

Der neue V8-Motor für den BMW M3. Inhaltsverzeichnis.



Der neue V8-Motor für den BMW M3.

Steckbrief	2
------------------	---

In jeder Hinsicht mehr:

Der neue V8-Motor für den BMW M3.

Kurzfassung.	3
-------------------	---

Langfassung.	8
-------------------	---

Die technischen Daten des neuen BMW M3-Motors.	21
---	----

Drehmoment- und Leistungsdiagramm

des neuen BMW M3-Motors.	22
-------------------------------	----

Der neue V8-Motor für den BMW M3. Steckbrief.



- Erster Achtzylinder-Motor für den Sportwagen BMW M3.
- Enormes Leistungspotenzial mit 309 kW/420 PS aus 4,0 Litern Hubraum.
- Maximales Drehmoment von 400 Newtonmetern bei $3\,900/\text{min}^{-1}$. 85 Prozent des maximalen Drehmoments über eine Drehzahlbreite von $6\,500 \text{ min}^{-1}$ abrufbar.
- Einzigartige Schubkraft durch konsequente Umsetzung des M Hochdrehzahlkonzepts, maximale Motordrehzahl: $8\,300 \text{ min}^{-1}$.
- Konsequenter Leichtbau bei Motor und Nebenaggregaten, neuer V8-Motor gehört zu den leichtesten Achtzylindern der Welt, Gewicht geringer als beim Reihensechszylinder-Motor des Vorgängermodells.
- Variable Nockenwellensteuerung, Niederdruck-Doppel-VANOS für optimalen Ladungswechsel, volle Leistungsfähigkeit des Systems schon bei normalem Motoröldruck.
- Acht Einzeldrosselklappen für spontanes Ansprechverhalten des Motors.
- Sichere Ölversorgung bis zu 1,4 g Längs- und Querbeschleunigung durch zwei Ölpumpen und dynamikoptimierte Nasssumpf-Ölschmierung.
- Abgasanlage optimiert Ladungswechsel, gewichts- und funktionsoptimiert durch Innenhochdruck-Umformverfahren, Abgasemissionen erfüllen EU4- und LEV 2-Normen.
- Verbessertes Motorsteuergerät MSS60 koordiniert optimal alle Motorfunktionen mit den verschiedenen Fahrzeugsteuergeräten.
- Ionenstromtechnologie erkennt beziehungsweise unterscheidet Motorklopfen sowie Zünd- und Verbrennungsaussetzer durch Ionenstrommessung im Verbrennungsraum.
- Brake Energy Regeneration mit intelligenter Generatorregelung.

In jeder Hinsicht mehr: Der neue V8-Motor für den BMW M3. (Kurzfassung)



Sein Name ist der Inbegriff für ultimativen Fahrspaß: BMW M3. Die Neuauflage des erfolgreichsten Hochleistungsfahrzeugs der BMW M GmbH wird diesem Anspruch einmal mehr gerecht. Und sie beantwortet zugleich die Frage der Sportwagenfans, ob eine Steigerung noch möglich ist, auf faszinierende Weise. Der neue BMW M3 bietet in jeder Hinsicht mehr. Dies gilt nicht allein, aber insbesondere für seinen Motor. Nach 15 Jahren und zwei Modellgenerationen hat der epochale Sechszylinder-Motor nun seinen Nachfolger gefunden. Der neue BMW M3 tritt mit einem Achtzylinder-Triebwerk an: mehr Zylinder, mehr Hubraum, mehr Leistung, mehr Drehzahl. Ein Mehr an Begeisterung darf schon jetzt unterstellt werden.

Der Maßstab, den die neue Antriebseinheit zu übertreffen hatte, könnte höher kaum sein. Der 3,2 Liter-Reihensechszylinder hat weltweit Berühmtheit erlangt und zahlreiche Auszeichnungen gesammelt. Mehrfach „Engine of the Year“ und zuletzt 252 kW/343 PS stark, machte er den BMW M3 nicht nur zum Nonplusultra in der Klasse der High-Performance-Sportwagen, sondern auch zum Bestseller. Dennoch: Alles hat seine Zeit. Der Reihensechszylinder verlässt die Bühne. Der Auftritt des V8 für den neuen BMW M3 beginnt.

Die technischen Daten des neuen Hochleistungstriebwerks belegen den enormen Fortschritt, der mit diesem Wechsel verbunden ist. Sein Hubraum beträgt 3 999 cm³, seine Leistung 309 kW/420 PS. Das maximale Drehmoment von 400 Newtonmetern beeindruckt ebenso wie die Höchstdrehzahl von 8 300/min⁻¹. Vom Start weg setzt sich der neue BMW M3 mit imponierender Performance an die Spitze.

Idealmaße für optimale Performance.

Mit einem Volumen von 500 cm³ je Zylinder erfüllt das neue V8-Triebwerk bereits in seinen Hubraum-Maßen die Idealvorstellung anspruchsvoller Motorenkonstrukteure. Und auch die übrigen Konstruktionskriterien – von den Abmessungen und Füllmengen über die Bauteile-Anzahl bis hin zum Gewicht – stellen das Optimum dar.

Darüber hinaus besitzt der Achtzylinder die M spezifisch ausgelegten Eigenheiten der Serienautomobile wie Doppel-VANOS, Einzeldrosselklappen und eine leistungsstarke Motorelektronik. Zugleich deuten Zylinderanzahl, das M Hochdrehzahlkonzept und das geringe Gewicht unverkennbar darauf hin, dass sich seine Ingenieure vom Achtzylinder-Motor des

BMW Sauber F1 Teams haben inspirieren lassen. Die Gemeinsamkeiten mit dem aktuellen Triebwerk der Marke in der Formel 1 sind vielfältig. Auch werden diverse technologische Grundprinzipien, Fertigungsverfahren und Materialien aus dem Formel-1-Motor für den Antrieb des neuen BMW M3 übernommen.

In seiner spezifischen Leistung überschreitet der neue V8-Motor die als Maßstab für besonders sportliche Kraftentfaltung geltende Marke von 100 PS je Liter Hubraum deutlich. Doch Leistung ist nicht alles. Das fahrdynamische Erlebnis wird entscheidend vom Beschleunigungsverhalten geprägt, das wiederum sowohl vom Fahrzeuggewicht als auch von der Schubkraft beeinflusst wird. Die Schubkraft an den Antriebsrädern ergibt sich aus dem Motordrehmoment und der Gesamtübersetzung. Das M Hochdrehzahlkonzept ermöglicht eine optimale Getriebe- und Hinterachsübersetzung und damit die Umsetzung einer beeindruckenden Schubkraft. Beim Motor des neuen BMW M3 haben die Ingenieure das Hochdrehzahlprinzip in eine neue Dimension gehoben. Die maximale Drehzahl des Achtzylinder-Motors beträgt $8\,300/\text{min}^{-1}$. Die zweite Komponente der Schubkraft, das Motordrehmoment, beträgt beim neuen V8-Antrieb 400 Newtonmeter bei $3\,900\,\text{min}^{-1}$. Etwa 85 Prozent des maximalen Drehmoments sind über die enorme Drehzahlspannbreite von $6\,500\,\text{min}^{-1}$ hinweg abrufbar. Schon bei $2\,000\,\text{min}^{-1}$ liegen 340 Newtonmeter an.

