

# Der Antrieb des Mini Cooper S

Nach dem Mini One und dem Mini Cooper steht nun das Spitzenmodell mit einer Leistung von 120 kW zur Verfügung. Um die hohen Ansprüche an Leistung, Drehmoment, Motorsound, aber auch Alltagstauglichkeit zu erreichen, wurde der in den kleineren Modellen eingesetzte 1,6-l-Motor umfangreich überarbeitet.

## 1 Einleitung

Der Mini ist aufgrund seiner hohen Fahrleistungen und hervorragenden Fahreigenschaften Synonym für außergewöhnlichen Fahrspaß. Der neue Mini setzt nun eine Erfolgsgeschichte fort, die auch auf zahlreiche sportliche Highlights in der Vergangenheit aufbauen kann.

Die Modelle Mini One und Mini Cooper starteten mit ihrer Agilität, dem sportlichen Schick und dem einzigartigen Fahrverhalten ein neues Kapitel in dieser Geschichte. Der Mini Cooper S – das Modell mit der Top-Motorisierung – macht die Mini-Baureihe nun komplett. Dieses Fahrzeug integriert schlüssig die Fahrmaschine Mini, einen Motor mit herausragender Performance und ein sportliches Sechsgang-Getriebe.

Der Mini Cooper S hat somit alle Anlagen, neue Maßstäbe für Fahrspaß in seiner Klasse zu setzen. Die Entwicklung dieses Antriebs war in besonderem Maße motivierend und stellte aufgrund des kompakten Fahrzeugs eine große Herausforderung dar.

## 2 Entwicklungsziele

Um den an den Mini Cooper S gesetzten Anforderungen gerecht zu werden, standen folgende Entwicklungsziele für den Antrieb im Vordergrund:

- maximale Leistung von 120 kW bzw. maximales Drehmoment von 210 Nm
- fülliger Drehmomentverlauf bereits bei niedrigen Drehzahlen
- spontane Leistungsentfaltung
- günstige Verbrauchswerte bei hohen Fahrleistungen
- Einhaltung der EU4- und LEV-Emissions-Grenzwerte
- laufruhiges, schwingungsarmes Antriebsaggregat
- sportlicher Motorsound
- Qualität und Zuverlässigkeit nach BMW-Standards
- kompakte Bauweise.

## 3 Antriebskonzept

Der Mini stellt innerhalb der Produkte der BMW Group eine eigenständige Marke dar. Der Tradition des Mini folgend wurde ein in dieser Klasse üblicher Frontantrieb gewählt. Der Vierzylindermotor ist quer eingebaut und in Fahrtrichtung gesehen auf der rechten Seite des Fahrzeugs angeordnet. Das speziell für den Mini entwickelte Sechsganggetriebe ist dagegen auf der linken Seite des Fahrzeugs platziert und setzt in dieser Fahrzeugklasse neue Maßstäbe.

Wie bereits beim Vorgänger, so ist auch der Motorraum des New Mini äußerst kompakt gestaltet. Für diesen dicht gepackten Motorraum war nun eine Topmotorisierung zu entwickeln, die eine deutliche Leistungssteigerung über den mit seinen 85 kW bereits recht ansprechend motorisierten Mini Cooper hinaus aufweist. Zudem sollte das Baukastenkonzept des Mini nicht gesprengt werden. Unter diesen Randbedingungen war ein aufgeladenes Antriebsaggregat die günstigste technische Lösung.

Zur Auswahl des Aufladekonzepts gab es eingehende Voruntersuchungen und Berechnungen zu allen wesentlichen Motorfunktionen. Für die anzustrebenden Eigenschaften des Mini Cooper S war das nahezu verzögerungsfreie Ansprechverhalten einer mechanischen Aufladung ausschlaggebend für die Wahl eines Kompressors als Aufladeggregat. Grundsatzzuntersuchungen zeigten, dass gegenüber einer Turboaufladung mit derzeit für Ottomotoren verfügbarer Technologie eine mechanische Aufladung bis zu einem Hubraum von etwa 1,6 l deutliche Vorteile im Anfahrverhalten aufweist.

Ein weiterer Vorteil für einen mechanisch angetriebenen Lader ist das schnellere Ansprechverhalten der Katalysatoren, da die Masse des Turbinengehäuses mit der entsprechenden Wärmekapazität entfällt und die Katalysatoren daher schneller die „light off“-Temperaturen erreichen. Außerdem wird der Motorraum thermisch deutlich entlastet. Die Konzentration aller zusätzlichen Komponenten der mechanischen Aufladung auf der Saugseite des Motors bietet zudem erhebliche Packagevorteile und reduziert maßgeblich die Leitungslängen für die Luftführung.

## 4 Konstruktive Gestaltung des Motors

**4.1 Konstruktion Grundmotor**  
Der Grundmotor des Cooper S, **Titelbild**, basiert auf dem aus dem Mini One und Mini Cooper bekannten Vierzylindermotor mit 1,6 l Hubraum. Dieser Motor wird von der Firma Tritec gefertigt, einem Joint-Venture-Unternehmen der BMW Group und Daimler Chrysler. Aufgrund der hohen spezifischen Leistung waren jedoch einige Modifikationen notwendig, auf die im Folgenden näher eingegangen wird. Die technischen Daten des Mini Cooper S-Motors sind in **Tabelle 1** aufgeführt.

### 4.1.1 Brennraum, Kolben

Das Hub/Bohrungsverhältnis mit seiner leicht langhubigen Auslegung wurde mit 85,8/77 mm beibehalten. Der Kolben be-

## Die Autoren



Dipl.-Ing. Thomas Bruener ist Leiter der Entwicklung CA-Techniken.



Dipl.-Ing. Claus-Otto Griebel ist Leiter der Entwicklung Akustik/Schwingungen Ottomotoren.



Dipl.-Ing. (FH) Uwe Hoyer ist Leiter der Entwicklung Abgassysteme Ottomotoren.



Dipl.-Ing. Andreas Mueller ist Leiter der Entwicklung Funktionen Vier- und Achtzylinder-Ottomotoren.



Dr.-Ing. Rahim Pour ist Leiter der Entwicklung Mini Powertrain.

steht aus der hochwarmfesten Legierung AL 142 der Firma Mahle. Die Ringnut des Kompressionsrings ist anodisiert, und die Feuersteghöhe beträgt nur 4 mm. Dies stellt für einen aufgeladenen Motor einen sehr niedrigen Wert dar.

Um die Grenzwerte für die Temperaturbelastung der Kolben auch bei dauerhaftem Vollastbetrieb nicht zu überschreiten, ist der Motor mit einer Kolbenölkühlung ausgestattet. Die notwendige Technik dazu ist von BMW-Motoren übernommen. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Ölspritzdüsen, die die Kolben von unten mit Öl beaufschlagen und kühlen. Diese Düsen öffnen bei einem Ölpumpendruck von etwa 2,5 bar und haben einen Öldurchsatz von maximal 2,2 l/min. Durch die Kolbenkühlung wurde die Kolbentemperatur im Bereich der Kolbenbodenmitte um bis zu 50 Grad auf maximal 250 Grad gesenkt.

