser	mm		300 x 20
Fahrstabilitätssysteme		ABS (optional)	Dynamische Stabilitäts Control (DSC) einschl. Traktionsmodus (DTC), ABS und Dynamischer Bremsen Control (DBC)
Lenkung		Zahnstangen-Servolenkung elektromech. Servolenkung (EPS)	
Getriebeart		5-Gang-Handschaftgetriebe	6-Gang-Handschaftgetriebe
Reifen		195/65 R14 H	225/45 R17 91W RSC
Felgen		5 ½ J x 14/Stahl	8J x 17/Leichtmetall
Fahrleistungen, Verbrauch			
Beschleunigung 0–100 km/h	s	11,5	9,1
Höchstgeschwindigkeit	km/h	195	228
Verbrauch nach EU insgesamt	l/100 km	ca. 11,2	6,9



3. Straße im Prüfstand: das neue Aerolab der BMW Group und die Entwicklung der EfficientDynamics Maßnahme Air Curtain.

Jede Fahrzeugentwicklung ist ein Blick in die Zukunft. Und die Frage, die sich dabei stellt, ist immer wieder die gleiche: Welchen Eindruck hinterlässt das neue Modell beim Kunden? Design und Komfort, Fahrdynamik und Effizienz – erst auf der Straße beweist sich endgültig die Qualität dessen, was Entwickler über Monate und Jahre hinweg erdacht und realisiert haben. Als weltweit erfolgreichster Hersteller von Premium-Automobilen nutzt die BMW Group vielfältige Methoden, um die Entwicklung neuer Modelle präzise auf die Wünsche anspruchsvoller Kunden abzustimmen. Auch die Optimierung der Aerodynamik orientiert sich an Zielvorgaben, in denen sich unterschiedlichste Kundeninteressen widerspiegeln. Als Bestandteil der Entwicklungsstrategie EfficientDynamics fördert sie die Freude am Fahren bei möglichst geringen Verbrauchs- und Emissionswerten. Darüber hinaus tragen die aerodynamischen Eigenschaften auch zur Fahrstabilität und zum Komfort bei.

Die herausragende, in jahrzehntelanger Erfahrung gewachsene Kompetenz der BMW Group auf dem Gebiet der Aerodynamik wird nicht nur bei der Entwicklung neuer Modelle, sondern auch für die Schaffung zukunftsweisender Analysemethoden genutzt. Dabei geht praxisorientierte Entwicklungsarbeit Hand in Hand mit wissenschaftlicher Expertise. Das grundlegende Know-how hat auch die Konzeption und Ausstattung des neuen Aerodynamischen Versuchszentrums (AVZ) beeinflusst. Mit dem AVZ verfügt die BMW Group jetzt über modernste technische Voraussetzungen, um weitere Fortschritte in den aerodynamischen Eigenschaften künftiger Modelle erzielen zu können. Sowohl im großen Windkanal als auch im Aerolab können die entsprechenden Untersuchungen unter außergewöhnlich realitätsnahen Bedingungen durchgeführt werden. Mit beiden Einrichtungen kommen die Entwickler daher ihrem Ziel, die Straße in den Prüfstand zu holen, einen entscheidenden Schritt näher.

Das neue Aerolab: perfekte Bedingungen für vielfältige Analysen.

Sowohl mit seinen Abmessungen als auch mit seiner messtechnischen Ausstattung bietet das Aerolab ideale und im Automobilbereich einzigartige Bedingungen für grundlegende Forschungs- und Entwicklungsprozesse. Sein Messraum, das so genannte Plenum, ist mit einer Länge von 20, einer Breite von 14 und einer Höhe von 11 m groß genug, um neben Fahrzeugmodellen im Modellmaßstab auch Prototypen im Originalformat zu untersuchen zu können. Die Austrittsdüse des Windkanals misst 14 m². Störende Einflüsse der Düse,

des Windkanal-Kollektors und der Außenwände fallen daher verschwindend gering aus. Für besonders aussagekräftige Ergebnisse sorgt zudem der außergewöhnlich konstante Druckverlauf innerhalb der Messstrecke.

Zeitgleich können sogar zwei Fahrzeugmodelle untersucht werden, was zu völlig neuen und für den Alltagsverkehr höchst relevanten Analyseverfahren führt. Das Aerolab der BMW Group ist die einzige Einrichtung ihrer Art im Automobilbereich, die es ermöglicht, einen Überholvorgang zu simulieren und die dabei auftretenden, sich gegenseitig beeinflussenden Luftströmungen zu messen.

Frühzeitige Weichenstellung fördert effiziente Entwicklungsprozesse.

Im Aerolab werden bereits in einer frühen Phase des Entwicklungsprozesses dreidimensionale Modelle des künftigen Serienfahrzeugs im Modellmaßstab von beispielsweise 1 : 2 getestet. Auf diese Weise können schon frühzeitig die Weichen für optimale aerodynamische Eigenschaften gestellt werden. Damit wird ein maßgeblicher Beitrag zu einem möglichst effizienten Entwicklungsprozess geleistet.

Aufgrund des großen Windgeschwindigkeitspotenzials von bis zu 300 km/h lassen sich die Ergebnisse der Messungen an Modellentwürfen zuverlässig auf Fahrzeuge in Originalgröße übertragen. Die dafür maßgebliche Berechnungsformel liefert der als Reynolds-Ähnlichkeit bezeichnete strömungsphysikalische Grundsatz, nach dem das Produkt aus Fahrzeuglänge und Windgeschwindigkeit übereinstimmen muss, um von einem kleinen Modell auf ein großes Fahrzeug zu schließen. Dies bedeutet, dass ein Modell im Maßstab von 1 : 2 mit doppelter Windgeschwindigkeit angeströmt werden muss wie das Originalfahrzeug, um zu den gleichen Ergebnissen zu kommen. So können im Aerolab anhand eines 50-Prozent-Modells bei einer Windgeschwindigkeit von 280 km/h präzise Aussagen über das aerodynamische Verhalten eines künftigen Serienfahrzeugs bei einer Geschwindigkeit von 140 km/h getroffen werden. Bei dieser Geschwindigkeit wird, gemäß dem für alle Automobilhersteller einheitlich geltenden Standard, der Luftwiderstand eines Fahrzeugs ermittelt.

Gezielte Suche nach aerodynamischem Optimierungspotenzial.

Im Aerolab werden die Fahrzeugmodelle frei schwebend an einer Aufhängung, dem so genannten Schwert, in den Luftstrom geführt. An der Verbindungsstelle zum Testobjekt ermittelt eine Präzisionswaage auch kleinste Bewegungen in jeder Richtung. In der Messwarte des Aerolabs können die Versuchingenieure diese Daten zeitgleich ablesen und für spätere Analysen aufzeichnen. Während der Messung befindet sich das Fahrzeugmodell in unmittelbarer Bodennähe, wo durch ein 9 m langes und 3,2 m breites Laufband die Fahrzeugbewegung entsprechend der eingestellten Windgeschwindigkeit simuliert wird. Erst

dadurch verteilt sich die Luftströmung seitlich und unterhalb des Fahrzeugs im Windkanal nach dem gleichen Muster wie auf der Straße. Auch die Drehbewegung der Räder hat einen großen Einfluss auf das Windprofil in diesem Bereich und ist daher eine wichtige Voraussetzung für realitätsnahe Messergebnisse.

Diese ebenfalls einzigartige Versuchsanordnung sorgt für realitätsnahe und vielfältige Untersuchungsszenarien, indem sie die Darstellung aller im Alltag relevanten Fahrsituation ermöglicht. Neben dem Luftwiderstand bei Geradeausfahrt und in Kurven lassen sich die Seitenwindempfindlichkeit sowie Auf- und Abtrieb bei unterschiedlicher Fahrzeugneigung ermitteln. Mit einer bisher unerreichten Präzision kann so insbesondere der Einfluss der Luftströmung auf die Fahrstabilität untersucht werden.

Zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen wird im Rahmen der aerodynamischen Entwicklung ein möglichst geringer Luftwiderstand angestrebt. Dieser setzt sich aus der Querschnittsfläche und dem Luftwiderstandsbeiwert zusammen. Während die Querschnittsfläche durch Art und Größe des jeweiligen Fahrzeugs bestimmt wird, kann der Luftwiderstandsbeiwert sowohl über die generelle Formgebung als auch über zahlreiche Details optimiert werden.

So wird der Luftwiderstand zu etwa 40 Prozent durch die Proportionen und die Form eines Fahrzeugs beeinflusst, wobei jeweils ein Viertel dieses Anteils auf die Oberflächenbeschaffenheit sowie auf Details wie Spiegel, Leuchten, Kennzeichen oder Antennen entfallen. Weitere 10 Prozent des Gesamtwiderstands resultieren aus Funktionsöffnungen, die Luft gezielt an die Bremsen, den Motor oder das Getriebe leiten. Mit weiteren 20 Prozent trägt der Unterboden zum Luftwiderstand bei, 30 Prozent sind den Rädern und Radhäusern zuzuordnen.

Optimierte Luftführung im Bereich der Radhäuser: Air Curtain.

Die wirklichkeitstreuere Nachbildung der Straßenfahrt mithilfe eines bewegten Bodens und drehenden Rädern unter auch im Modellmaßstab physikalisch korrekten Randbedingungen versetzt die Aerodynamikentwickler der BMW Group erstmals in die Lage, das hohe Optimierungspotenzial im Bereich der Radhäuser im Detail zu erkennen und konsequent zu nutzen. Aktuell wird daher im Aerolab an der Entwicklung einer neuen EfficientDynamics Maßnahme gearbeitet, die eine gezielte Luftführung im Bereich des Frontends bewirkt und damit für einen reduzierten Luftwiderstand sorgt.

Diese Innovation umfasst Öffnungen im äußeren Bereich der Frontschürze, durch die einströmende Luft in zwei Schächte geleitet wird. Sie sind etwa 10 cm hoch und 3 cm breit und werden so gestaltet, dass die Strömung jeweils entlang der Innenseite der Frontschürze in einem geschlossenen Kanal bis in die Radhäuser geleitet und dort beim Wiederaustritt durch eine sehr schmale Öffnung mit hoher Geschwindigkeit knapp an den äußeren Radflanken vorbeigelenkt wird. Der austretende Strahl legt sich wie ein Vorhang seitlich über die Vorderräder und wird daher als Air Curtain bezeichnet. Der Air Curtain verringert den Luftwiderstand durch eine verbesserte Abdeckung der Vorderräder. Dieser Effekt ist im Aerolab deutlich zu messen.

Die aerodynamische Abschirmung der Vorderräder erfolgt ohne den Einsatz von zusätzlichen Bauteilen im Bereich der Radhäuser. Von außen sind lediglich die zusätzlichen Öffnungen an der Frontschürze erkennbar. Der Air Curtain stellt daher eine unauffällige, aber überaus wirksame EfficientDynamics Maßnahme dar. Die Weiterentwicklung des Air Curtain zur Serienreife ist nur dank der neuen technischen Möglichkeiten im Aerolab der BMW Group möglich.

3.1 Daten und Fakten: das neue Aerodynamische Versuchszentrum der BMW Group.

Baudaten

Baubeginn	Dezember 2005
Richtfest	Februar 2007
Wind an im Aerolab	Oktober 2007
Wind an im Hauptwindkanal	Dezember 2007
Betonmenge insgesamt	36.000 m ³
Betonstahlmenge insgesamt	6.200 t
Fassadenfläche insgesamt	18.000 m ²
Gesamtinvestitionen	
Gebäude, Technik und Ausstattung	170 Millionen Euro

Gebäudedaten

Grundstücksfläche	25.000 m ²
Gebäuelänge	120 m
Gebäudebreite	90 m
Gebäudehöhe	22 m
Anzahl Stockwerke	5
Bruttogrundfläche	32.500 m ²
Bruttoraumvolumen	20.000 m ³
Arbeitsplätze gesamt	500

Hauptwindkanal

Grundfläche (Länge/Breite)	84 x 40 m
Strömungsverlauf	horizontal
Gebäusedurchmesser	8 m
Gebäusedrehzahl	300 min ⁻¹
Gebäuseleistung	4,4 MW
max. Windgeschwindigkeit	300 km/h
Gesamtvolumen Luftführung	18.000 m ³
Größe der Austrittsdüse	18–25 m ² , elektrisch verstellbar
Größe der Messstrecke (Länge/Breite/Höhe)	22 x 16 x 13 m
Anzahl der Laufbänder	5
Größe des Unterflurlaufbands (Länge/Breite)	10 m x 1–1,10 m (variable Breite)

Aerolab

Grundfläche (Länge/Breite)	74 x 16 m
Strömungsverlauf	vertikal
Gebäusedurchmesser	6,30 m
Gebäusedrehzahl	400 min ⁻¹
Gebäuseleistung	3,8 MW
max. Windgeschwindigkeit	300 km/h
Gesamtvolumen Luftführung	6.000 m ³
Größe der Austrittsdüse	14 m ²
Größe der Messstrecke (Länge/Breite/Höhe)	20 x 1.411 m
Anzahl der Laufbänder	1
Größe des Unterflurlaufbands (Länge/Breite)	9 m/3,20 m

4. Aerodynamik und Design im Kontext der Entwicklungsstrategie EfficientDynamics.



Schon aus der sportlichen Historie der Marke wird ersichtlich, dass die Optimierung der Luftströmung als Mittel zu mehr Effizienz und Fahrdynamik für BMW Tradition hat. So war die aerodynamische Qualität des BMW 328 Mille Miglia Touring Coupé einer der Faktoren, die schließlich zum Gesamtsieg beim legendären Rennen des Jahres 1940 führten. Seitdem basierten viele Erkenntnisse über aerodynamische Zusammenhänge auf Erfahrungen, die im Rennsport gesammelt wurden. Davon profitiert auch die Entwicklung von Serienfahrzeugen. In enger Abstimmung arbeiten Designer und Aerodynamikentwickler gemeinsam daran, die gewonnenen Erkenntnisse in die Gestaltung neuer Modelle einfließen zu lassen. Die entsprechenden Fortschritte sind bei jeder neuen Modellgeneration messbar und auch im Fahrverhalten erlebbar.

In einem offenen Fahrzeug sind sie darüber hinaus auch deutlich spürbar. Cabrios und Roadster der Marke BMW zeichnen sich traditionell durch eine horizontal ausgerichtete, flache Brüstungslinie aus. Charakteristisch ist auch der großzügige Abstand zwischen dem Frontscheibenrahmen und den Köpfen des Fahrers und des Beifahrers, der vor allem aus der weit zurückversetzten Sitzposition resultiert. Das einzigartige Fahrerlebnis in einem offenen BMW schließt daher den intensiven Kontakt mit dem Fahrtwind ein. Umso anspruchsvoller gestaltet sich die Aufgabe, zwischen dem genussvollen Frischlufterlebnis und störenden Zuglufteinflüssen im Innenraum zu differenzieren. Der Fahrtwind wird gezielt gelenkt, um die Freude am Fahren zu steigern, statt sie zu beeinträchtigen.

Aerodynamik als Basis für Erfolge im Motorsport.

Der BMW 328 beeindruckt noch heute durch die konsequente Umsetzung von Prinzipien, die auch in der modernen Entwicklungsstrategie EfficientDynamics einen hohen Stellenwert einnehmen. Schon damals war klar, dass sich eine optimierte Effizienz auch auf die Dynamik des Fahrzeugs positiv auswirkt. So wurde es möglich, mit vergleichsweise geringer Motorleistung ein Höchstmaß an Fahrdynamik und Wettbewerbsfähigkeit im Rennsport zu erzielen. Das Serienfahrzeug des BMW 328 ist zudem ein prägnantes Beispiel für konstruktiven Leichtbau und Aerodynamik. Neben einem nahezu vollständig glatten Unterboden wies dieses Fahrzeug auch abgedeckte Hinterräder auf. Das Siegerfahrzeug der Mille Miglia besaß darüber hinaus eine konsequent aerodynamisch gestaltete Aluminiumkarosserie.