Hohe Drehzahl, geringes Gewicht.

Masse behindert Beschleunigung. Daher ist der V8 mit nur 202 Kilogramm ein ausgesprochenes Leichtgewicht. Selbst gegenüber dem Sechszylinder-Motor des Vorgängermodells beträgt die Gewichtserspartnis rund 15 Kilogramm. Das Gewicht von zwei zusätzlichen Zylindern wurde also deutlich überkompensiert. Hinzu kommt, dass das Hochdrehzahlkonzept prinzipiell einen leichten Antriebsstrang sowie sehr kurze Übersetzungen ermöglicht.

Gleichwohl rücken bei steigender Motordrehzahl unvermeidlich die Grenzen der Physik näher. Bei $8\,300$ Kurbelwellenumdrehungen in der Minute legt beispielsweise jeder der acht Kolben pro Sekunde einen Weg von 20 Metern zurück. Enorme Materialbelastungen treten dabei auf. Auch deshalb legten die Konstrukteure beim neuen Achtzylinder-Motor höchsten Wert auf möglichst geringe bewegte Massen.

Motorblock aus der Formel-1-Gießerei von BMW.

Der Motorblock des neuen Achtzylinders stammt aus der BMW Leichtmetallgießerei in Landshut. Auch die Motorblöcke für die Formel-1-Boliden entstehen dort. Das Zylinderkurbelgehäuse besteht aus einer speziellen Aluminium-Silizium-Legierung. Statt herkömmlicher Laufbuchsen wird die Zylinderlaufbahn allein durch Freilegen der harten Siliziumkristalle erzeugt. Die eisenbeschichteten Kolben laufen direkt in dieser unbeschichteten, gehonten Bohrung.

Die hohen Drehzahlen, Verbrennungsdrücke und Temperaturen belasten das Kurbelgehäuse extrem. Es ist daher kompakt und verwindungssteif als Bedplate konstruiert, was eine sehr exakte Kurbelwellenlagerung gewährleistet. Auch die relativ kurze geschmiedete Kurbelwelle erweist sich als sehr biege- und torsionssteif. Dennoch wiegt sie nur etwa 20 Kilogramm.

Doppel-VANOS mit Niederdruck.

Mit extrem kurzen Verstellzeiten perfektioniert die variable Nockenwellensteuerung Doppel-VANOS die Gaswechsel. Sie reduziert Ladungswechselverluste und verbessert so Leistung, Drehmoment und das Ansprechverhalten des Motors sowie den Kraftstoffverbrauch und die Abgasemissionen. Dem speziell für den Achtzylinder entwickelten Niederdruck M Doppel-VANOS genügt der normale Motoröldruck, um kürzeste Verstellzeiten zu erreichen. Last- und drehzahlabhängig stellen sie stets den optimalen Spreizungswinkel synchron zu Zündzeitpunkt und Einspritzmenge ein.

Sichere Ölversorgung auch bei extrem dynamischer Fahrweise.

Zwei volumenstromgesteuerte Pendelschieberzellenpumpen versorgen den Achtzylinder mit Schmieröl. Dabei fördern sie jederzeit genau die Menge, welche der Motor benötigt. Eine dynamikoptimierte Nasssumpf-Ölschmierung sichert auch bei extremen Bremsmanövern die Schmierung. Das System weist zwei Ölsümpfe auf: einen kleinen vor dem Vorderachsträger und einen großen dahinter. Eine separate Rückförderpumpe saugt das Öl aus dem vorderen Ölsumpf ab und fördert es in den hinteren.

Acht Einzeldrosselklappen werden elektronisch geregelt.

Die im Rennsport verbreitete Einzeldrosselklappe für jeden Zylinder ist unübertroffen, will man ein möglichst spontanes Ansprechverhalten des Motors erzielen. Das neue Triebwerk für den BMW M3 verfügt über acht Einzeldrosselklappen, von denen jeweils vier einer Zylinderbank von einem separaten Stellmotor bedient werden. Die Steuerung der Drosselklappen erfolgt vollelektronisch und blitzschnell. Dadurch wird ein feinfühliges Ansprechen des Motors im niedrigen Drehzahlbereich erreicht sowie eine unmittelbare Reaktion des Fahrzeuges beim Abrufen hoher Motorleistung.

Strömungsoptimierte Luftansaugung.

Für ein spontanes Dynamikverhalten des Motors sind die Drosselklappen in den Saugrohren sehr dicht an den Einlassventilen platziert. Auch Länge und Durchmesser der Ansaugtrichter begünstigen die Schwingrohraufladung. Zur Gewichtsoptimierung bestehen Trichter und Luftsammler aus einem leichten Verbundwerkstoff mit 30-prozentigem Glasfaseranteil.

Innovative Abgasanlage.

Die Auslegung der Abgasanlage für den neuen V8-Motor optimiert ihrerseits die Ladungswechsel zu Gunsten eines bestmöglichen Leistungs- und Drehmomentverhaltens. Auch bei dieser Komponente wurde entwicklungsseitig auf konsequenten Leichtbau geachtet.

Die Abgasrohre entstehen im Innenhochdruck-Umformverfahren (IHU). Dabei werden die gewünschten Konturen der Edelstahlrohre unter einem Druck von bis zu 800 bar von innen her ausgeformt. Das Ergebnis ist eine extreme Dünnwandigkeit von nur 0,65 bis 1,0 Millimeter. Dadurch lassen sich die Strömungswiderstände, das Gewicht sowie das Ansprechverhalten der Katalysatoren optimieren. Vier Katalysatoren reinigen die Abgase. Der Motor erfüllt die europäische EU4-Norm sowie die Bestimmungen der US-amerikanischen LEV 2-Klassifizierung.

Noch leistungsfähiger: das Motorsteuergerät.

Eine Weiterentwicklung stellt auch die Motorsteuerung des V8-Antriebs dar. Sie koordiniert alle Motorfunktionen optimal. Beispielsweise ermittelt sie aus mehr als 50 Eingangssignalen zylinderindividuell und für jeden Arbeitstakt den optimalen Zündzeitpunkt, die ideale Füllung, die Einspritzmenge sowie den Einspritzzeitpunkt. Synchron dazu werden die optimale Nockenwellenspreizung errechnet und eingestellt sowie die jeweilige Stellung der acht Einzeldrosselklappen. Außerdem unterstützt das Steuergerät die M spezifischen Funktionen von Kupplung, Getriebe, Lenkung und Bremse.

Schließlich übernimmt die Motorsteuerung umfassende On-Board-Diagnoseaufgaben mit verschiedenen Diagnoseroutinen für die Werkstatt sowie weitere Funktionen und die Steuerung von Peripherieaggregaten.

Highlight in der Motorsteuerung: Ionenstromtechnologie.