### 4.1.2 Kurbeltrieb

Wegen der deutlichen höheren Spitzendrücke der Verbrennung gegenüber dem nicht aufgeladenen Basismotor musste auch der Kurbeltrieb erheblich modifiziert werden. Während die Basisversion mit einer Gusswelle ausgerüstet ist, kommt

4.1 Konstruktion Grundmotor

Tabelle 1: Tabelle Motor- und Getriebedaten  
 Table 1: Table of engine and gearbox data

Bauart	4-Zylinder Reihe
Hubraum (cm <sup>3</sup> )	1598
Verdichtungsverhältnis	8,33
Bohrung / Hub (mm)	77 / 85,8
Zylinderabstand (mm)	85,5
Blocklänge (mm)	366,25
Blockhöhe (mm)	204,7
Pleuellänge (mm)	131,6
Pleuelstangenverhältnis	0,326
Hauptlager der KW Ø / Breite (mm)	48 / 21
Pleuelager Ø / Breite (mm)	46 / 17,5
Kolbenhöhe (mm)	26,5
Feuersteghöhe (mm)	4
Ventile / Zylinder	4
Ventilwinkel E / A (Grad)	22 / 20
Ventilteller Ø E / A (mm)	30,3 / 23,3
Ventilhub E/A (mm)	8,6 / 8,0
Einlass öffnet / schliesst	5,8° vOT / 50° nUT
Auslass öffnet / schliesst	48° vOT / 14,6° nOT
Getriebeübersetzung	
1. Gang	11,425
2. Gang	7,181
3. Gang	5,397
4. Gang	4,407
5. Gang	3,656
6. Gang	2,986
Rückwärtsgang	11,131
Max. Leistung (kW) bei Drehzahl (1/min)	120 bei 6000
Max. Drehmoment (Nm) bei Drehzahl (1/min)	210 bei 4000
Abregeldrehzahl (1/min)	6950
Spez. Leistung (kW/l)	75
Spez. Drehmoment (Nm/l)	131,4
Max. spez. Arbeit (kJ/l)	1,65
DIN Kraftstoffverbrauch EU Zyklus (l/100 km)	8,4
V <sub>max</sub> (km/h)	214
Beschleunigung 0 - 100 km/h (s)	7,4
80 - 120 km/h 4./5. Gang (s)	6,7

beim Cooper S eine gesenkgeschmiedete Stahlwelle zum Einsatz. Auf eine Härtung von Hub- und Grundlagerzapfen konnte verzichtet werden; um jedoch den höheren Lagerkräften gerecht zu werden, wird auf Dreistofflager zurückgegriffen. Die Kurbelwelle ist fünffachgelagert und verfügt über 8 Gegengewichte, die zu einem Ausgleichsgrad von 80 % führen. Freie Schwingungen und die Belastung der Lager konnten mit dieser Auslegung minimiert werden

Auch das Pleuel wurde grundlegend modifiziert. Während der Basismotor mit Sinterpleueln ausgestattet ist, werden beim Mini Cooper S geschmiedete Pleuel mit rechnerisch optimierter Geometrie eingesetzt. Diese Pleuel werden genauso wie die Sinterpleuel der Basisvariante „gecrackt“.

4.1.3 Ölpumpe

Die Ölpumpe wurde dem durch die Ölspritzdüsen erhöhten Volumenstrombedarf angepasst. Bei ihr handelt es sich um eine Zahnradpumpe, die direkt von der Kurbelwelle angetrieben wird und integraler Bestandteil des Kettenkasten-deckels ist. Als Anpassung genügte es, die Steuerkanten an Ein- und Auslassseite der Ölpumpe strömungstechnisch zu optimieren. Dadurch konnte der Durchfluss um etwa 15 % gesteigert werden. Außerdem wurde die Druckregelung neu abgestimmt, so dass auch bei kritischen Drehzahlen der geforderte Versorgungsdruck von mindestens 3 bar sichergestellt wird. Die alternativ mögliche Verbreiterung des Rädersatzes und eine damit verbundene Reibleistungserhöhung konnte somit vermieden werden

4.1.4 Zylinderkopf und Ventiltrieb

Der Zylinderkopf wurde zur Leistungssteigerung ebenfalls überarbeitet. Schwerpunkt war hier die Anpassung der Kanäle an den höheren Gasdurchsatz. So wurde insbesondere auslassseitig der maximale Durchfluss mit Optimierung sowohl der Kanal- als auch der Ventilgeometrie um 30 % gesteigert. Dazu wurde auch der Ventilschaftdurchmesser unterhalb der Führung auf 5 mm reduziert. Die Steuerzeiten des 85-kW-Motors erwiesen sich dagegen auch für das aufgeladene Aggregat als optimal. Die Spreizung beträgt einlassseitig 111 Grad und auslassseitig 109 Grad Kurbelwelle.

Der Ventiltrieb wurde geometrisch weitgehend von der Basisversion übernommen. Es handelt sich um eine kompakte Ventilsteuerung mit einer obenliegenden Nockenwelle mit Rollenkipphelben aus Aluminium und integrierten hydraulischen Ventilspiel-Ausgleichselementen. Pro Zylinder gibt es drei Hebel: zwei Einlasshebel und einen Tandemhebel zur Betätigung der Auslassventile. Da die Auslassventile beim aufgeladenen Motor gegen einen höheren Zylinderinnendruck öffnen müssen, steigen auch entsprechend die Kräfte im Ventiltrieb. Hinzu kommt die auf 6950/min angehobene Abregeldrehzahl des Motors. Die Tandemhebel für die Auslassventile wurden daher durch zusätzliches Material und eine engere Toleranzauslegung zwischen Rollenachse und Hebel den erhöhten Belastungen angepasst.

Die Auslassventile sind abweichend von der Basisvariante wegen der deutlich höheren Temperaturbelastung aus Inconel gefertigt.

4.2 Konstruktion Aufladesystem

4.2.1 Aufladeaggregat mit Antrieb

Als Bauart für den Kompressor wurde aus Wirkungsgrad- und Akustikgründen ein Schraubenlader gewählt. Dieser Schraubenlader wird von der Kurbelwelle aus zusammen mit den anderen Nebenaggregaten über einen sechsrilligen Keilrippenriemen angetrieben und ist in Fahrtrichtung vor dem Motor angeordnet. Das Übersetzungsverhältnis beträgt 2,06. Bei einer Motor-Abregeldrehzahl von 6950/min hat der Lader somit eine Drehzahl von 14.317/min.

Der Basismotor für den Mini One und Mini Cooper ist mit einem konventionellen Torsionsschwingungsdämpfer am vorderen Ende der Kurbelwelle ausgestattet.