In den 1930er-Jahren verfügte BMW noch nicht über eine aerodynamische Versuchseinrichtung. Dennoch nutzen die Entwickler schon damals die modernsten verfügbaren Methoden und aktuellste wissenschaftliche Erkenntnisse aus dem Bereich der Strömungsforschung. Die Zusammenarbeit zwischen BMW und dem Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren (FKFS) brachte sowohl die Wissenschaft als auch die Entwicklung von Rennsportfahrzeugen maßgeblich voran. So verfügte der damals im FKFS eingesetzte Windkanal als absolutes Novum der damaligen Zeit bereits über ein Laufband, mit dem die Strömungsverhältnisse auf der Straße simuliert werden konnten. Auch in der methodischen Vorgehensweise legten die BMW Ingenieure wichtige Grundlagen für nachfolgende Entwicklergenerationen.

Ein Beispiel für die produktive Nähe zwischen Wissenschaft und Fahrzeugentwicklung ist der am FKFS durchgeführte Vergleich zwischen dem BMW 328 Mille Miglia Touring Coupé und einer auf gleicher Basis vom Aerodynamik-Pionier Wunibald Kamm konzipierten Rennlimousine. Beide Fahrzeuge verfügten über eine Grundform, die an das Prinzip von Flügelprofilen angelehnt war. Während das Touring Coupé die nach dem Stromlinienforscher und einstigen Luftschiffer Paul Jaray benannte Linienführung mit dem damals üblichen lang auslaufenden Heck aufweist, zeichnet sich die Kamm-Version durch ein gekürztes Tragflügelprofil aus. Bei den Vergleichsmessungen und Optimierungen wurden wichtige Hinweise für weiter gehende Forschungen, aber auch unmittelbar in der Motorsportpraxis anwendbare Erkenntnisse gewonnen.

BMW Roadster: klassische Proportionen, markentypische Formen.

Die lange und erfolgreiche Tradition der BMW Roadster beeinflusst auch aktuelle Modelle der Marke. So wird das Design des neuen BMW Z4 sowohl von den klassischen Proportionen eines offenen Zweisitzers als auch von der markentypischen Formensprache geprägt. Die anspruchsvolle Flächengestaltung verleiht dem jüngsten Vertreter der BMW Roadstergeschichte eine aus jeder Perspektive erkennbare spannungsvolle Eleganz. Sein Erscheinungsbild entspricht einer aus einem Guss geformten Fahrzeugskulptur.

Als moderne Interpretation des klassischen Roadsters weist der neue BMW Z4 die typische Kombination einer langen Motorhaube mit einem weiten Radstand, groß dimensionierten Rädern, knappen Überhängen und einer tiefen Fahrerposition nahe der Hinterachse auf. Das daraus resultierende Fahrerlebnis wird durch das Design des Zweisitzers authentisch visualisiert.

Der neue BMW Z4 verkörpert die seit Jahrzehnten gepflegten klassischen Roadster-Proportionen. Darüber hinaus werden auch im Detail bewährte Merkmale aufgegriffen. Ähnlich wie einst bereits der BMW 328 weist auch der neue BMW Z4 einen geglätteten Unterboden auf. Damit werden Verwirbelungen, die den Luftwiderstand beeinträchtigen, auf ein Minimum reduziert. Zugleich wird die Strömung, die zur Kühlung von Antriebs- und Fahrwerkskomponenten wie Bremsen, Abgasanlage oder Hinterachsgetriebe erforderlich ist, noch gezielter gelenkt.

Der neue BMW Z4: perfekte Roadster-Linien, optimierte Aerodynamik.

Der neue BMW Z4 zeichnet sich durch ein begeisterndes fahrdynamisches Potenzial und zugleich durch herausragende Komforteigenschaften aus. Als erster BMW Roadster verfügt er über ein vollständig versenkbares Hardtop. Es bietet die Komfortmerkmale einer festen Dachkonstruktion und fügt sich harmonisch in die flachen Roadster-Proportionen ein. Im geschlossenen Zustand sorgt das Hardtop für eine coupéhaft fließende Dachlinie, die das elegante Erscheinungsbild des BMW Z4 unterstreicht. Seine großen Fensterflächen vermitteln den Fahrzeuginsassen ein großzügiges Raumgefühl und eine gute Rundumsicht. Nach dem Öffnen wird die zweiteilige Dachkonstruktion dezent und harmonisch in das flach gestaltete Heck integriert.

Mit der Entscheidung für das versenkbare Hardtop wurden auch auf dem Gebiet der Aerodynamik völlig neue Randbedingungen bei der Entwicklung eines Roadsters gesetzt. Die Heckgestaltung ist das Ergebnis einer engen Kooperation zwischen Designern und Aerodynamikspezialisten. Sie trägt zu den flachen Roadster-Proportionen des BMW Z4 bei und fördert zugleich seine aerodynamischen Eigenschaften. Im Vergleich zum Vorgängermodell weist der neue BMW Z4 unter mehreren Kriterien verbesserte Aerodynamikeigenschaften auf. Neben dem Luftwiderstand wurde auch die aerodynamische Balance optimiert. Dazu trägt vor allem der um rund 25 Prozent verringerte Auftrieb an der Hinterachse bei. Gezielter denn je wurden auch die Luftströmungen bei geöffnetem Dach beeinflusst, um Zuglufteinflüsse, die das Fahrvergnügen beeinträchtigen, zu minimieren. Auch in dieser Disziplin setzt der neue BMW Z4 Maßstäbe in seinem Segment.

Das aerodynamische Gesamtkonzept des neuen BMW Z4 berücksichtigt sowohl Effizianzforderungen als auch Fahrstabilitäts- und Komfortaspekte. Es beruht auf einer intensiven Zusammenarbeit zwischen Aerodynamikspezialisten und Entwicklern anderer Fachbereiche. Insbesondere die Kooperation zwischen Designern und Aerodynamikentwicklern ermöglicht es, bereits zu einem frühen Zeitpunkt wichtige Weichen zu stellen – ein Faktor,

der für eine effiziente Fahrzeugentwicklung von zentraler Bedeutung ist. Durch die räumliche Nähe des neuen Aerodynamischen Versuchszentrums zum Forschungs- und Innovationszentrum der BMW Group kann dieses Potenzial jetzt noch intensiver genutzt werden.