Ein Highlight der Motorsteuerung ist die Ionenstromtechnologie zur Erkennung von Motorklopfen sowie Zünd- und Verbrennungsaussetzern. Im Unterschied zu herkömmlichen Verfahren erfolgt dies direkt am Ort des Geschehens, nämlich im Verbrennungsraum. Hierzu wird über die Zündkerze in jedem Zylinder ein eventuelles Klopfen sensiert und geregelt. Gleichzeitig werden die korrekte Zündung kontrolliert und eventuelle

Aussetzer erkannt. Die Zündkerze wirkt also als Aktuator für die Zündung und als Sensor zur Beobachtung des Verbrennungsprozesses. Sie unterscheidet damit zwischen Verbrennungs- und Zündaussetzern. Diese doppelte Funktionalität der Zündkerze erleichtert auch die Diagnose bei Wartungs- und Servicearbeiten.

Mehr Effizienz und Dynamik dank Brake Energy Regeneration.

Um die Effizienz des neuen V8-Motors noch weiter zu steigern, wird mit der Brake Energy Regeneration ein intelligentes Energiestrommanagement betrieben, das die Erzeugung von Strom für das Bordnetz auf die Schub- und Bremsphasen konzentriert. Auf diese Weise wird die Fahrzeugbatterie geladen, ohne dass dazu auf die Motorleistung und damit auf die im Kraftstoff enthaltene Energie zugegriffen werden muss. Während der Zugphasen des Motors bleibt der Generator dagegen im Regelfall abgekoppelt. Neben einer besonders effizienten Stromgewinnung führt dies auch dazu, dass beim Beschleunigen mehr Antriebskraft zur Umsetzung in Fahrdynamik zur Verfügung steht.

In jeder Hinsicht mehr: Der neue V8-Motor für den BMW M3. (Langfassung)



Ein außergewöhnlicher Motor für einen außergewöhnlichen Sportwagen: Das V8-Triebwerk für den neuen BMW M3 hebt den Fahrspaß, den der High-Performance-Zweitürer der BMW M GmbH vermittelt, in bisher unerreichte Dimensionen. Die Kombination dieses Antriebs mit diesem einzigartigen Fahrzeugkonzept steckt voller Faszination.

Faszination V8: Die Herzen aller Autofans schlagen höher bei einem V8. Das gilt erst recht, wenn es sich dabei um den hochdrehenden Saugmotor eines kompromisslosen Sportwagens handelt. Faszination Formel 1: Die Königsklasse des Autorennsports setzt – wieder einmal – auf den Achtzylinder-Motor. Und die Parallelen zwischen dem Triebwerk des BMW Sauber F1 Teams und dem Motor des neuen BMW M3 sind unverkennbar. Faszination BMW M3: Mit dem neuen V8-Motor setzt der bereits legendäre Sportwagen BMW M3 erneut den Maßstab in seiner Klasse. Und er baut seinen Vorsprung im Wettbewerb noch weiter aus – mit dem hubraum- und leistungsstärksten Motor, der je einen serienmäßigen BMW M3 angetrieben hat.

Die technischen Daten belegen den enormen Fortschritt, der mit dem Wechsel vom über 15 Jahre lang dominierenden Reihensechszylinder-Motor zum neuen Achtzylinder einhergeht. Sein Hubraum beträgt 3999 cm³, seine Leistung 309 kW/420 PS. Das maximale Drehmoment von 400 Newton-metern beeindruckt ebenso wie die Höchstdrehzahl von 8 300/min⁻¹. 20 Jahre, nachdem der erste BMW M3 das Segment leistungsstarker Sportwagen begründete, weist die vierte Generation den Weg in eine neue Dimension des Fahrvergnügens.

Nach 15 Jahren: Abschied vom Sechszylinder, Debüt für den V8.

Das Bessere ist des Guten Feind. Das gilt auch für den Motor des „Autos des Jahrhunderts“, wie das französische Fachblatt „Auto Plus“ vor 15 Jahren dem BMW M3 der zweiten Generation euphorisch huldigte. Doch mit der Kraftkur für die dritte BMW M3 Generation auf erstmals mehr als 100 PS je Liter Hubraum ist das technische Potenzial des Reihensechszylinders optimal genutzt. Eine noch weiter gehende Steigerung der Leistungsausbeute hätte die Fahrdynamik getrübt. Denn stark belastete Teile hätten noch stabiler und damit schwerer ausfallen müssen. Die Konsequenz: Mit dem Debüt der vierten Generation des BMW M3 kommt es auch unter der Motorhaube zu einem Wechsel: Start frei für den neuen V8-Motor.

Seine 309kW/420 PS Leistung markieren zugleich einen gebührenden Abstand zur Topmotorisierung der BMW 3er-Reihe, dem 3.0 Liter-Reihensechszylinder mit Twin Turbo-Technik und 225 kW/306 PS. Der einzigartige Charakter eines Hochleistungsfahrzeugs der BMW M GmbH bleibt so auch beim neuen BMW M3 in jeder Hinsicht gewahrt.

Die Idealformel der Motorkonstrukteure: 8 x 500 = 4000.

Acht Zylinder, vier Liter Hubraum. Damit erfüllt das neue Triebwerk auch dem Motorenkonstrukteur einen Traum. Denn das Brennraumvolumen von 500 cm³ je Zylinder gilt als ideal. Ein ähnlich leistungsstarker Sechszylinder hätte von dieser Idealgeometrie eines Sportmotors abweichen müssen. Das neue V8-Aggregat hingegen stellt in seinen Abmessungen, den Füllmengen, der Bauteile-Anzahl und dem Eigengewicht das theoretische und praktische Optimum dar.

Das Hochdrehzahlkonzept in einer neuen Dimension.

Dabei bleiben seine Konstrukteure dem M typischen Hochdrehzahlkonzept treu. Mehr noch: Sie hoben es auf ein bislang nicht erreichtes Niveau. Der neue V8-Motor erreicht eine Maximaldrehzahl von 8 300/min⁻¹ und damit auf einen Wert, der bislang allenfalls Rennsportmotoren oder exotischen Einzelstücken vorbehalten blieb. Bis heute wagt sich kaum ein Konstrukteur eines Serienmotors in diese Drehzahlregion vor.

Für die Hochleistungs-Saugmotoren der BMW M GmbH hingegen gehört das Hochdrehzahlprinzip zur Tradition, denn es generiert aus den hohen Drehzahlen eine enorme Schubkraft. Technische Umwege über eine Hubraumvergrößerung oder eine Aufladung werden damit überflüssig, die mit ihnen oftmals verbundene Erhöhung des Gewichts und des Verbrauchs vermeidbar. Mit dem Hochdrehzahlkonzept stellen die Motorenentwickler sicher, dass die Spontaneität, also die blitzschnelle Reaktion des Motors auf Fahrerwünsche, den hohen Ansprüchen an das Gesamtkonzept eines M Fahrzeugs entspricht. Entsprechend erweist sich auch der neue V8-Antrieb im Leistungspotenzial, in der Art der Kraftentfaltung, in seinen Abmessungen und im Gewicht als typischer M Motor.