Berechnungen und Messungen zeigten unzulässig hohe Torsionsschwingungen bei etwa 1600/min wegen der zusätzlichen Ankoppelung des Laders mit seinem verhältnismäßig hohen Trägheitsmoment. Diese Lösung war weder akustisch noch bezüglich der Bauteilfestigkeit akzeptabel.

Es wird daher für den Antrieb des Mini Cooper S ein Torsionsschwingungsdämpfer verwendet, bei dem die Riemenscheibe von der Sekundärmasse zusätzlich elastisch abgekoppelt ist und Schwingungen des Riementriebs gedämpft werden. Die Schwingungs-Amplituden mit abgekoppelter Riemenscheibe sind deutlich reduziert. Entscheidend ist jedoch, dass die ausgeprägte Resonanz in einen Drehzahlbereich unterhalb der Leerlaufdrehzahl verschoben wird und somit außerhalb des Betriebsbereichs liegt, **Bild 1**.

Als Besonderheit ist darüber hinaus zu erwähnen, dass die Wasserpumpe über eine Kupplung und ein Reduziergetriebe vom hinteren Ende des Kompressors angetrieben wird. Das Reduziergetriebe ist in das Kompressorgehäuse integriert. Eine geringe, bereits beim Hersteller eingefüllte Ölmenge sorgt über die gesamte Lebensdauer für die Schmierung des Getriebes. Diese Anordnung war notwendig, weil für einen Direktantrieb der Wasserpumpe im Riementrieb kein ausreichender Platz vorhanden war.

Den Betrieb des Laders im Kennfeld zeigt **Bild 2**. In dieser Grafik ist das Druckverhältnis über dem Volumenstrom aufgetragen. Außerdem sind Motordrehzahlen, Laderdrehzahlen und Lader-Wirkungsgrade dargestellt.

Die breite rote Linie stellt die Motorschlucklinie dar und zeigt die hohe spezifische Auslegung des Motors. Die breite schwarze Linie dagegen zeigt das nach dem Ladeluftkühler anliegende Druckniveau. Die Differenz zwischen den Linien entspricht dem Druckabfall im Ladeluftkühler.

#### 4.2.2 Ladeluftführung

Aus Package-Gründen ist der Ladeluftkühler oberhalb des Motors angeordnet. Dieser wird vom Fahrtwind durch eine markante Lufthutze im vorderen Bereich der Motorhaube angeströmt. Entscheidend für die gute Wirkung des Ladeluftkühlers ist vor allem auch eine gute Abströmung der Luft unterhalb des Ladeluftkühlers und aus dem Motorraum heraus. Durch umfangreiche Berechnungen und Versuche wurden die Strömungsverhältnisse optimiert und es werden damit gute Rückkühlraten in allen relevanten Betriebspunkten erreicht.

Der Ladeluftkühler ist über semiflexible Haltebleche an der Sauganlage befestigt. Damit wird der Ladeluftkühler einerseits steif in den Hauptschwingungsrichtungen am Motor gehalten. Andererseits lässt diese Konstruktion aber thermische Relativbewegungen in Längsrichtung des Ladeluftkühlers zu und minimiert so die Spannungen. Die Haltebleche sind so ausgelegt, dass in keinem Betriebsbereich überhöhte Resonanzen aufkommen und erfüllen somit alle Anforderungen an

Akustik und Bauteilfestigkeit. Toleranzen und thermische Relativbewegungen werden außerdem durch Faltenbälge am Ein- und Austritt des Ladeluftkühlers aufgenommen. Die Faltenbälge sind mit zweiteiligen Klammern aus Aluminium-Druckguss befestigt. Die Drosselklappe ist in Strömungsrichtung vor dem Lader angeordnet, während das Bypass-Ventil aus Packagegründen hinter dem Ladeluftkühler positioniert ist. Die abgesteuerte Ladeluft wird zwischen Drosselklappe und

#### 4.2.1 Aufladeaggregat mit Antrieb

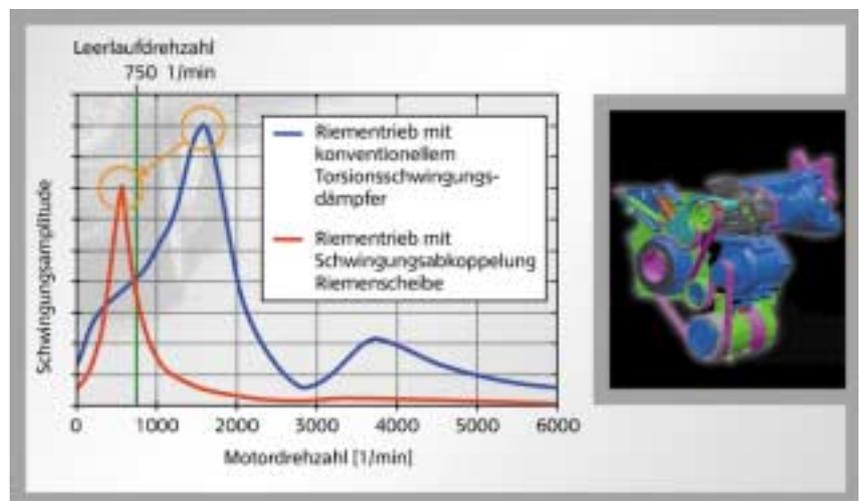


Bild 1: Schwingungsreduzierung Riementrieb durch Torsionsschwingungsdämpfer mit abgekoppelter Riemenscheibe  
Figure 1: Reducing vibration in the belt drive assembly by means of a torsional vibration damper and isolated belt pulley