4.1 Technische Daten.

		BMW Z4 sDrive23i	BMW Z4 sDrive30i	BMW Z4 sDrive35i
Karosserie				
Anzahl Türen/Sitzplätze		2/2	2/2	2/2
Länge/Breite/Höhe (leer)	mm	4.239/1.790/1.291	4.239/1.790/1.291	4.239/1.790/1.291
Radstand	mm	2.496	2.496	2.496
Spurweite vorne/hinten	mm	1.511/1.559	1.511/1.559	1.511/1.537
Leergewicht nach DIN	kg	1.405	1.415	1.505
Zuladung nach DIN	kg	330	330	330
zul. Gesamtgewicht	kg	1.735	1.745	1.835
Kofferrauminhalt bei offenem/ geschlossenem Dach	l	180/310	180/310	180/310
Aerodynamik				
Luftwiderstandsbeiwert c_x	Dach geschlossen	0,34	0,34	0,35
Querschnittsfläche A	m ²	1,96	1,96	1,96
Motor				
Bauart/Zylinder		Reihe/6	Reihe/6	Reihe/6
Hubraum	cm ³	2.497	2.996	2.979
Leistung (bei Drehzahl)	kW/PS (min ⁻¹)	150/204 (6.400)	190/258 (6.600)	225/306 (5.800)
max. Drehmoment (bei Drehzahl)	Nm (min ⁻¹)	250 (2.750)	310 (2.600)	400 (1.300–4.250)
Verdichtung		11 : 1	10,7 : 1	10,2 : 1
Fahrwerk				
Vorderradaufhängung	Aluminium-Doppelgelenk-Zugstrebenachse mit Federbeinen, Querkraftausgleich, Bremsnickreduzierung			
Hinterradaufhängung	Einzelradaufhängung, Zentrallenkerachse, getrennte Federn und Dämpfer; Anfahr- und Bremsnickausgleich			
Bremsen vorn		Faustsattel- Scheibenbremsen	Faustsattel- Scheibenbremsen	Rahmensattel- Scheibenbremsen
Durchmesser	mm	300 x 24	330 x 24	348 x 30
Bremsen hinten		Faustsattel- Scheibenbremsen	Faustsattel- Scheibenbremsen	Rahmensattel- Scheibenbremsen
Durchmesser	mm	300 x 20	300 x 20	324 x 20
Fahrstabilitätssysteme	Dynamische Stabilitäts Control (DSC) mit Zusatzfunktionen einschl. Traktionsmodus (DTC), ABS und Dynamischer Bremsen Control (DBC)			
Lenkung	Elektromechanische Servolenkung (EPS)			
Getriebeart	6-Gang-Handschaltgetriebe (6-Sportautomatik bzw. 7-Sportautomatik mit Doppelkupplung für BMW Z4 sDrive35i als Option)			
Reifen vorne		225/45 R17 91W RSC	225/45 R17 91W RSC	225/45 R17 91W RSC
Felgen vorne		8J x 17/Leichtmetall	8J x 17/Leichtmetall	8J x 17/Leichtmetall
Reifen hinten		225/45 R17 91W RSC	225/45 R17 91W RSC	245/45 R17 91W RSC
Felgen hinten		8J x 17/Leichtmetall	8J x 17/Leichtmetall	8,5J x 17/Leichtmetall
Fahrleistungen, Verbrauch				
Beschleunigung 0–100 km/h	s	6,6	5,8	5,2
Höchstgeschwindigkeit	km/h	242	250	250
Verbrauch nach EU insgesamt	l/100 km	8,5	8,5	9,4
CO ₂ -Emissionen	g/km	199	199	219



5. Noch spontaner, noch effizienter: der neue 3-l-Reihensechszylinder- Benzinmotor mit BMW TwinPower Turbo, High Precision Injection und VALVETRONIC.

Spektakuläre Leistungsentwicklung und vorbildliche Effizienz prägen die im Jahr 2006 begonnene Geschichte der modernen BMW Turbomotoren. Jetzt wird ein neues Kapitel aufgeschlagen. Der neue Reihensechszylinder-Benzinmotor mit BMW TwinPower Turbo, High Precision Injection und VALVETRONIC schreibt das Thema der besonders sportlichen Kraftentfaltung bei vorbildlich niedrigen Verbrauchs- und CO₂-Werten auf faszinierende Weise fort. Der 3 l große und 225 kW/306 PS starke Antrieb, der für den weltweiten Einsatz konzipiert wurde, ist ein weiteres Ergebnis von BMW EfficientDynamics. Er weist eine zuvor bei keinem anderen Motor erreichte Vielfalt von technologischen Highlights auf, die im Rahmen dieser Entwicklungsstrategie entstanden und nun ideal aufeinander abgestimmt für ein Höchstmaß an Drehfreude, Durchzugskraft und Wirtschaftlichkeit sorgen.

Der neue Reihensechszylinder ist der weltweit erste Motor, bei dem Turboaufladung, Benzin-Direkteinspritzung und die von BMW entwickelte vollvariable Ventilsteuerung VALVETRONIC gemeinsam eingesetzt werden. Das Aufladeverfahren entspricht dem Twin-Scroll-Prinzip, das innerhalb der BMW Group bereits erfolgreich angewendet wird und das jetzt konsequent für den Einsatz in einem besonders leistungsstarken Reihensechszylinder-Motor weiterentwickelt wurde. Durch die BMW exklusive Zusammenführung dieser Aufladetechnik mit High Precision Injection und VALVETRONIC ist es möglich geworden, sogar die Response- und die Effizienzeigenschaften des 2006 eingeführten und in einer Vielzahl von Baureihen etablierten BMW Twin Turbo Benzinmotors zu übertreffen. Je nach Modell lassen sich Kraftstoffkonsum und CO₂-Ausstoß durch den Einsatz des neuen Reihensechszylinders nochmals um bis zu 9 Prozent reduzieren.

Ansprechverhalten nochmals optimiert, Verbrauch weiter reduziert.

Als besonders wirkungsvolle Maßnahme zur Effizienzsteigerung hat sich die VALVETRONIC in zahlreichen BMW Motoren weltweit etabliert. Das System bewirkt eine stufenlose Regelung des Ventilhubes der Einlassventile. Damit wird die bei früheren Motorgenerationen übliche Drosselklappe überflüssig. Durch die VALVETRONIC werden die Drosselverluste im Ladungswechsel auf ein Minimum reduziert. Und auch das Ansprechverhalten des Motors wird optimiert, da die Steuerung der zur Verbrennung benötigten Luftmasse im Motor selbst und nicht außerhalb des Triebwerks mit entsprechenden Totvolumina geregelt wird. Dies führt zu einer besonders effizienten Ausnutzung der

im Kraftstoff enthaltenen Energie, zu einem fülligen Drehmomentverlauf sowie zu einem optimalen Ansprechverhalten des Motors. Der Response-Vorteil des VALVETRONIC Motors resultiert insbesondere daraus, dass im Teillastbereich nur ein Unterdruck von rund 50 mb entsteht, während bei herkömmlichen Antrieben bis zu 800 mb ausgeglichen werden müssen.

Für den neuen Reihensechszylinder-Motor von BMW wurde die Funktionalität des Systems durch einen neuen Stellmotor mit integriertem Sensor nochmals optimiert. Damit wurde vor allem die Verstellgeschwindigkeit erhöht. Das Trägheitsmoment des neuen Stellmotors beträgt nur noch ein Zehntel des beim Vorgängermodell erreichten Werts. Dies führt unmittelbar zu einer weiteren Verbesserung im Ansprechverhalten des Motors.

Mit seiner spontanen Reaktion auf Gaspedalbewegungen setzt sich der neue Reihensechszylinder in dieser Disziplin klar an die Spitze seiner Leistungsklasse. Sein maximales Drehmoment von 400 Nm steht schon bei 1.200 min⁻¹ zur Verfügung. Neben der optimierten VALVETRONIC trägt dazu auch der neu entwickelte Turbolader bei. Seine Bauweise ermöglicht einen besonders spontanen Leistungsaufbau, weil sowohl im Abgaskrümmen als auch im Turbolader selbst die Kanäle von jeweils drei Zylindern voneinander getrennt sind. Daraus resultiert ein besonders niedriger Abgasgegendruck bei niedrigen Drehzahlen. Dank der doppelflutigen Führung können die Gasströme im Abgaskrümmen eine höhere Dynamik entfalten und die Laderschaufeln schon bei geringer Drehzahl kraftvoll in Schwung bringen. Die Twin-Scroll-Technik vereint so die Wirksamkeit zweier Lader innerhalb eines Systems. Das nun auch an den hohen Leistungs- und Komfortanspruch eines BMW Reihensechszylinder-Motors angepasste Prinzip stellt damit die konsequente Fortsetzung der BMW Turbomotorenentwicklung dar.

High Precision Injection mit neuen Einspritzdüsen.

Das VALVETRONIC System wird beim neuen Reihensechszylinder-Benzinmotor von BMW erstmals vollständig in den Zylinderkopf integriert. Diese intelligente und äußerst platzsparende Anordnung ermöglicht eine Kombination mit der High Precision Injection, deren Einspritzdüsen jeweils zentral zwischen den Ventilen und damit in unmittelbarer Nähe zur Zündkerze im Zylinderkopf positioniert sind. Bei der High Precision Injection des neuen Sechszylinders wird der Kraftstoff von neuartigen Mehrlochventilen mit einem in weiteren Bereichen nochmals erhöhten Einspritzdruck von bis zu 200 bar in die Brennräume befördert. Damit sind eine extrem präzise Dosierung des Kraftstoffs sowie eine besonders saubere Verbrennung gewährleistet. Außerdem erlaubt die durch den direkt eingespritzten Kraftstoff bewirkte Gemischkühlung eine höhere Verdichtung als bei einem Turbomotor mit Saugrohreinspritzung. Dies kommt der kraftvollen Leistungsentfaltung des Reihensechszylinders zugute.