Formel 1 als Pate, Ingenieure von BMW M als Wegbereiter.

Darüber hinaus besitzt auch der Achtzylinder die bekannten M spezifischen Eigenheiten wie Doppel-VANOS, Einzeldrosselklappen und eine leistungsstarke Motorelektronik. Zugleich deuten Zylinderanzahl, Hochdrehzahlkonzept und das geringe Gewicht an, dass sich seine Ingenieure vom Achtzylinder-Triebwerk des BMW Sauber F1 Teams haben inspirieren lassen, dem aktuellen Triebwerk der Marke in der Königsklasse des AutomobilSports. Gemeinsamkeiten bestehen nicht nur bei den technologischen

Grundprinzipien, sondern auch im Bereich der Fertigungsverfahren und Materialien. Dies belegt den Technologietransfer vom Motorsport zur Serie. Ein Unterschied aber wird immer bleiben: Der BMW M3 wird nicht nur an Rennwochenenden hart beansprucht. Sein High-Performance-Triebwerk arbeitet zuverlässig jeden Tag, auf allen Straßen, bei jeder Witterung und in jahrelangem Einsatz.

20 Prozent mehr Leistung – eine neue Dimension der Fahrdynamik.

Ein neuer BMW M3 muss vor allem eines bieten: noch mehr Leistung. Rund 20 Prozent beträgt das Leistungsplus für die vierte Generation des BMW M3, dessen Motor nunmehr 309 kW/420 PS mobilisiert. Der Achtzylinder überschreitet in seiner spezifischen Leistung die als Maßstab für besonders sportliche Kraftentfaltung geltende Marke von 100 PS je Liter Hubraum deutlich. Doch Leistung ist nicht alles. Das fahrdynamische Erlebnis wird entscheidend vom Beschleunigungsverhalten geprägt, das wiederum sowohl vom Fahrzeuggewicht als auch von der Schubkraft beeinflusst wird.

Am Fahrzeuggewicht, also der Masse, die es zu beschleunigen gilt, spielt der Motor einen wesentlichen Anteil. Schließlich ist er eines der schwersten Bauelemente im Auto überhaupt. Auch bei diesem Kriterium setzt der neue BMW M3 einen neuen Maßstab: Mit einem Gewicht von 202 Kilogramm zählt sein V8-Triebwerk zu den leichtesten Achtzylinder-Motoren im Wettbewerb. Zum Vergleich: Der 294 kW/400 PS starke V8 im Vorgängermodell des aktuellen BMW M5 wog 240 Kilogramm. Trotz höherer Leistung gelang es also, das Gewicht um mehr als 15 Prozent zu reduzieren. Selbst gegenüber dem Sechszylinder-Motor im bisherigen BMW M3 beträgt die Gewichtersparnis rund 15 Kilogramm. Das Mehrgewicht, das durch zwei zusätzliche Zylinder entsteht, wird also deutlich überkompensiert.

Hochdrehzahlkonzept bringt Leistung und Drehmoment zur Geltung.

Die zweite Komponente der Fahrdynamik, die tatsächlich generierte Schubkraft an den Antriebsrädern, ergibt sich aus dem Motordrehmoment und der Gesamtübersetzung. Mit 400 Newtonmetern bei $3\,900\text{ min}^{-1}$ liegt das maximale Drehmoment des Achtzylinders rund zehn Prozent höher als beim Reihensechszylinder-Motor des Vorgängermodells. Schon bei $2\,000\text{ min}^{-1}$ liegt ein Drehmoment von 340 Newtonmetern an. Etwa 85 Prozent des maximalen Drehmoments sind über die – für einen Sportwagenmotor – enorme Drehzahlbreite von $6\,500\text{ min}^{-1}$ hinweg abrufbar. Dies schlägt sich im Leistungscharakter des neuen BMW M3 nieder. Er lässt sich nicht nur extrem dynamisch bewegen. Ebenso empfiehlt er sich hervorragend für das zügige Cruisen über kurvenreiche Landstraßen oder im Stadtverkehr.

Schließlich – und für das Gesamtergebnis entscheidend – ermöglicht das Hochdrehzahlkonzept in seiner M spezifischen Ausprägung die optimale Getriebe- und Hinterachsübersetzung und garantiert damit die perfekte Umsetzung der beeindruckenden Schubkraft. Der damit erzielte Effekt lässt sich anhand eines Beispiels anschaulich machen: Schaltet ein Radfahrer am Berg zurück, muss er zwar schneller treten, kann aber nahezu jede Steigung bewältigen. Bleibt er im selben Gang oder schaltet er gar hoch, muss er mit mehr Kraft in die Pedale treten oder absteigen. Bei gleicher Kraft wird von zwei Radfahrern stets derjenige gewinnen, der schneller zu treten vermag.

Hohe Drehzahl, geringes Gewicht.

Mehr Kraft allein, also ein höheres Drehmoment, verhilft hingegen nicht zum Sieg. Der BMW M3 übertrumpft auch diejenigen Wettbewerber, die auf das Drehmomentkonzept vertrauen. Deren extrem hohes Drehmoment muss nämlich über einen massiv verstärkten und damit schweren Antriebsstrang übertragen werden – Gewichte und Massen, die erst einmal beschleunigt werden müssen. Das Hochdrehzahlkonzept ermöglicht hingegen einen erheblich leichteren Antriebsstrang sowie deutlich kürzere Übersetzungen.

Andererseits ist das M Hochdrehzahlkonzept technologisch äußerst anspruchsvoll. Wurde die Höchstdrehzahl des Reihensechszylinders noch bei $8\,000/\text{min}^{-1}$ elektronisch begrenzt, überschreitet der neue Achtzylinder-Motor die Marke deutlich – bis hin zu einer Maximaldrehzahl von $8\,300/\text{min}^{-1}$. Weltweit ist das Triebwerk der höchstdrehende V8-Motor, der in einer deutlich über das Kleinserienniveau hinausgehenden Stückzahl hergestellt wird.

Damit schiebt der neue BMW M3 Motor die Grenzen des technisch Machbaren im Serienmotorenbau weiter hinaus. Denn je höher die Drehzahl ausfällt, desto näher rücken die Grenzen der Physik. Bei 8300 Kurbelwellenumdrehungen in der Minute legt jeder der acht Kolben pro Sekunde einen Weg von 20 Metern zurück. Auch diese Kolbengeschwindigkeit gehörte bis vor kurzem in die exklusive Welt des Motorsports. Für den Serienbau erschienen die dabei auftretenden Materialbelastungen als zu hoch.

Konstruktionsziele: kompakt, steif, leicht.