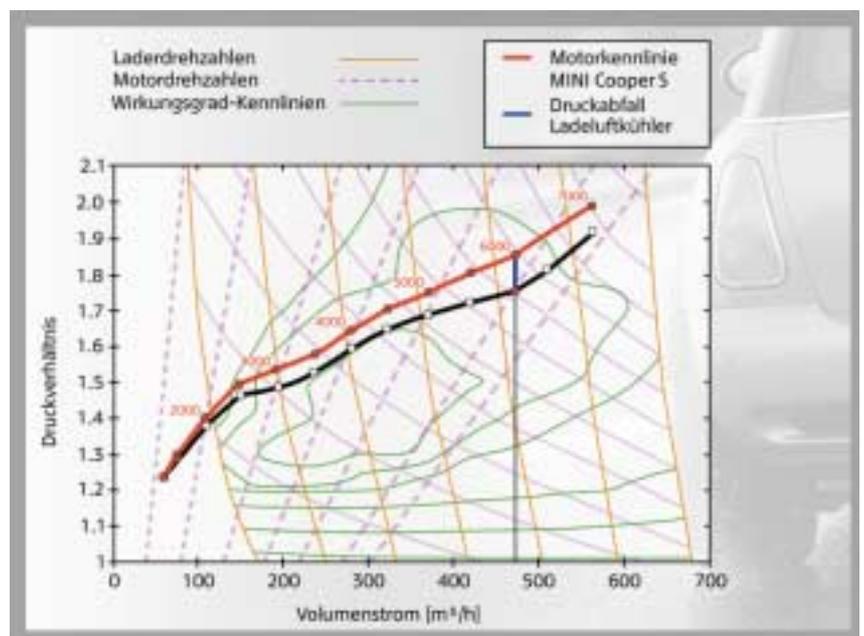


Bild 2: Ladedruck bei Vollast  
Figure 2: Boost pressure at full load

4.2.2 Ladeluftführung

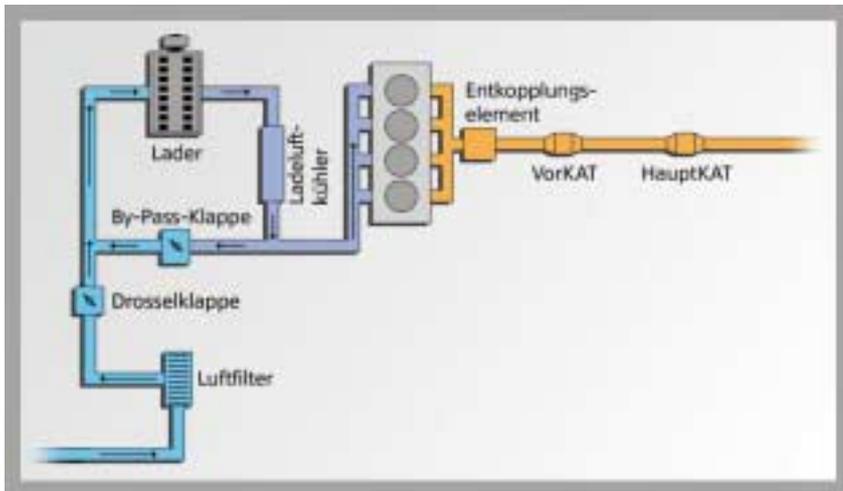


Bild 3: Schemadarstellung Lufführung  
 Figure 3: Diagram of the air intake path

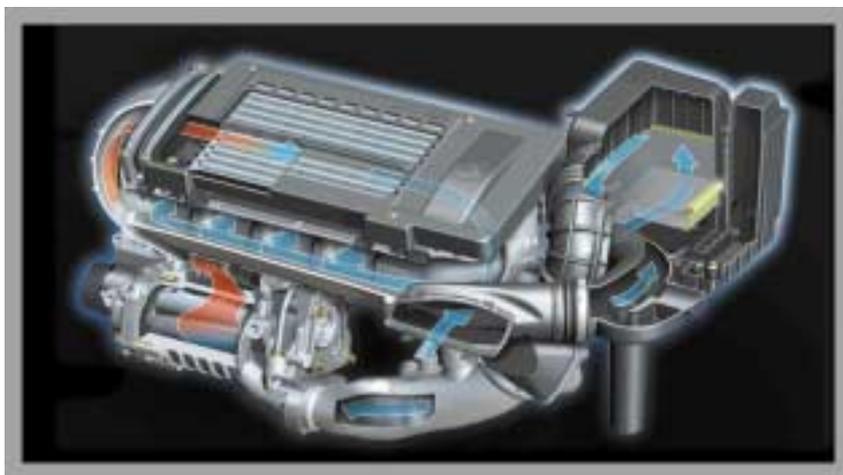


Bild 4: Anordnung Lufführung  
 Figure 4: Arrangement of the air intake elements

Lader wieder eingeleitet, **Bild 3** und **Bild 4**.

Die elektrisch betätigte Drosselklappe wird von der elektronischen Motorsteuerung geregelt und ist sowohl im Konzept als auch in vielen Einzelteilen baugleich zu den bei anderen BMW-Motoren verwendeten Drosselklappen. Das Bypass-Ventil wird dagegen über Unterdruck aus dem Saugrohrsammler angesteuert.

Die Saugrohre sind mit einer Länge von etwa 110 mm (vom Zylinderkopf bis zum Sammler) im Hinblick auf Vorteile im Ladungswechsel im oberen Drehzahlbereich sehr kurz ausgelegt. Als Werkstoff für die Sauganlage wurde Aluminium gewählt.

Die Sauganlage wurde mittels Berechnungen geometrisch so optimiert, dass ein gleichmäßiges Einströmen in die Zylinder gewährleistet ist und ein Rückströmen

von Gemisch aus den sehr kurzen Saugrohren über den Sammler in benachbarte Saugrohre vermieden wird.

4.2.3 Motorsteuerung

Die Siemens-Motorsteuerung basiert auf einer modernen momentenbasierten Struktur.

Die Last erfassung erfolgt über eine p-n-Steuerung und kommt somit ohne Luftmassenmesser aus. Ein im Sammler angeordneter Druck-/Temperatursensor versorgt stattdessen die Elektronik mit den für die Motorregelung notwendigen Informationen.

Die Motorlaststeuerung erfolgt über ein „Drive-by-wire“-System. Dieses bietet die Möglichkeit für weitere Zusatzfunktionen wie integrierte Leerlaufregelung, Fahrgeschwindigkeitsregler und die Vor-

aussetzung für Fahrwerksregelsysteme zum Beispiel Traktions- und dynamische Stabilitätskontrolle

5 Konstruktive Gestaltung des Getriebes

5.1 Getriebekonzept

Passend zum Charakter des Mini Cooper S wurde der Einsatz eines Sechsgang-Sportgetriebes beschlossen. Der Begriff Sportgetriebe steht hier für eine relativ kleine Spreizung der Gesamtübersetzung und damit für gute Anschlüsse der einzelnen Gänge, Tabelle 1.

Die Front-Quer-Antriebsbauweise stellt eine große Herausforderung an die Konstruktion in Bezug auf die Länge der Motor-Getriebe-Einheit dar. Bei der Konzeption des Mini stand die maximale Crash-Sicherheit und damit die optimale Gestaltung der Längsträger im Motorraum beziehungsweise Vorderwagen im Vordergrund. Diese Anforderung begrenzt die zulässige Länge des Motor-Getriebeverbands. Da die Motorlänge durch den Zylinderabstand weitgehend festgelegt ist, bleibt für das Getriebe-Package ein eng begrenzter Bauraum.

Ein konventionelles Sechsganggetriebe mit zwei Wellen, bei dem alle Zahnräder hintereinander angeordnet sind, fand somit im Mini Motorraum keinen Platz. Daher wurde gemeinsam mit der Firma Getrag ein kompaktes Drei-Wellen-Getriebe mit einer Antriebs- und zwei Abtriebswellen entwickelt, bei dem durch Doppelnutzung von einigen Rädern die Getriebebelänge erheblich verkürzt werden konnte, **Bild 5** und **Bild 6**.

Um unangenehme Rasselgeräusche des Getriebes zu vermeiden, ist ein Zwei-Massen-Schwungrad (ZMS) zwischen Motor und Getriebe angeordnet. Das ZMS als ein Feder-Masse-System arbeitet im überkritischen Bereich und koppelt somit die Drehschwingungen der Kurbelwelle vom Getriebe ab.