Aus einem Hubraum von 2.979 cm³ erzeugt der neue Antrieb eine Höchstleistung von 225 kW/306 PS, die bei einer Motordrehzahl von 5.800 min⁻¹ zur Verfügung steht. Er fasziniert mit einer Durchzugskraft, die das Niveau eines deutlich hubraumstärkeren Achtzylinder-Motors erreicht, weist dabei aber ein erheblich niedrigeres Gewicht und deutlich geringere Verbrauchs- und Emissionswerte auf. Sein Gewicht liegt deutlich unter dem eines in der Leistung vergleichbaren Achtzylinder-Motors, und auch der Wert des bereits etablierten Reihensechszylinder-Turbomotors wird unterschritten.

In modellspezifischer Zusammenstellung wird der neue Reihensechszylinder-Benzinmotor mit einer Vielzahl von BMW EfficientDynamics Maßnahmen kombiniert. Als Ergänzung zum hervorragenden Wirkungsgrad der neuen Antriebseinheit sorgen unter anderem die Bremsenergie-Rückgewinnung, die bedarfsgerechte Steuerung von Nebenaggregaten, zu denen die elektrische Kühlmittelpumpe, die elektrische Lenkhilfepumpe und der abkoppelbare Klimakompressor gehören, sowie konsequenter Leichtbau, optimierte Aerodynamik einschließlich aktiver Luftklappensteuerung und rollwiderstandsreduzierte Reifen für optimierte Verbrauchs- und Emissionswerte. Zusätzlich bietet der neue Reihensechszylinder-Motor künftig auch die Option, die bei den aktuellen Vierzylinder-Modellen von BMW eingesetzte Auto Start Stop Funktion zu integrieren. In Fahrzeugen, die mit einem Handschaltgetriebe ausgestattet sind, erleichtert darüber hinaus eine Schaltpunktanzeige die Wahl der unter Verbrauchsgesichtspunkten idealen Fahrstufe.

Als erster Turbomotor verfügt der neue Sechszylinder-Antrieb außerdem über eine kennfeldgeregelte Ölpumpe, die durch ihren reduzierten Energiebedarf einen zusätzlichen Beitrag zur Effizienzsteigerung leistet. Der neue Reihensechszylinder-Motor mit Turboaufladung, High Precision Injection und VALVETRONIC ist nicht auf die Versorgung mit schwefelfreiem Kraftstoff angewiesen und daher weltweit einsetzbar. Er erfüllt die Abgasnormen EU 5 in Europa beziehungsweise ULEV II in den USA. Seine Premiere in einem Serienmodell erlebt der neue Reihensechszylinder mit BMW TwinPower Turbo im BMW 5er Gran Turismo.

5.1 Die technischen Daten des neuen Reihensechszylinder-Benzin- motors mit BMW TwinPower Turbo.

Merkmal/Größe	Einheit	Reihensechszylinder- Benzinmotor mit BMW TwinPower Turbo und Direkteinspritzung (High Precision Injection)	Zum Vergleich: Reihensechszylinder- Benzinmotor mit Twin Turbo und Direkteinspritzung (High Precision Injection)
		Otto (ROZ 91-100)	Otto (ROZ 91-100)
Nennleistung	kW/PS	225 /306	225/306
Nennleistung bei	min ⁻¹	5.800	5.800
Nenn Drehmoment	Nm	400	400
Nenn Drehmoment bei	min ⁻¹	1.200-5.000	1.300-5.000
Drehzahl maximal	min ⁻¹	7.000	7.000
Hub	mm	89,6	89,6
Bohrung	mm	84,0	84,0
Hubraum	cm ³	2.979	2.979
Zylinderabstand	mm	91	91
Zylinderanordnung		Sechszylinder-Reihenmotor	Sechszylinder-Reihenmotor
Ventiltellerdurchmesser Einlass	mm	32	31,4
Ventiltellerdurchmesser Auslass	mm	28,0	28,0
Verdichtungsverhältnis		10,2 : 1	10,2 : 1
Kraftstoffeinspritzung		Benzin-Direkteinspritzung 2. Generation, strahlgeführt (High Precision Injection); Mehrlochinjektoren; λ = 1; bis zu 3 Einzeleinspritzungen	Benzin-Direkteinspritzung 2. Generation, strahlgeführt (High Precision Injection); Piezoinjektoren; λ = 1; bis zu 3 Einzeleinspritzungen
max. Kraftstoff-Einspritzdruck	bar	200	200
Art der Aufladung		1 Twin-Scroll-Lader (BMW TwinPower Turbo)	2 Lader MHI parallel (BMW Twin Turbo)
Ladedruck max. über Atmosphäre	mbar	0,7	0,6
Brennraum-Mitteldruck	bar	16,9	16,9
Brennraum-Spitzenndruck	bar	130	130
Motorgewicht nach DIN 70020-GZ	kg	177	178
minimaler spezifischer Verbrauch	g/kWh	245	248
Literleistung	kWh/l	75,5	75,5
Leistungsgewicht bezogen auf Motorgewicht nach DIN	kg/kW	0,79	0,79
Material Kurbelgehäuse		Aluminium	Aluminium
Wasserpumpe		elektrisch	elektrisch
Nockenwelle		gebaut; Hydroforming	gebaut; Hydroforming
Ventiltrieb		variable Einlassventilhubverstellung VALVETRONIC und stufenlose Nockenwellenverstellung für Ein- und Auslass (Doppel-VANOS)	stufenlose Nockenwellen- verstellung für Ein- und Auslass (Doppel-VANOS)



6. **Imponierende Durchzugskraft, vorbildliche Verbrauchs- und Emissionswerte: Der neue 3-I-Reihensechszylinder-Dieselmotor mit BMW TwinPower Turbo und Piezo-Injektoren mit 2.000 bar Einspritzdruck.**

Mit der Einführung einer neuen Generation von Reihensechszylinder-Dieselmotoren baut BMW die weltweite Führungsposition in der Entwicklung besonders effizienter und leistungsstarker Triebwerke dieser Bauart weiter aus. Nach dem 180 kW/245 PS starken, mit einem Einzel-Turbolader mit variabler Turbinengeometrie ausgestatteten Antrieb, der erstmals im neuen BMW 730d präsentiert wurde, folgt nun eine weitere Variante des 3 l großen Motors. Dieses Triebwerk, das ebenfalls in der BMW 7er Reihe seine Premiere erleben wird, leistet 225 kW/306 PS, mobilisiert schon bei 1.500 min⁻¹ sein maximales Drehmoment von 600 Nm und übernimmt damit die Spitzenposition als weltweit sportlichster Motor seiner Art.

Gemeinsam sind beiden Vertretern der neuen Dieselmotorengeneration neben dem Hubraum von 2.993 cm³ auch das Konstruktionsprinzip des Grundmotors, das optimierte Gewicht ihres Vollaluminium-Kurbelgehäuses sowie die Kraftstoffversorgung mittels Common-Rail-Direkteinspritzung der vierten Generation. Beim neuen, leistungsstärkeren Antrieb wird der Einspritzdruck, mit dem die Piezo-Injektoren agieren, auf bis zu 2.000 bar angehoben. Die zweite maßgebliche Besonderheit liegt im Aufladesystem. Die BMW TwinPower Turbo Technologie wird konsequent auch bei den Dieselmotoren angewendet. Sie besteht aus zwei Ladern unterschiedlicher Größe, die aufeinander abgestimmt und den jeweiligen Lastanforderungen entsprechend entweder einzeln oder gemeinsam tätig werden. Für eine besonders bedarfsgerechte Wirkungsweise sorgt die Ausführung die kleine Ladereinheit mit einer variablen Turbinengeometrie, die von BMW weltweit erstmals in dieser Kombination eingesetzt wird.

Neuer Maßstab für Ansprechverhalten, Durchzugskraft und Höchstleistung bei einem Sechszylinder-Dieselmotor.