Bei der Entwicklung des neuen Achtzylinder-Motors strebten die Konstrukteure möglichst geringe bewegte Massen an. Speziell im Kurbel- und Ventiltrieb sollten minimale rotatorisch bewegte Massen erzielt werden. Sie setzten daher zwei Vierzylinder-Reihen in einem V-Winkel von 90 Grad mit einem Bankversatz von 17 Millimetern zu einem kompakten Aggregat zusammen. Der 90-Grad-Winkel wurde wegen seines schwingungs- und komfortorientierten Massenausgleichs gewählt. Im Ergebnis löst diese Baugeometrie optimal den Zielkonflikt aus größtmöglicher Vibrationsarmut und Bauteilefestigkeit.

Motorblock aus der Formel-1-Gießerei von BMW.

Der Motorblock für den Antrieb des neuen BMW M3 stammt aus der BMW Leichtmetallgießerei in Landshut. Dort werden auch die Motorblöcke für die Formel-1-Boliden gegossen. Das Zylinderkurbelgehäuse wird im Niederdruck-Kokillengussverfahren aus einer übereutektischen Aluminium-Silizium-Legierung hergestellt. Der Silizium-Anteil beträgt mindestens 17 Prozent. Die Zylinderlaufbahn wird durch Freilegen der harten Siliziumkristalle erzeugt – die eisenbeschichteten Kolben laufen direkt in dieser unbeschichteten, gehonten Bohrung und benötigen daher keine zusätzlichen Laufbuchsen. Der Hub der Kolben beträgt 75,2 Millimeter, die Bohrung 92 Millimeter, was den Gesamthubraum von 3 999 cm³ ergibt.

Die hohen Drehzahlen, Verbrennungsdrücke und Temperaturen belasten das Kurbelgehäuse extrem. Es ist daher sehr kompakt und verwindungssteif als so genannte Bedplate-Konstruktion ausgelegt, eine Bauart, die sich im Rennsport bewährt hat. Das Bedplate aus Aluminium-Kokillen-Guss ist mit Grauguss-Inlays ausgestattet, die eine sehr exakte Kurbelwellenlagerung gewährleisten. Diese Konstruktion hält speziell das Hauptlagerspiel über den gesamten Betriebstemperaturbereich in engen Grenzen, da die Grauguss-Inlays die Wärmeausdehnung des Aluminiumgehäuses reduzieren. Der Öldurchsatz bleibt so nahezu konstant. Damit sich die Inlays formschlüssig mit dem Aluminiumrahmen verbinden, sind sie mit Durchbrüchen versehen.

Weil die Zylinderabstände nur 98 Millimeter betragen, kann die Kurbelwelle aus geschmiedetem, hochfestem Stahl kurz bleiben. Dadurch ist sie sehr biege- und torsionssteif. Zudem wiegt sie nur 20 Kilogramm. Fünffach gelagert, misst ihr Hauptlagerdurchmesser 60 Millimeter bei einer tragenden Lagerbreite von 28,2 Millimetern. Je zwei Pleuel greifen an einem der vier Hubzapfen an, die ihrerseits um 90 Grad zueinander versetzt sind.

Leichtbau speziell bei den bewegten Massen.

Die gewichtsoptimierten Kastenkolben sind aus einer hochtemperaturfesten Aluminium-Legierung gegossen und eisenbeschichtet. Sie wiegen nur 481,7 Gramm inklusive Kolbenbolzen und -ringen. Die Kompressionshöhe beträgt 27,4 Millimeter bei einer Verdichtung von 12,0 : 1. Die Kolben werden durch am Hauptölkanal angeschlossene Ölspritzdüsen gekühlt. Die 140,7 Millimeter langen, gecrackten Trapezpleuel bestehen aus einer hochfesten Stahl-Magnesiumlegierung. Jede Pleuelstange wiegt einschließlich der Lagerschalen nur 623 Gramm, was die oszillierenden Massen erheblich reduziert.

Die einteiligen Aluminium-Zylinderköpfe weisen die für BMW Motoren typischen vier Ventile je Zylinder auf. Ballige Tassenstößel mit hydraulischem Ventilspielausgleich (HVA) betätigen die jeweils 42 Gramm leichten Ventile. Der Stößeldurchmesser beträgt lediglich 28 Millimeter. Einlass- und Auslassventile messen im Durchmesser 35 beziehungsweise 30,5 Millimeter. Ihr nur fünf Millimeter starker Schaft beeinträchtigt kaum die Strömung im Einlasstrakt. Dank des HVA ist eine Verstellung des Ventilspiels ausgeschlossen. Dies führt zu dauerhafter Zuverlässigkeit und obendrein zu reduzierten Wartungskosten.

Der Motor bewahrt stets einen kühlen Zylinderkopf.

Gegenüber konventionellen Systemen minimiert das Querstromkühlungskonzept des neuen V8-Motors deutlich die Druckverluste im Kühlsystem. Es verteilt die Temperatur gleichmäßig im Zylinderkopf und senkt dadurch die Temperaturspitzen in dessen kritischen Bereichen. Um jeden Zylinder optimal mit Kühlflüssigkeit zu umspülen, strömt es vom Kurbelgehäuse über die Auslassseite quer durch den Zylinderkopf und über die Sammelleiste auf der Einlassseite zum Thermostat beziehungsweise Kühler.

Doppel-VANOS – aber mit Nieder- statt Hochdruck.

Bei der konzeptionellen Auslegung des Motors stand die Leistungserhöhung durch optimalen Ladungswechsel bei gleichzeitig hohen Drehzahlen im Fokus der Ingenieure. Denn verringerte Ladungswechselverluste bringen nicht nur mehr Leistung, sondern sie sorgen auch für einen besseren Drehmomentverlauf, für ein optimales Ansprechverhalten, für einen reduzierten Verbrauch und für geringere Emissionen. Diese Anforderungen entsprechen der Aufgabenbeschreibung für die variable Nockenwellensteuerung Doppel-VANOS. Sie feierte schon im Jahre 1995 ihre Weltpremiere im BMW M3.

Mit ihren extrem kurzen Verstellzeiten perfektioniert die Doppel-VANOS nun auch im Achtzylinder-Motor des neuen BMW M3 die Gaswechsel. Beispielsweise fährt sie im unteren Last- und Drehzahlbereich mit einer höheren Ventilüberschneidung und damit intensiverer innerer Abgasrückführung. Dies reduziert die Ladungswechselverluste und mindert den Kraftstoffverbrauch.

Von der Gaspedalstellung und der Motordrehzahl hängt ab, welche Leistung vom Motor abgefordert wird. Diesen beiden Parametern passt die Doppel-VANOS die Spreizungen der Nockenwellen stufenlos und kennfeldgesteuert an. Im Unterschied zum Zehnzylindermotor von BMW M5 und BMW M6 verbindet beim Achtzylinder keine Einfach-, sondern eine Doppelkette Kurbelwelle und Kettenrad. Dieses wiederum ist durch einen Schwenkrotor an die Nockenwelle gekoppelt und nicht durch ein schräg verzahntes Getriebe.