5.2 Ausgestaltung der Gänge/Räderanordnung

Wie bereits erwähnt, wurde das Getriebe aus Bauraumgründen mit zwei getrennten Abtriebswellen konstruiert:

- Abtriebswelle AB1 mit den Losrädern der Gänge 1-2-5-6
- Abtriebswelle AB2 mit den Losrädern der Gänge 3-4-R.

Die Besonderheit des Konzepts liegt darin, dass die Gänge 3 bis 6 jeweils paarweise von einem Festrad angetrieben werden, **Bild 7**.

- Das Festrad Z3/5 auf der Antriebswelle kämmt gleichzeitig mit den Losrädern Z3

## 5.1 Getriebekonzept

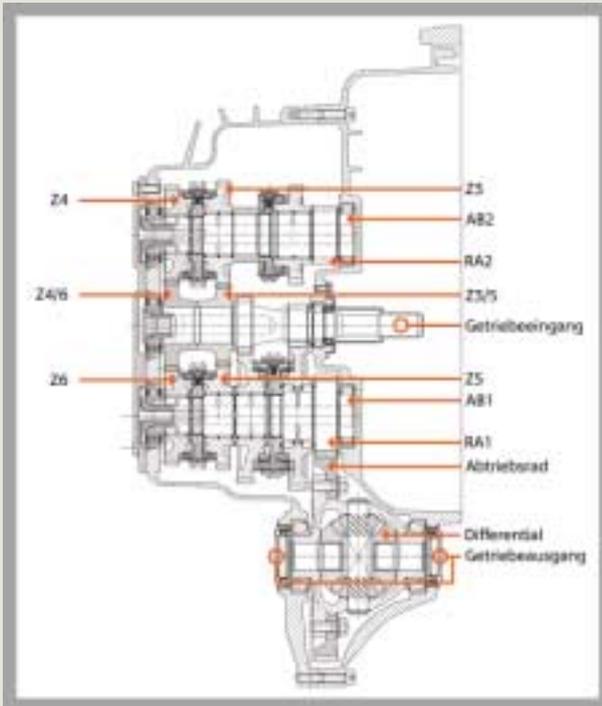


Bild 5: Längsschnitt Getriebe (Abwicklung)  
 Figure 5: Longitudinal section through gearbox

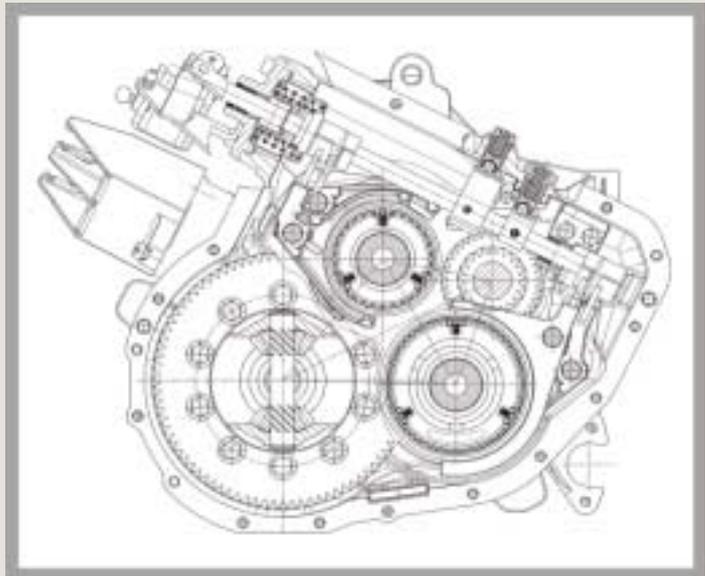


Bild 6: Querschnitt Getriebe  
 Figure 6: Cross-section of the gearbox

## 5.2 Ausgestaltung der Gänge/Räderanordnung

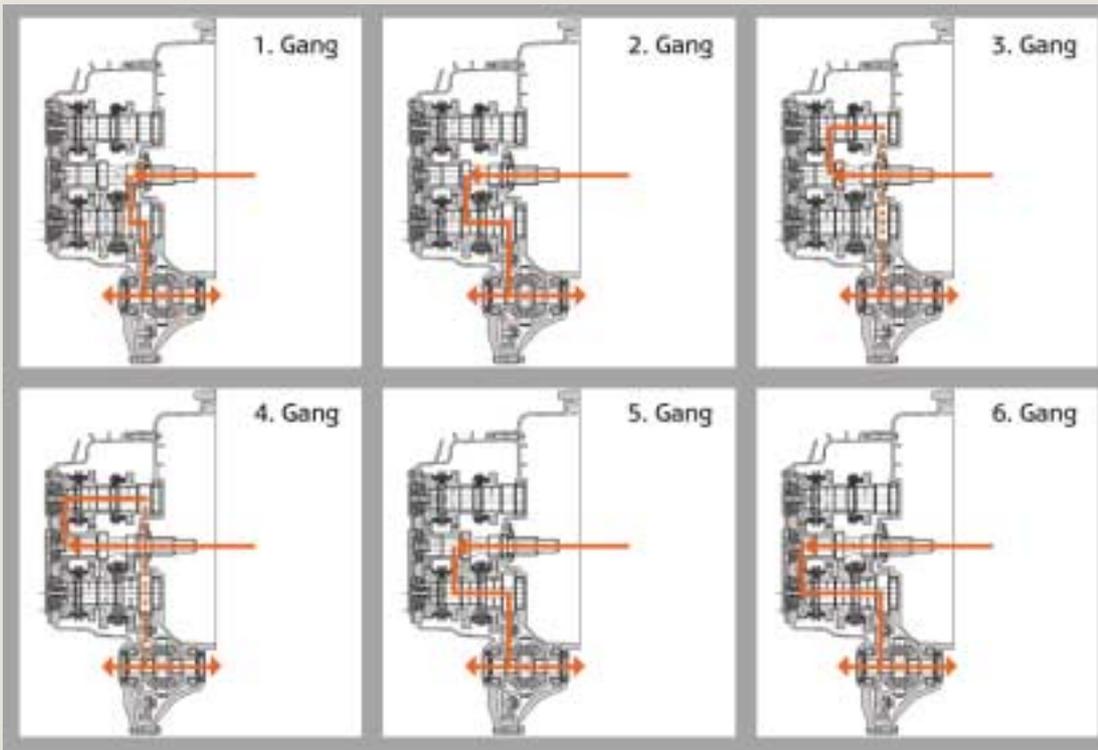


Bild 7: Schalt-  
 schema Getriebe  
 Figure 7: Gear-  
 shift gate pattern

und Z5; je nach Schaltung überträgt das Festrad Z3/5 das Drehmoment in den Gängen 3 und 5.