Für den neuen, besonders sportlichen Reihensechszylinder-Dieselmotor wurde das erstmals beim Vorgängerantrieb eingesetzte Prinzip der Variable Twin Turbo Aufladung weiterentwickelt und auf die neue Motorengeneration übertragen. Diese Kombination bewirkt gemeinsam mit der ebenfalls optimierten Direkteinspritzung eine einzigartige Leistungscharakteristik. Schon unmittelbar oberhalb der Leerlaufdrehzahl hält der neue Motor ein enormes Drehmoment bereit, 75 Prozent des Maximalwertes stehen im breiten Drehzahlbereich zwischen

1.000 und 4.600 min⁻¹ zur Verfügung. Zusätzlich fällt das Verhältnis zwischen dem Kraftstoffverbrauch und den mit diesem Motor erzielbaren Fahrleistungen unübertroffen günstig aus.

Der neue Sechszylinder-Diesel mit BMW TwinPower Turbo wird in seinem Ansprechverhalten, seinem Drehmomentaufbau und demzufolge auch in seiner Durchzugskraft selbst von Achtzylinder-Motoren mit deutlich größerem Hubraum nicht übertroffen. Weitaus geringer fallen hingegen seine Verbrauchs- und Emissionswerte aus. Sogar im Vergleich zu vielen deutlich kleineren und leistungsschwächeren Dieselmotoren weist der neue Sechszylinder einen niedrigeren Kraftstoffkonsum auf. Sein geringes Gewicht trägt zusätzlich zur Gesamteffizienz bei, obendrein wirkt es sich auch auf die Agilität des jeweiligen Fahrzeugs positiv aus. Der Fortschritt gegenüber dem Vorgängermotor äußert sich in der um 15 kW gesteigerten Leistung und dem um 20 Nm höheren maximalen Drehmoment bei einem um rund 4 Prozent reduzierten Durchschnittsverbrauch.

Grundmotor mit hohem Wirkungsgrad und optimierter Verbrennung.

Sowohl der Aufbau des Grundmotors als auch die Anordnung der Nebenaggregate stimmen bei beiden Vertretern der neuen Generation des Reihensechszylinder-Diesels überein. Das neu entwickelte Kurbelgehäuse besteht aus einer hochfesten Aluminium-Silizium-Legierung. Die Kompressionshöhe der Kolben, die Gestaltung des Kühlkanals sowie die Dimension der Haupt- und Pleuellager bieten ideale Voraussetzungen für die gesteigerten Leistungs- und Drehmomentwerte. Die Kurbelwelle aus hochfestem Stahl zeichnet sich durch eine besonders hohe Steifigkeit aus.

Die zentral positionierten Injektoren des Einspritzsystems und senkrecht angeordnete Ventile gewährleisten eine gleichförmige Verbrennung und tragen zur Reduzierung der Rohemissionen bei. Die Luftzufuhr in die Zylinder erfolgt über zwei nebeneinander liegende Einlasskanäle, die von einem kompakten seitlich angesetzten Luftsammler versorgt werden. Um niedrigste Emissionswerte zu erreichen, ist der für die Drallerzeugung zuständige Einlasskanal stufenlos elektronisch geregelt zuschaltbar. Die beiden Auslasskanäle werden in einem gemeinsamen Anschluss zusammengeführt. Die Leichtbau-Nockenwellen werden in einem aus Aluminium-Druckguss gefertigten Nockenwellenträger gelagert. Keramikglühkerzen optimieren die Starteigenschaften des Motors sowie die Akustik- und Schwingungseigenschaften im Warmlauf. Außerdem tragen sie zur Reduzierung des Verbrauchs und der Emissionen bei.

Agilität gesteigert, Fußgängerschutz optimiert.

Mit seiner kompakten Bauweise, einer verringerten Bauhöhe sowie durch die Verlegung des Kettentriebs an die Motorrückseite trägt der neue Diesel auch dazu bei, künftige Anforderungen an den Fußgängerschutz zu erfüllen. Zusätzlich kann das Verletzungsrisiko durch einen in der Höhe deformierbaren und daher nachgiebigen Ansauggeräuschdämpfer unter der aus Kunststoff gefertigten Zylinderkopfhaube gemindert werden.

Die Nebenaggregate Generator, Lenkhilfepumpe und Klimakompressor sind an der linken Motorseite angeordnet. Der Bauraum an der rechten Seite steht somit für den Dieselpartikelfilter, den Oxidationskatalysator und das Aufladesystem zur Verfügung. Weil sämtliche Nebenaggregate von einem einzigen Riemen angetrieben werden, ist eine zweite Riemenebene nicht erforderlich. Auch damit wird die Effizienz der Antriebseinheit nochmals gesteigert, weil Reibwertverluste vermieden werden können.

Common-Rail-Direkteinspritzung mit neuen Piezo-Injektoren und einem Maximaldruck von 2.000 bar.

Für eine exakt dosierte und präzise gesteuerte Kraftstoffversorgung sorgt das speziell für die neue Generation der Sechszylinder-Dieselmotoren entwickelte Einspritzsystem. Es basiert auf der sowohl bei Sechs- als auch bei Vierzylinder-Dieselmotoren von BMW bewährten Common-Rail-Direkteinspritzung der jüngsten Generation. Weiterentwickelt wurden neben der Hochdruckpumpe, den Versorgungs- und Einspritzleitungen, dem Raildrucksensor und dem Druckregelventil auch die Piezo-Injektoren. Sie agieren beim neuen, besonders leistungsstarken Diesel mit einem maximalen Einspritzdruck von 2.000 bar.

Die neue Motorsteuerung zeichnet sich durch eine gesteigerte Rechnerleistung und größere Speicherplatzkapazitäten aus. Sie bezieht ihre Daten aus einer Vielzahl von Sensoren, die unter anderem im Motorblock, im Zylinderkopf, im Kühl- und im Einspritzsystem, im Ölkreislauf, im Abgaskrümmen, in der Luftzufuhr, in der Abgasrückführung und im Bereich der Abgasanlage angeordnet sind.

Variable Twin Turbo erstmals mit verstellbarer Turbinengeometrie für den kleinen Lader.

Für einen besonders spontanen Leistungsaufbau sowie für eine hohe und lang anhaltende Durchzugskraft sorgt das aus zwei Ladern unterschiedlicher Größe bestehende Variable Twin Turbo System. Dabei wird bei niedrigen Motordrehzahlen zunächst ein kleiner Lader aktiv. Dank seines geringen Trägheitsmoments entfaltet er seine leistungsfördernde Wirkung schon bei der leichtesten Bewegung des Fahrpedals spontan und ohne jede Verzögerung.

Mit steigender Drehzahl nimmt auch der zweite, größer dimensionierte Lader seine Arbeit auf. Bereits bei 1.500 min^{-1} wird so das maximale Drehmoment von 600 Nm erreicht. Das Zusammenwirken der beiden Lader wird über eine besonders leistungsfähige Motorelektronik gesteuert.

Zusätzlich kann die Wirkungsweise des Aufladesystems durch die variable Turbinengeometrie des kleinen Laders noch exakter auf die jeweilige Fahrsituation abgestimmt werden. Die in Abhängigkeit von Lastzustand und Leistungsanforderung aktivierbare Verstellung der Turbinengeometrie wird erstmals bei einem Motor mit Variable Twin Turbo eingesetzt. Über einen elektrischen Stellmotor wird der Leitapparat der Turbine mit hoher Genauigkeit und minimaler Verzögerung den jeweiligen Erfordernissen entsprechend angepasst. Auf diese Weise ist ein früher und harmonischer Einsatz im Zusammenwirken mit dem kleinen Lader bei niedrigen Drehzahlen ebenso gewährleistet wie eine hohe Leistungsdichte unter Vollast. Seine Höchstleistung von 225 kW/306 PS erreicht der neue Motor bei 4.400 min^{-1} .

Die neu konzipierte Abgasrückführung umfasst eine in den Zylinderkopf integrierte Kanalführung, eine neu angeordnete Einleitung in die Sauganlage und eine besonders wirksame Kühlung. Der leistungsoptimierte Edelstahl-Abgaskühler ist an der Motorvorderseite positioniert und mit einer Bypassklappe versehen, wodurch die Schadstoffemissionen im Warmlauf begrenzt werden. Umfang und Temperatur der Abgasbeimengung können je nach Betriebspunkt und Motortemperatur präzise bestimmt werden.