Der Vorteil: Im Gegensatz zum V10-Motor mit Hochdruck-VANOS reicht dem für den Achtzylinder entwickelten Niederdruck M Doppel-VANOS der Motoröldruck für die Beaufschlagung des Schwenkrotors aus. Auch ohne separates Hochdruck-Leitungssystem wird so eine relative Verdrehung von Nockenwelle zu Kettenrad mit maximaler Geschwindigkeit und Präzision bewirkt. Der Spreizungswinkel der Einlassnockenwelle lässt sich um bis zu 58 Grad variieren, derjenige der Auslassnockenwelle um bis zu 48 Grad. Die maximale Verstellgeschwindigkeit beträgt 360 Grad Kurbelwinkel pro Sekunde. Die Niederdruckverstellung garantiert also kürzeste Verstellzeiten und somit last- und drehzahlabhängig den optimalen Spreizungswinkel synchron zu Zündzeitpunkt und Einspritzmenge.

Sichere Ölversorgung auch bei extrem dynamischer Fahrweise.

Die hohe Fahrdynamik des BMW M3 erfordert eine aufwändige Ölversorgung des Motors. Sie ist ausgelegt auf Längs- und Querbeschleunigungen bis zum 1,4-fachen der normalen Erdbeschleunigung. Das übertrifft die Kräfte, die bei Start und Landung eines Düsenjets auf den Körper der Passagiere einwirken.

Zwei volumenstromgesteuerte Pendelschieberzellenpumpen versorgen den Achtzylinder in jeder Fahrsituation mit Schmieröl. Dabei fördern sie stets genau die Menge, welche der Motor benötigt. Erreicht wird dies durch eine veränderbare Exzentrizität (außermittige Anordnung) des Innenrotors der Pumpe zum Pumpengehäuse in Abhängigkeit des anliegenden Öldrucks im Hauptölkanal.

Aufgrund der in extrem fahrdynamischen Situationen herrschenden physikalischen Kräfte wäre es denkbar, dass bei besonders starken Bremsmanövern nicht ausreichend Öl in den als Zwischenspeicher fungierenden Ölsumpf zurückfließen könnte, zumal dieser aus Platzgründen hinter dem Vorderachsträger angeordnet ist. Im widrigsten Fall wäre dann die Schmierung unterbrochen. Die „dynamikoptimierte Nasssumpf-Ölschmierung“ verhindert dies. Das System weist zwei Ölsümpfe auf: einen kleinen vor dem Vorderachsträger und einen großen dahinter. Eine separate Rückförderpumpe saugt das Öl unter allen Umständen aus dem vorderen kleinen Ölsumpf ab und fördert es in den hinteren, großen. Dieser ist sorgfältig abgeschirmt, um Panschverluste und Verschäumung zu vermeiden.

Der neue Achtzylinder-Motor ist mit einer elektronischen Ölstandskontrolle ausgestattet. Sie ermittelt die Messwerte über einen in der Ölwanne eingebauten Sensor. Dessen Daten überträgt ein serieller Datenbus an das Motormanagement, welches sie mit Hilfe verschiedener Algorithmen bewertet. Der über die Quer- und Längsbeschleunigung korrigierte Wert wird dem Fahrer im Kombiinstrument angezeigt.

Acht Einzeldrosselklappen werden elektronisch geregelt.

Im Rennsport ist sie Standard, im allgemeinen Automobilbau selten – die Einzeldrosselklappe für jeden Zylinder. Dieses mechanisch äußerst aufwändige System ist unübertroffen, soll der Motor möglichst spontan ansprechen. Und genau darauf kommt es bei einem BMW M Auto an.

Das dem Motorsport so nahe stehende Triebwerk für den BMW M3 verfügt über acht Einzeldrosselklappen. Jeweils vier einer Zylinderbank werden von einem Stellmotor bedient. Die Steuerung der Drosselklappen erfolgt elektronisch. Dazu wird die Position des Fahrpedals mittels zweier berührungsloser Hall-Potentiometer 200-fach pro Sekunde abgetastet und ausgewertet. Das Motormanagement registriert Veränderungen und verstellt dann über die beiden Stellmotoren die Einzeldrosselklappen. Dies geschieht blitzartig: Für die maximale Öffnung der Drosselklappen werden nur 120 Millisekunden benötigt – etwa so lange, wie ein routinierter Fahrer braucht, um das Gaspedal durchzutreten. Einerseits spricht dadurch der Motor bei niedrigen Drehzahlen feinfühlig an, andererseits erfolgt beim Abrufen hoher Motorleistung eine unmittelbare Reaktion des Fahrzeuges.

Strömungsoptimierte Luftansaugung.

Für ein spontanes Dynamikverhalten des Motors darf auf der Saugseite der Drosselklappe nur ein sehr geringes Luftvolumen bestehen. Dem stehen jedoch die großen Ansaugquerschnitte und das große Luftsammlervolumen entgegen, welche ein Hochleistungsmotor benötigt. Um beide Anforderungen zu erfüllen, sind die Drosselklappen in den Saugrohren dicht an den Einlassventilen platziert.

Die gesamte Ansaugluftführung des neuen Achtzylinder-Triebwerks kommt ohne die Sensorik eines Heißfilm-Luftmassen-Durchflussmessers (HFM) aus. Statt der Lasterfassung durch diesen aufwändigen Sensor, der überdies nachteilige geometrische Anforderungen an die Luftführung stellt, übernimmt die Motorsteuerung des V8 diese Aufgabe: Hierzu erstellt sie eine modellbasierende Lastberechnung aus den Positionen von Drosselklappe und Leerlaufsteller, VANOS-Position, Motordrehzahl, Lufttemperatur und Luftdruck. Dadurch ergeben sich für die Ingenieure neue Freiheitsgrade bei der Gestaltung und Optimierung der Motorluftansaugung. Gleichzeitig arbeitet diese Art der Steuerung mit maximaler Zuverlässigkeit.

Auch Länge und Durchmesser der acht Ansaugtrichter begünstigen die optimale Schwingrohr-Aufladung. Wie der einteilige, großvolumige Luftsammler bestehen die Trichter aus einem leichten Verbundwerkstoff mit 30-prozentigem Glasfaseranteil. Die Luftfilter-Patrone im Sammler nutzt die maximal mögliche Filterfläche. Versorgt wird der Luftsammler von einem großvolumigen Ansauggeräuschdämpfer mit drei Ansaugöffnungen.

Innovative Abgasanlage.

Die Auslegung der Abgasanlage optimiert ihrerseits den Ladungswechsel. Für ein bestmögliches Leistungs- und Drehmomentverhalten des Achtzylinders wurde konsequent auf einen möglichst geringen Gegendruck geachtet. Aus diesem Grund werden die Abgase zweiflutig bis in den Nachschalldämpfer geleitet. Ebenfalls wurde entwicklungsseitig auf konsequenten Leichtbau geachtet. Um diese und weitere Entwicklungsziele zu realisieren, wurden die Konstruktionsmaße für Auspuffkrümmer, Abgasanlage sowie sämtliche Aufhängungs- und Befestigungselemente mit dem CAD-Computersystem CATIA berechnet. Die dabei gewonnenen 3D-Daten werden durchgängig bis in die Produktion und Qualitätssicherung verwendet.

Druckvolle Innovation für hauchdünne Rohre.