■ Das Festrad Z4/6 auf der Antriebswelle kämmt gleichzeitig mit den Losrädern Z4 und Z6; je nach Schaltung überträgt das Festrad Z4/6 das Drehmoment in den Gängen 4 und 6.

Die beiden Abtriebsritzel / Konstanten RA1 und RA2 sind gleichzeitig mit dem Abtriebsrad am Differentialgehäuse im Eingriff. Somit hat das Getriebe zwei „Achsübersetzungen“, die je nach Gangwahl die Gesamtübersetzung des Getriebes bestimmen. **Bild 8** zeigt ein Demonstrationsmodell des Getriebes.

6 Motorfunktionen und Fahrzeugwerte

6.1 Leistung und Drehmoment

Während die Motoren für den Mini One und den Mini Cooper auf eine Leistung von 66 und 85 kW ausgelegt sind, lag die anspruchsvolle Zielvorgabe für den sportlichen Mini Cooper S bei einer Leistung von 120 kW und einem maximalen Drehmoment von 210 Nm. Der im Mini One und im Mini Cooper verwendete 1,6-l-Basis-Motor wurde daher von Beginn an in allen relevanten Aspekten auf die hohe spezifische Leistung von 75 kW/l beziehungsweise 131 Nm/l ausgelegt.

Mit Hilfe des Kompressors konnte ein sehr harmonischer, sportlicher Drehmomentverlauf realisiert werden. Die kurzen Saugrohre unterstützen darüber hinaus den sportlichen Charakter der Drehmomentkurve und ermöglichen die hohe spezifische Leistung, **Bild 9**.

Um bei den am Motor anliegenden Ladedrücken von bis zu 1,9 bar eine optimale Auslegung im Hinblick auf Leistung und Verbrauch zu gewährleisten, wurde das Verdichtungsverhältnis auf 8,3:1 festgelegt. Die günstigste Brennraumform sowohl hinsichtlich Wirkungsgrad als auch bezüglich Klopfverhalten ergab sich durch einen Kolben mit einer leicht linsenförmigen, nur 1,6 cm<sup>3</sup> großen Brennraummulde. Dadurch ist es mithilfe der Klopfregelung möglich, weltweit Kraftstoffe mit Oktanzahlen von 91 bis 98 ROZ zu verwenden. Die Grundauslegung wurde jedoch auf die ROZ 98 Qualität optimiert.

Mit den ausgeführten Maßnahmen erreicht der Cooper-S-Motor im Vergleichsfeld der 1,6-l-Motoren für die Motorkennwerte eine herausragende Positionierung, **Bild 10**. Damit liegt dieser Motor mit seinen spezifischen Werten auch im Vergleich zu allen aufgeladenen Vierzylinder-Motoren im Spitzenfeld.

5.2 Ausgestaltung der Gänge/Räderanordnung

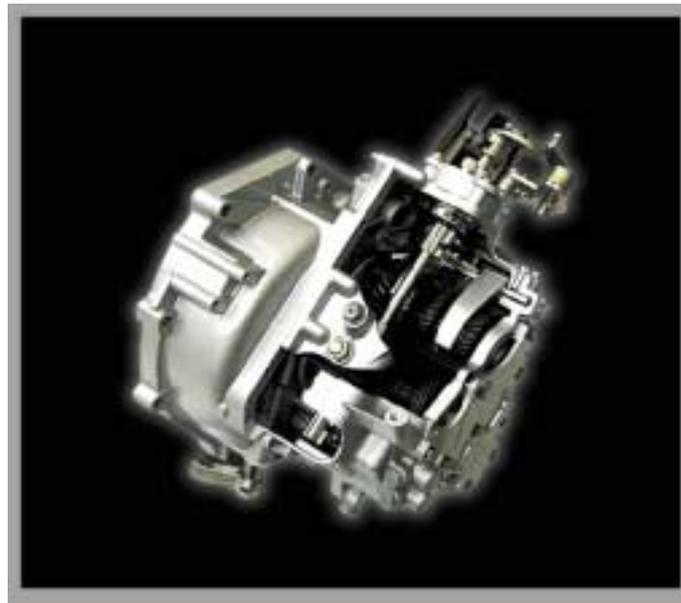


Bild 8: Getriebe teil-geschnitten  
Figure 8: Gearbox, partial section

6.1 Leistung und Drehmoment

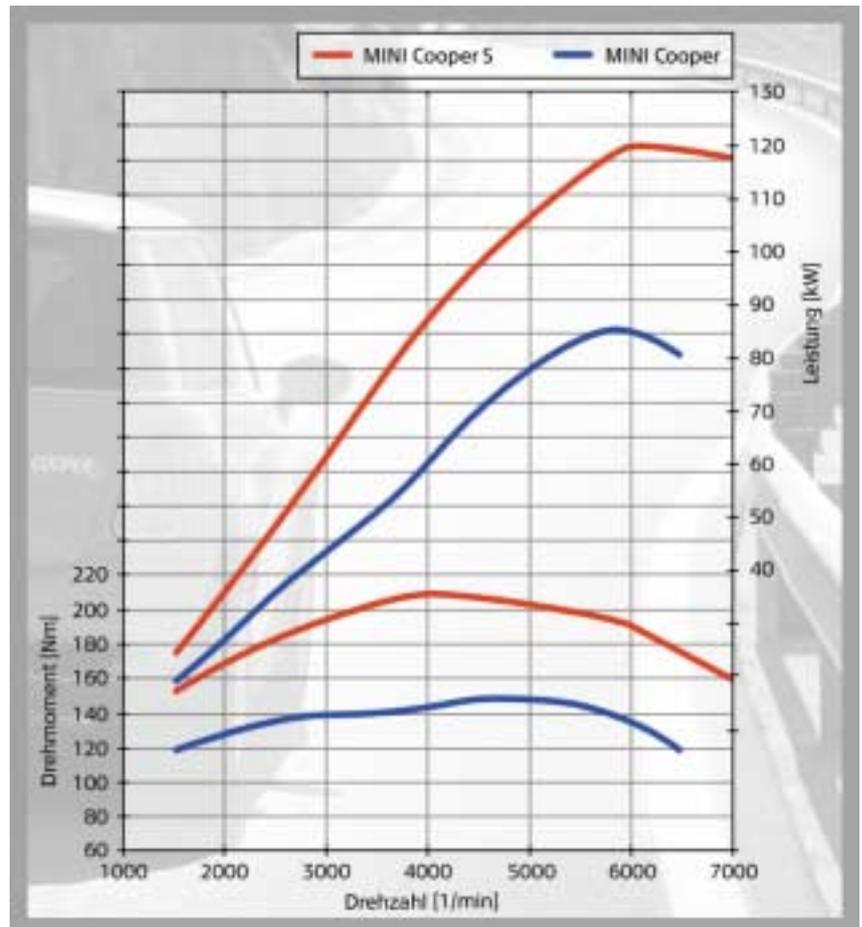


Bild 9: Vollastkurven Mini Cooper/Mini Cooper S  
Figure 9: Full load curves for the Mini Cooper/Mini Cooper S

Die dargestellte Leistungscharakteristik des Motors ermöglicht exzellente Fahrleistungswerte. Die maximale Beschleunigung von 0-100 km/h wird in 7,4 Sekunden absolviert. Für die Beschleunigung von 80-120 km/h werden im 4. Gang 6,7 und im 5. Gang 8,7 Sekunden gemessen. Die Höchstgeschwindigkeit liegt bei 218 km/h.