Die außergewöhnliche Wirtschaftlichkeit des neuen Sechszylinder-Dieselmotors wird durch serienmäßige EfficientDynamics Maßnahmen noch weiter gesteigert. In jeweils modellspezifischer Zusammenstellung kommen unter anderem Bremsenergie-Rückgewinnung, eine bedarfsgerechte Steuerung von Nebenaggregaten wie Kühlmittelpumpe, Kraftstoffpumpe und Klimakompressor sowie aktive Luftklappensteuerung und rollwiderstandsreduzierte Reifen zum Einsatz.

Dieselpartikelfilter und Katalysator in einem gemeinsamen Gehäuse.

Partikelfilter und Oxidationskatalysator des neuen Reihensechszylinder-Dieselmotors sind in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht, das unmittelbar hinter dem Motor positioniert ist. Der Gesamtumfang der Innovationen ermöglicht auch dem besonders sportlichen Sechszylinder-Diesel eine deutliche Übererfüllung der Abgasnorm EU 5. Neben den Dieselpartikeln reduziert die Abgasreinigung auch Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid besonders wirkungsvoll. Die katalytische Reaktion wird durch eine Platin- beziehungsweise Palladiumbeschichtung im Inneren des Abgasreinigungssystems erzielt. Der Dieselpartikelfilter arbeitet über die gesamte Lebensdauer hinweg wartungsfrei

und ohne den Einsatz von Additiven. Die in regelmäßigen Abständen erforderlichen Regenerationsphasen werden durch eine von der Motorsteuerung aktivierte Nacheinspritzung ausgelöst. Zuverlässig, unabhängig vom Betriebszustand des Motors und ohne Zutun des Fahrers kann so verhindert werden, dass der Filter von Rückständen zugesetzt und in seiner Wirkung beeinträchtigt wird. Mit ihrer hochentwickelten Steuerungstechnologie gewährleistet die Abgasreinigung ihren optimalen Betriebszustand jederzeit autark.

6.1 Die technischen Daten des neuen Reihensechszylinder-Dieselmotors mit BMW TwinPower Turbo.

Merkmal/Größe	Einheit	Zum Vergleich:		
		Reihensechszylinder-Dieselmotor mit BMW TwinPower Turbo und Common-Rail-Direkteinspritzung der 4. Generation	Reihensechszylinder-Dieselmotor mit Turbolader und Common-Rail-Direkteinspritzung der 4. Generation	Reihensechszylinder-Dieselmotor mit Variable Twin Turbo und Common-Rail-Direkteinspritzung der 3. Generation
Kraftstoff		Diesel	Diesel	Diesel
Nennleistung	kW/PS	225 /306	180/245	210/286
Nennleistung bei	min ⁻¹	4.400	4.000	4.400
Nenn Drehmoment	Nm	600	540	580
Nenn Drehmoment bei	min ⁻¹	1.500	1.750	1.750
Drehzahl maximal	min ⁻¹	5.600	5.000	5.000
Hub	mm	90	90	90
Bohrung	mm	84	84	84
Hubraum	cm ³	2.993	2.993	2.993
Zylinderabstand	mm	91	91	91
Zylinderanordnung		Sechszylinder-Reihenmotor	Sechszylinder-Reihenmotor	Sechszylinder-Reihenmotor
Ventiltellerdurchmesser Einlass	mm	27,2	27,2	27,4
Ventiltellerdurchmesser Auslass	mm	24,6	24,6	25,9
Verdichtungsverhältnis		16,5 : 1	16,5 : 1	16,5 : 1
Kraftstoffeinspritzung		Common-Rail-Direkteinspritzung 4. Generation, Piezo-Injektoren; bis zu 5 Einzeleinspritzungen	Common-Rail-Direkteinspritzung 4. Generation, Piezo-Injektoren; bis zu 5 Einzeleinspritzungen	Common-Rail-Direkteinspritzung 4. Generation, Piezo-Injektoren; bis zu 5 Einzeleinspritzungen
max. Kraftstoff-Einspritzdruck	bar	2.000	1.800	1.600
Art der Aufladung		2 Abgasturbolader, Stufenaufladung (BMW TwinPower Turbo), kleiner Lader mit variabler Einlassgeometrie	1 Abgasturbolader mit variabler Einlassgeometrie	2 Abgasturbolader, Stufenaufladung (Variable Twin Turbo)
Ladedruck max. über Atmosphäre	mbar	2.050	1.650	1.980
Brennraum-Mitteldruck	bar	25,2	22,7	24,4
Brennraum-Spitzendruck	bar	180	180	180
Motorgewicht nach DIN 70020-GZ	kg	196	182	193
minimaler spezifischer Verbrauch	g/kWh	197	202	205
Literleistung	kWh/l	75,2	60,1	70,2
Leistungsgewicht bezogen auf Motorgewicht nach DIN	kg/kW	0,87	1,01	0,92
Material Kurbelgehäuse		Aluminium	Aluminium	Aluminium
Wasserpumpe		mechanisch	mechanisch	Mechanisch
Nockenwelle		gebaut	gebaut	gebaut
Ventiltrieb		4-Ventil, ohne Variabilitäten	4-Ventil, ohne Variabilitäten	4-Ventil, ohne Variabilitäten

7. **Innovativ, effizient, dynamisch: das neue BMW Achtgang- Automatikgetriebe.**



Zukunftsweisende Antriebstechnik umfasst neben Motoren, mit denen die im Kraftstoff enthaltene Energie möglichst umfassend genutzt wird, auch Getriebesysteme mit besonders hohem Wirkungsgrad. Das neue BMW Achtgang-Automatikgetriebe ist ein beeindruckendes Beispiel dafür, wie Innovationskraft und konsequente Entwicklungsarbeit nicht nur bei der Erzeugung von Leistung, sondern auch bei ihrer Übertragung auf die Antriebsräder zu besonders effizienten Lösungen führt. In der für BMW typischen Weise ist die neue Automatik zugleich bestens dazu geeignet, auch die Freude am Fahren in einem Premium-Automobil noch weiter zu steigern. Sowohl für Effizienz als auch für Schaltkomfort und Sportlichkeit setzt das Achtgang-Automatikgetriebe, das erstmals im neuen BMW 760i und im neuen BMW 760Li mit Zwölfzylinder-Motor präsentiert wurde, neue Maßstäbe.

Das neue Achtgang-Automatikgetriebe zeichnet sich durch einen innovativen Radsatzaufbau aus, der es ermöglicht, gegenüber der bisher eingesetzten Sechsgang-Automatik zusätzliche Fahrstufen und eine größere Spreizung ohne negative Auswirkungen auf die Größe, das Gewicht und den inneren Wirkungsgrad des Systems zu erzielen. Seine acht Vorwärtsgänge und der Rückwärtsgang werden mithilfe von vier einfachen Radsätzen und fünf Schaltelementen dargestellt. Die neuartige, weltweit erstmals bei einer Achtgang-Automatik umgesetzte Anordnung dieser Bauelemente sorgt dafür, dass in jeder Gangstufe nur zwei Kupplungen geöffnet sind. In einzigartiger Weise wird so der Reibverlust über alle Fahrsituationen hinweg auf ein Minimum reduziert. Neben der größeren Spreizung und dem hohen Wirkungsgrad ist dies ein weiterer Faktor für die herausragende Effizienz des neuen Getriebesystems. Das intelligente Konzept des neuen Achtgang-Automatikgetriebes steht daher in idealer Weise im Kontext der Entwicklungsstrategie BMW EfficientDynamics.