Die besondere Innovationskraft des Motorenbau bei der BMW M GmbH zeigt sich auch in den genutzten Fertigungstechniken. Das so genannte Innenhochdruck-Umformverfahren (IHU) wurde 1992 weltweit erstmalig für den damaligen BMW M3 eingesetzt und seitdem kontinuierlich weiter verfeinert. Mit dem IHU werden die nahtlosen Abgasrohre aus Edelstahl unter einem Druck von bis zu 800 bar von innen her ausgeformt. Das Ergebnis ist eine extreme Dünnwandigkeit – die Wandstärken liegen zwischen 0,65 und 1,0 Millimetern. Dadurch lassen sich sowohl das Gewicht der Abgasanlage als auch das Ansprechverhalten der Katalysatoren optimieren. Zugleich ermöglicht die IHU-Technologie eine zuvor nicht realisierbare Formgebung und noch günstigere geometrische Toleranzen. Weil sämtliche Primär- und Sekundärrohre trotz ihrer komplexen Form einteilig sind, entfallen etliche Steckstellen und Schweißnähte. Auch gibt es keine Querschnittsveränderung durch Faltungen oder eingefallene Bögen. Dadurch werden die maximalen Rohrquerschnitte genutzt, was die Strömungswiderstände minimiert.

Vorbildlich sauber und hörbar sportlich.

Eine Rohrfächerbauweise für die Auspuffkrümmer findet sich in der Regel nur bei Rennmotoren. Beim V8 sind die beiden 4-in-1-Rohrfächerkrümmer aus Edelstahl in aufwändigen Rechenverfahren auf gleiche Längen und Durchmesser optimiert worden. So wird die gasdynamische Auslegung der Anlage maximal ausgenutzt. Zwei Katalysatoren – einer je Abgasstrang – sind motornah platziert. Diese Primär-Katalysatoren erreichen rasch ihre optimale Betriebstemperatur, weil die dünnwandige Ausführung der Abgaskrümmer die thermische Trägheit des Materials beim Aufheizen sehr begrenzt. Dadurch sprechen sie speziell nach dem Kaltstart schnellstmöglich an. Die Katalysatoren zeichnen sich durch einen niedrigen Druckverlust und hohe mechanische Festigkeit aus. Zwei weitere trimetallbeschichtete

Katalysatoren sind im Unterboden angeordnet. Zusammen reinigen die vier Katalysatoren die Abgase überaus wirkungsvoll. Der neue V8-Motor erfüllt die Bestimmungen der europäischen EU4-Norm beziehungsweise der US-amerikanischen LEV 2-Klassifizierung.

Vorbildlich gering fallen auch die Geräuschemissionen aus: Neben den beiden Zwischenschalldämpfern trägt vor allem der quer liegende, einteilige Nachschalldämpfer mit seinem sehr großen Volumen von 35 Litern zur Reduzierung des Geräuschpegels bei. Ein außergewöhnlicher Klangcharakter ist dem neuen V8-Motor dennoch sicher. Auch der Achtzylinder zeichnet sich durch einen M typischen, dabei aber eigenständigen rennsportlich-kernigen Sound aus.

Mehr Effizienz und Dynamik dank Brake Energy Regeneration.

Auch beim neuen V8-Motor für den BMW M3 wird die Effizienz der Antriebsseinheit mithilfe der Brake Energy Regeneration noch weiter gesteigert. Sie ermöglicht es, die Erzeugung von elektrischer Energie für das Bordnetz auf die Schub- und Bremsphasen des Motors zu konzentrieren. Dieses vom Fahrzustand abhängige Energiemanagement wird durch die intelligente Generatorregelung gewährleistet. Der Einsatz der Brake Energy Regeneration hat in der Fahrpraxis zwei Vorteile. Zum einen bewirkt die gezielt gesteuerte Erzeugung elektrischer Energie eine Verbrauchsreduzierung. Zum anderen profitiert der Fahrer unmittelbar von der Abkoppelung des Generators in Lastphasen. Weil die Stromerzeugung im Zugbetrieb ausgesetzt wird, steht beim Beschleunigen mehr Antriebskraft zur Verfügung – neben der Wirtschaftlichkeit steigt damit auch der Fahrspaß.

Weil mit der gezielten Steuerung der Stromerzeugung die Zahl der Ladezyklen ansteigt, wird die Brake Energy Regeneration mit modernen Batterien vom Typ AGM (Absorbent Glass Mat) kombiniert. Sie sind erheblich belastbarer als herkömmliche Blei-Säure-Batterien. Bei AGM-Batterien wird die Säure in Mikroglasfasermatten zwischen den Bleischichten gebunden. Ihre Energiespeicherfähigkeit bleibt auch bei häufigem Auf- und Entladen lange erhalten.

Noch leistungsfähiger: das neue Motorsteuergerät.

Zentral verantwortlich für die hervorragenden Leistungs- und Emissionsdaten ist die Motorsteuerung MSS60. Bei ihr handelt es sich um eine Weiterentwicklung der im V10-Antrieb der BMW M GmbH eingesetzten Motorsteuerung. Weist diese mit mehr als 1000 Einzelbauteilen bereits eine im Wettbewerb unerreicht hohe Packagedichte auf, so wurde die Bauteileanzahl in der MSS60 sogar noch gesteigert.

Die MSS60 koordiniert optimal alle Motorfunktionen mit den verschiedenen Fahrzeugsteuergeräten. Ihre drei 32-Bit-Prozessoren sind in der Lage, mehr als 200 Millionen Einzeloperationen pro Sekunde abzuarbeiten.

Beispielsweise ermittelt sie aus mehr als 50 Eingangssignalen zylinder-individuell und für jeden Arbeitstakt den optimalen Zündzeitpunkt, die ideale Füllung, die Einspritzmenge sowie den Einspritzzeitpunkt. Synchron dazu wird die optimale Nockenwellenspreizung errechnet und eingestellt, gleiches gilt für die Stellungen der acht Einzeldrosselklappen.

Die Steuerung der elektronischen Drosselklappenregelung basiert auf einer Momentenstruktur. Hierbei wird der jeweilige Fahrerwunsch über das Potentiometer am Gaspedal gemessen und in ein Wunschmoment übersetzt. Im Momentenmanager wird dieses Wunschmoment um die Bedarfsmomente der Nebenaggregate wie Klimakompressor oder Generator korrigiert. Auch Leerlaufregelung, Abgasreinigung und Klopfregelung werden koordiniert sowie mit den geforderten Maximal- beziehungsweise Minimalmomenten der Dynamischen Stabilitäts Control (DSC) und der Motor-Schleppmomenten-Regelung (MSR) abgeglichen. Das so berechnete Sollmoment wird dann unter Berücksichtigung des aktuellen Zündwinkels eingestellt.

Umfassende Zusatzaufgaben für die Motorsteuerung.

Doch ist die MSS60 mehr als ein Motorsteuergerät im engeren Sinne. Weil ihre Hardware, Software und Funktionsweise von der BMW M GmbH eigenständig entwickelt wurde, unterstützt sie viele M spezifische Funktionen aus den Bereichen Kupplung, Getriebe, Lenkung und Bremse.