### 6.2 Verbrauch

Unter Berücksichtigung dieser hohen Fahrleistungen erreicht der Mini Cooper S mit 8,4 l/100 km im EU Zyklus auch günstige Kraftstoffverbrauchswerte, **Bild 11**. Der reibungsgünstige Grundmotor, die langhubige Auslegung des Triebwerks und die optimierte Brennraumform sind hier die technischen Maßnahmen, die prinzipbedingte Nachteile eines Kompressormotors kompensieren.

### 6.3 Emissionen

Für den Abgaskrümmer wurde eine Rohrkonstruktion gewählt, um die Wärmekapazität des Bauteils gering zu halten und eine schnelle Erwärmung der Katalysatoren zu gewährleisten. Die Rohre sind als 4-in-1-Konstruktion ausgeführt. Hinter dem für quereingebaute Motoren üblichen Entkopplungselement ist stromabwärts ein strömungstechnisch optimierter Trichter angeordnet. Dieser sorgt für eine gleichmäßige Abgas-Beaufschlagung der ersten Lambda-Sonde und des motornahen Vorkatalysators. Der Hauptkatalysator ist als Unterboden-Konstruktion dargestellt, **Bild 12**.

Der Vorkatalysator ist als Metallträger mit einer Größe von 0,3 l und einer Zellenzahl von 300 cpsi ausgelegt. Der Hauptkatalysator hat dagegen ein Volumen von 1,26 l und basiert auf einem 400-zelligem Keramikmonolithen mit 6,5 mil. Wandstärke. Durch die günstige Auslegung des Brennraums und die niedrige Feuersteghöhe können die HC Rohemissionen sehr niedrig gehalten werden. Sie betragen zum Beispiel beim Lastpunkt  $\omega = 0,2/n = 2000/\text{min}$  nur 2,9 g/kWh.

Dadurch kann ein sehr effizientes Emissionskonzept umgesetzt werden. Der Mini Cooper S erfüllt bereits heute die strengen zukünftigen EU4-Grenzwerte und ist nach der LEV-Vorschrift auch für den amerikanischen Markt zertifiziert. Aufgrund der konsequenten Konzeptumsetzung kann auf aufwändige Zusatzsysteme wie Abgasrückführung oder Sekundärlufteinblasung verzichtet werden. Außerdem werden alle aktuellen On-board-Diagnose-Anforderungen erfüllt.

### 6.4 Motorsound

Der für den Cooper S typische Fahrspaß wird durch einen zum Fahrzeugcharakter

## 6.1 Leistung und Drehmoment

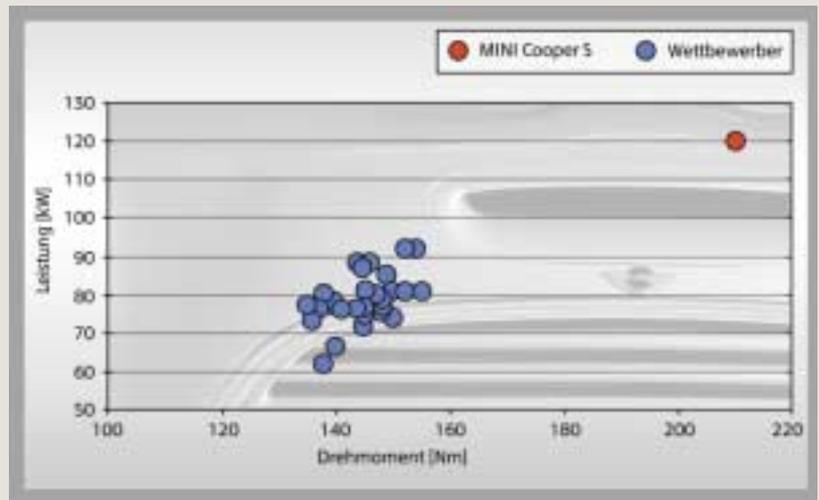


Bild 10: Leistung/Drehmoment Mini Cooper S im Wettbewerbsvergleich der 1,6-l-Motoren

Figure 10: Power/torque of the Mini Cooper S compared with rival 1.6 l engines

## 6.2 Verbrauch

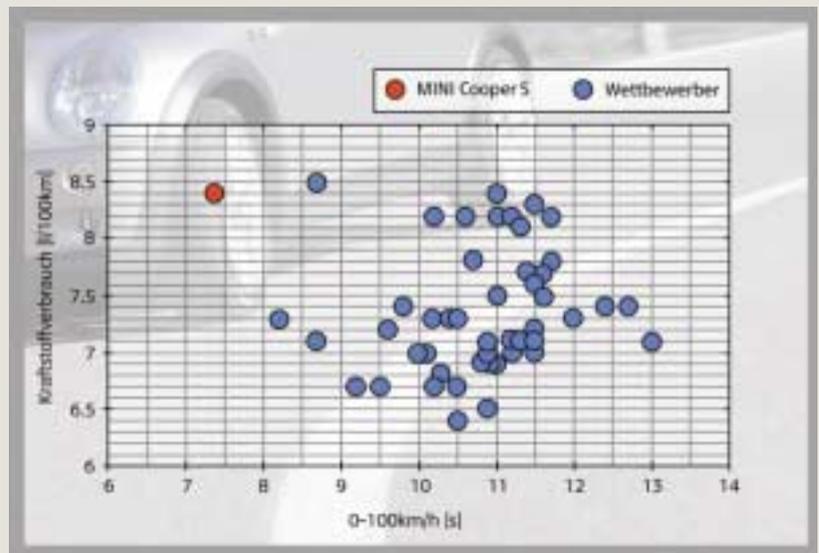


Bild 11: Kraftstoffverbrauch Mini Cooper S im Wettbewerbsvergleich der 1,6-l-Motoren

Figure 11: Fuel consumption of the Mini Cooper S compared with rival 1.6 l engines

passenden Sound unterstützt. Durch spezielle Maßnahmen am Ansaugsystem und an der Abgasanlage ist es gelungen, das Topmodell nicht nur optisch und fahrleistungsmäßig, sondern auch akustisch vom Mini One und Mini Cooper zu differenzieren. Bis zur Flanschverbindung hinter Krümmer/Katalysator konnte ein Gleichteilekonzept aufrechterhalten wer-

den. Ab der Flanschverbindung unterscheidet sich das Konzept der Cooper S Abgasanlage dagegen deutlich. Neben dem höheren Gasdurchsatz und den geänderten Soundanforderungen mussten zusätzlich die Vorgaben des Designs nach einem Doppelrohr in Fahrzeugmitte und die Notwendigkeit, die Starterbatterie im Fahrzeugheck unterzubringen, berück-