Die Markteinführung des ersten Achtgang-Automatikgetriebes im BMW 760i und BMW 760Li ist der Auftakt zu einem Generationswechsel auf dem Gebiet der Kraftübertragungssysteme. Die heute in allen Modellreihen von BMW angebotenen Sechsgang-Automatikgetriebe setzen Maßstäbe in den Kriterien Schaltkomfort, Reaktionszeit, Schaltgeschwindigkeit und Wirkungsgrad sowie auch hinsichtlich ihrer kompakten Bauweise und ihrer universellen Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Fahrzeugsegmenten und Leistungsklassen. Oberste Prämisse bei der Entwicklung einer neuen Getriebegeneration war es daher, die konstruktiven Merkmale der Sechsgang-Automatik zu bewahren und neue Potenziale in den Bereichen Komfort, Fahrleistung und Effizienz zu erschließen.

Optimaler Radsatzaufbau als Ergebnis grundlegender Entwicklungsarbeit.

Um maßgebliche Fortschritte gegenüber den bewährten Sechsgang-Automatikgetrieben zu erzielen, wurde ein Entwicklungsprozess initiiert, der die Grundlage für die konkrete Getriebeentwicklung bilden sollte. Ausgangspunkt war dabei die Überlegung, dass vor allem die Effizienzvorteile in der angestrebten Größenordnung nur mit einem Getriebesystem zu verwirklichen wären, bei dem die Spreizung gegenüber der Sechsgang-Automatik weiter erhöht wird. Zugleich wurde Wert darauf gelegt, den Umfang zusätzlicher Bauelemente möglichst gering zu halten, um den inneren Wirkungsgrad des Systems zu optimieren.

Die Suche nach einem optimalen Konzept zur Erfüllung dieser Anforderungen wurde von BMW in Gemeinschaft mit dem Entwicklungspartner ZF Friedrichshafen AG gestaltet. Zu diesem Zweck wurden Analysemethoden entwickelt, mit denen sich die Vor- und Nachteile aller theoretisch denkbaren Variationen eines Planetengetriebesystems gegeneinander abwägen ließen. Dabei blieb die Zahl der Gänge zunächst ebenso offen wie der Aufbau des neuen Getriebesystems. Als maßgebliche Zielgrößen wurden möglichst hohe Wirkungsgrad- und Effizienzwerte sowie eine kompakte Bauart und ein geringes Gewicht vorausgesetzt.

In Studien wurde schließlich jene Lösung ermittelt, bei der innerer Wirkungsgrad und Gesamteffizienz im günstigsten Verhältnis zueinander stehen: das neue Achtgang-Automatikgetriebe. Es weist zwei zusätzliche Gänge und eine von sechs auf sieben gesteigerte Spreizung auf, wobei die Zahl der Radsätze lediglich um einen auf vier erhöht wird und die Zahl der Kupplungen sogar konstant bleibt.

Dreifacher Fortschritt mit zwei zusätzlichen Gängen: Schaltdynamik erhöht, Komfort optimiert, Effizienz gesteigert.

Durch die höhere Spreizung des Getriebes wird es möglich, vor allem im höchsten Gang bei deutlich reduzierten Motordrehzahlen unterwegs zu sein. So wird nicht nur die Wirtschaftlichkeit des jeweiligen Fahrzeugs auch bei höherem Tempo optimiert, sondern auch die Laufruhe des mit der Achtgang-Automatik verbundenen Motors unterstützt. Durch die auf acht gestiegene Zahl der Gänge werden trotz der höheren Spreizung geringere Drehzahlsprünge beim Fahrstufenwechsel erforderlich. Dies kommt dem sportlichen Charakter des Getriebes und damit auch der BMW typischen dynamischen Ausrichtung des Fahrzeugs zugute. Während des Beschleunigungsvorgangs sorgt die harmonische Abstufung der Übersetzungsverhältnisse für einen besonders konstanten Zugewinn an Tempo.

Darüber hinaus fördern die geringeren Übersetzungsdifferenzen auch den Schaltkomfort. Der Wechsel der Fahrstufe ist jeweils nur mit kleinen Drehzahlsprüngen verbunden. Die gegenüber der Sechsgang-Automatik nochmals verkürzten Reaktions- und Schaltzeiten kommen sowohl dem Komfort als auch der Fahrdynamik zugute. Beim Herauf- oder Herunterschalten um eine oder zwei Fahrstufen muss jeweils nur eine Kupplung geöffnet werden. Eine direkte Zielgangfindung ermöglicht auch den Wechsel über mehr als zwei Fahrstufen hinweg mit extrem kurzen Reaktions- und Schaltzeiten. Die für spontane Beschleunigungsvorgänge relevante Rückschaltung vom achten in den zweiten Gang erfolgt ebenfalls als Direktschaltung, die das Öffnen von lediglich einer Kupplung erfordert. Für souveränes Fahren ist diese Konfiguration besonders förderlich. Die für Effizienz und Laufruhe besonders optimalen höheren Gänge können häufig genutzt werden, bei Bedarf steht die maximale Dynamik des Fahrzeugs jederzeit spontan zur Verfügung.

Flexibel, zeitgemäß und zukunftsorientiert.

Die im Vergleich zur Sechsgang-Automatik nur geringfügig erhöhte Zahl der Bauelemente verhilft auch dem neuen Achtgang-Automatikgetriebe zu einem außergewöhnlich günstigen inneren Wirkungsgrad. Der so genannte Verzahnungswirkungsgrad liegt in jedem Gang oberhalb von 98 Prozent. Die sechste Fahrstufe ist zudem als Direktgang ausgelegt und führt daher zu keinerlei Reibungsverlusten. Auch das geringe, im Vergleich zur Sechsgang-Automatik nahezu identische Gewicht des neuen Getriebesystems kommt der Effizienz des Gesamtfahrzeugs zugute. Die Integration eines zusätzlichen Radsatzes konnte durch Gewichtsoptimierung an anderer Stelle kompensiert werden. Insgesamt führen der auf den Bereich niedrigster Drehzahlen beschränkte Wandlerschlupf, der hohe innere Wirkungsgrad, die geringen Reibwertverluste durch jeweils nur zwei geöffnete Kupplungen, die längere Übersetzung der höheren Gänge und die verbesserte Schwingungsentkopplung, die das Fahren bei niedrigen Drehzahlen begünstigt, zu einem Verbrauchsvorteil gegenüber der Sechsgang-Automatik von rund 6 Prozent.

Das neue Achtgang-Automatikgetriebe stellt nicht nur das aktuell realisierbare Optimum, sondern zugleich auch eine besonders zukunftsorientierte Lösung für die Kraftübertragung bei Premium-Automobilen dar. Es kann mit Motoren unterschiedlichster Bauart und Leistung kombiniert werden, neben dem Einsatz in Fahrzeugen mit Hinterradantrieb ist auch eine Integration in Allradmodellen möglich. Ferner bietet es künftig auch die Option für die Integration einer Auto Start Stop Funktion.

Die Funktionseigenschaften des Achtgang-Automatikgetriebes bilden eine ideale Ergänzung zur Leistungscharakteristik moderner BMW Turbomotoren, die bereits im unteren Drehzahlbereich ein beeindruckend hohes Drehmoment aufweisen. Dadurch wird es möglich, die besonders verbrauchsgünstigen Lastbereiche häufig zu nutzen und bei Bedarf auch ohne Rückschaltung auf ein dynamisches Beschleunigungsvermögen zurückzugreifen. Die prinzipbedingten Vorteile des spontanen Ansprechens und der hohen Durchzugskraft, die nicht nur den Zwölfzylinder-Motor, sondern auch den Achtzylinder- sowie mit den neuen Reihensechszylinder-Antrieb mit BMW TwinPower Turbo auszeichnen, werden von der Achtgang-Automatik besonders intensiv zur Geltung gebracht. Die erstmalige Kombination des neuen Getriebes mit Acht- und Sechszylinder-Motoren erfolgt im BMW 5er Gran Turismo.

Darüber hinaus bietet das Achtgang-Automatikgetriebe die Option einer Kombination mit einem Hybridantrieb. Es ist daher Bestandteil der BMW ActiveHybrid Technologie, bei der ein Achtzylinder-Benzinmotor mit einem Elektroantrieb kombiniert wird. Dieses innovative Antriebskonzept wird noch im Laufe des Jahres 2009 im ersten Hybridmodell der BMW 7er Reihe die Serienreife erlangen.