So wird es dem Fahrer auch im neuen BMW M3 möglich sein, über die Power-Taste auf der Wählhebelabdeckung ein sportlicheres Programm zu aktivieren. Hierbei wird bezüglich Gaspedalweg zu Drosselklappenöffnung eine progressivere Kennlinie benutzt, und die dynamischen Übergangsfunktionen der elektronischen Motorsteuerung schalten auf spontaneres Ansprechen um. Das komfortablere der beiden Programme schaltet sich mit dem Starten des Motors automatisch ein. Die Programm-Umschaltung kann im MDrive vorkonfiguriert und abgerufen werden. Im MDrive ist auch ein weiteres, sehr sportliches Programm abzurufen.

Schließlich übernimmt die Motorsteuerung umfassende On-Board-Diagnoseaufgaben mit verschiedenen Diagnoseroutinen für die Werkstatt sowie weitere Funktionen und die Steuerung von Peripherieaggregaten.

Highlight in der Motorsteuerung: die Ionenstromtechnologie.

Ein Highlight des Motorsteuergeräts ist die Ionenstromtechnologie zur Erkennung von Motorklopfen sowie Zünd- und Verbrennungsaussetzern. Diese BMW Innovation wurde serienmäßig erstmals im V10-Motor des BMW M5 eingesetzt. In ihrer neuesten Entwicklungsstufe ist der Ionenstrom-Satellit entfallen; seine Funktion wurde in die Zündspule integriert.

Als Klopfen wird die unerwünschte Selbstentzündung des Kraftstoffs im Zylinder bezeichnet. Motoren ohne Klopffregelung werden niedriger verdichtet und mit einem späteren Zündzeitpunkt gesteuert, denn ein Überschreiten der Klopfgrenze könnte den Motor schädigen. Dieser „Sicherheitsabstand“ kostet Kraftstoff, Motorleistung und Drehmoment. Eine aktive Klopffregelung realisiert hingegen den optimalen Zündzeitpunkt und bewahrt den Motor vor Schäden. Diese Auslegung erzielt den besten Wirkungsgrad.

Bei einer konventionellen Lösung sind Körperschallsensoren außen am Zylinder platziert. Mit zunehmender Drehzahl und steigender Zylinderzahl sinkt deren Zuverlässigkeit, eine klopfende Verbrennung zu erkennen. Bei einem hochdrehenden Achtzylinder ist aber gerade diese Auswertungsgenauigkeit notwendig, um die Verbrennungsqualität in den Zylindern und damit die Lebensdauer der Bauteile sowie die Abgaswerte zu optimieren. Die Ionenstromtechnologie misst daher direkt am Ort des Geschehens – im Verbrennungsraum.

Genutzt wird dabei ein physikalisches Phänomen, das aufgrund der während der Verbrennung im Brennraum herrschenden Temperaturen von bis zu 2 500 Grad auftritt. Diese hohen Temperaturen und die während der Verbrennung ablaufenden chemischen Reaktionen bewirken eine partielle Ionisation des im Brennraum vorhandenen Benzin-Luftgemischs. Insbesondere in der Flammenfront wird das Gas durch die Erzeugung von Ionen durch Abspalten beziehungsweise Anlagern von Elektronen (Ionisation) elektrisch leitfähig.

Mit Hilfe der vom Zylinderkopf elektrisch isolierten und mit einer von der Motorsteuerung abhängigen Auswerte-Elektronik in der Zündspule verbundenen Zündkerzenelektrode, an die eine Gleichspannung angelegt ist, wird nun der so genannte Ionenstrom zwischen den Elektroden gemessen. Seine Größe hängt dabei vom Ionisationsgrad des Gases zwischen den Elektroden ab.

Durch die Ionenstrommessung werden also Informationen über den Verbrennungsprozess direkt am Geschehen ermittelt. Die in jede Zündspule integrierte Elektronik empfängt das Signal der Zündkerze eines der acht Zylinder, verstärkt dieses und übermittelt die Daten an die Motorsteuerung.

Diese analysiert die Daten und nimmt gegebenenfalls zylinderselektiv Eingriffe vor. Beispielsweise passt sie über die Klopffregelung den Zündzeitpunkt ideal an den Verbrennungsvorgang an.

Mit einem neuartigen Halbleiter-Schaltkreis für die Messspannungserzeugung sowie die variable Signalverstärkung und Signalvervielfältigung entwickelten die Ingenieure von BMW M die Ionenstromtechnologie um einen wichtigen Schritt weiter: Erstmals im neuen BMW M3 ist dieser Schaltkreis zusammen mit der Zündendstufe direkt in die Zündspule integriert. Dadurch kann das Ionenstromsignal noch direkter am Ort des Geschehens erfasst, verstärkt und noch feiner aufgelöst werden.

Die Zündkerze bekommt zusätzliche Kontrollfunktionen.

Die Technologie ermöglicht es also, über die Zündkerze in jedem Zylinder ein eventuelles Klopfen zu sensieren und zu regeln. Gleichzeitig werden die korrekte Zündung kontrolliert und eventuelle Aussetzer erkannt.

Die Zündkerze wirkt also als Aktuator für die Zündung und als Sensor zur Beobachtung des Verbrennungsprozesses. Sie unterscheidet damit zwischen Verbrennungs- und Zündaussetzern. Diese doppelte Funktionalität der Zündkerze erleichtert auch die Diagnose bei Wartungs- und Servicearbeiten.

Die technischen Daten des neuen BMW M3-Motors.

Merkmal/Größe	2. Motor aus der M-Motor-Familie	
Kraftstoff	Otto ROZ 98 (95)	
Nennleistung	PS (kW)	420 (309)
Nennleistung bei	min ⁻¹	8 300
Nenndrehmoment	Nm	400
Nenndrehmoment bei	min ⁻¹	3 900
Drehzahl maximal	min ⁻¹	8 400
Hub	mm	75,2
Bohrung	mm	92,0
Hubraum	cm ³	3 999
Zylinderabstand	mm	98
Zylinderanordnung	8-Zylinder-V-Motor	
Ventiltellerdurchmesser Einlass	mm	35,0
Ventiltellerdurchmesser Auslass	mm	30,5
Verdichtungsverhältnis		12,0
Kraftstoffeinspritzung	Saugrohr-Einspritzung	
Kraftstoff-Einspritzdruck	bar	3–6
Brennraum-Mitteldruck	bar	12,6
Brennraum-Spitzen druck	bar	100
Gewicht nach BMW Richtlinie	kg	202
Literleistung	PS/L	105
Leistungsgewicht bezogen auf Motor	kg/kW	0,65
Material Kurbelgehäuse	Aluminium	
Ventiltrieb	mit stufenloser Nockenwellenverstellung und hydraulischer Ventilspielausgleich für Ein- und Auslass (Doppel-VANOS)	

Drehmoment- und Leistungsdiagramm des neuen BMW M3-Motors.