6.3 Emissionen

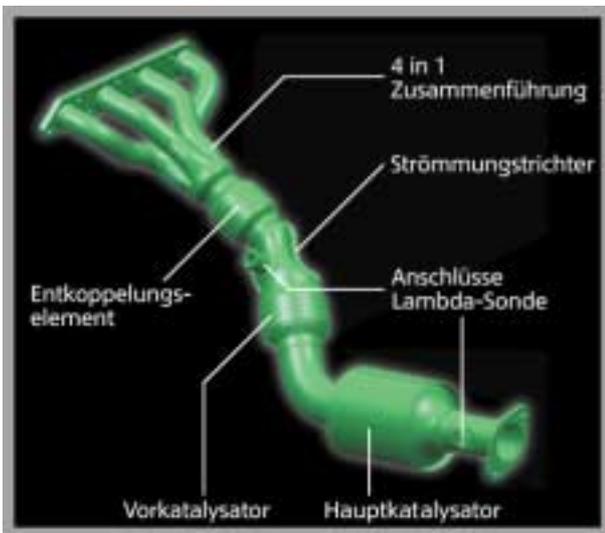


Bild 12: Vordere Abgasanlage Mini Cooper S  
Figure 12: Front exhaust system of the Mini Cooper S

sichtigt werden. Durch die Platzierung eines wirkungsvollen Mittelschalldämpfers im rechten Fahrzeugheck konnte beim Cooper S auf den Einsatz eines Vorschalldämpfers verzichtet werden, **Bild 13**.

Die gewählte Volumenaufteilung zwischen Mittel- und Nachschalldämpfer und die Gestaltung der Rohrlängen und -querschnitte schufen in Verbindung mit einem hierauf abgestimmten Innenaufbau der Dämpfer die Voraussetzung dafür, dass tiefrequent sonore Anteile des Mündungsgeräusches die Klangkulisse innen wie außen prägen, **Bild 14**.

Eine akustisch transparente Kofferraumabdeckung sorgt dafür, dass der sportliche Abgasanlagen-sound möglichst direkt und authentisch wahrgenommen wird. Im mittleren und oberen Drehzahlbereich wird durch die konstruktive Ausführung des Ansaugeräuschkämpfers und seine Anordnung vor der Aggregattrennwand erreicht, dass der Fahrer lastabhängig ein akustisches Feedback des Kompressors erhält. Um trotz aller Soundmaßnahmen den für Pkw geltenden Außengeräuschgrenzwert von 74 dB(A) einhalten zu können, musste zunächst an allen für das Klangerlebnis unwichtigen Geräuschquellen umfangreiches Sound Cleaning betrieben werden. Insbesondere wurden nach außen abgestrahlte Lader- und Motorgeräusche, Oberflächengeräusche der Abgasanlage sowie hochfrequente Mündungsanteile auf ein Minimum reduziert.

6.4 Motorsound



Bild 13: Hintere Abgasanlage Mini Cooper/ Mini Cooper S  
Figure 13: Rear exhaust system of the Mini Cooper/ Mini Cooper S

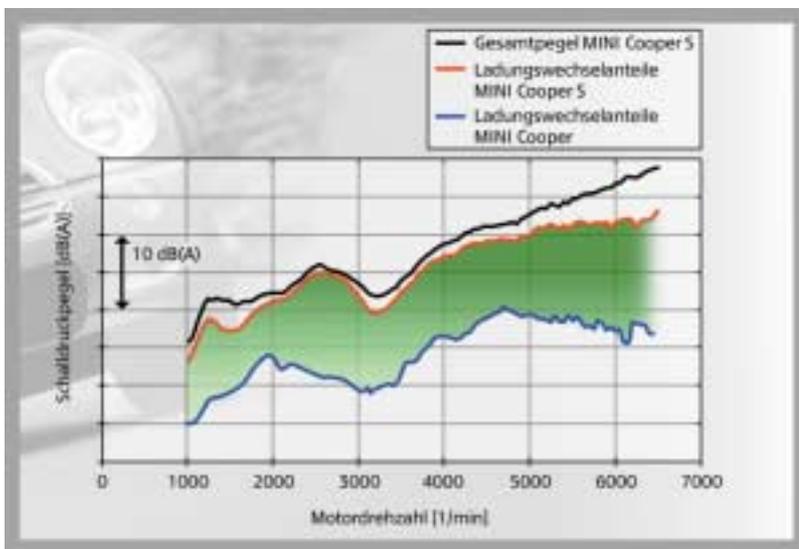


Bild 14: Mündungsgeräusch Abgasanlagen Mini Cooper/Mini Cooper S  
Figure 14: Noise at the exhaust tailpipes of the Mini Cooper/Mini Cooper S

7 Zusammenfassung

Nach der erfolgreichen Markteinführung des neuen Mini One und Mini Cooper mit dem 1,6-l-Saugmotor mit 66 beziehungsweise 85 kW im Frühjahr 2001 wird die Motoren-Palette nun nach oben mit dem aufgeladenen, agilen Mini Cooper S-Motor abgerundet. Mit 120 kW und einer hohen spezifischen Leistung von 75 kW/l rangiert dieser Motor im Spitzenfeld seiner Klasse.

Durch konsequente Auslegung auf niedrige Rohemissionen konnten die strengen EU-4- und LEV-Anforderungen ohne aufwändige Technik in der Abgasnachbehandlung eingehalten werden.

Das Fahrerlebnis wird durch ein ausgefeiltes, lastabhängiges Sound Engineering an Abgasanlage und Aufladesystem auch akustisch zu einem Genuss. Das kurz gestufte Sechsganggetriebe rundet das sportliche Antriebskonzept harmonisch ab. ■

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



**MTZ** Vieweg Verlag Postfach 1546 D-65173 Wiesbaden  
Hotline 06 11/78 78-151 Fax 06 11/78 78-423  
email: vieweg.service@bertelsmann.de



## Feuriges Temperament auf allen Zylindern

Konstruktion und Berechnung

Motorenversuch

**Fertigung**

Motorenkomponenten

Bei der Anzahl der Zylinder eines kraftvollen und ausdauernden Motors sind wir bekanntermaßen sehr flexibel. Leistungsfähige CAD/CAM-Systeme unterstützen uns dabei, mit unserem hochmodernen Maschinenpark Motorenteile als Prototypen oder in Kleinserien absolut präzise zu fertigen.

Allerdings machen wir mehr als nur das. Seit 30 Jahren entwickelt SCHRICK – für die Serienfertigung ebenso wie für den Einsatz im Motorsport – innovative Hochleistungskomponenten und leistungsstarke Verbrennungsmotoren für die weltweit bekanntesten Motorenhersteller.



**SCHRICK**<sup>®</sup>  
DIE MOTORENENTWICKLER