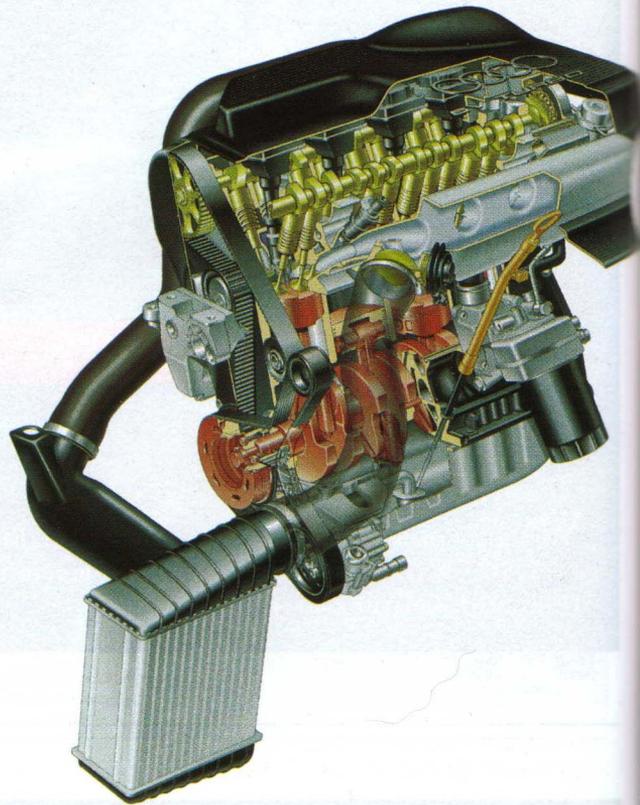


Der Vierzylinder-Turbomotor für den Audi A3

Von Hans-Jürgen Rudolph, Jürgen Königstedt, Ralf Brunken, Heinrich Teufel und Thomas Binder

Das Motorenangebot des Audi A3 umfaßt seit kurzem einen aufgeladenen Vierzylinder-Ottomotor, der neben sehr guten Fahrleistungen auch sehr günstige Verbrauchswerte und hohen Fahrkomfort bietet. Mit diesem neuen Motor ist in der Kompaktklasse erstmalig ein Turbomotor mit fünf Ventilen pro Zylinder in Serie.

In diesem Aufsatz wird der Fünfventil-Turbomotor mit 1,8 l Hubraum von Audi für den Quereinbau beschrieben, der eine grundlegend neue Entwicklung auf Basis des 1,8-l-Motors für den Längseinbau im Audi A4 ist und wie dieser über eine Nennleistung von 110 kW und ein Drehmoment von 210 Nm verfügt. Das Drehmoment steht bereits ab einer Drehzahl von 1 750/min zur Verfügung und bleibt bis 4 600/min auf konstant hohem Niveau.



1 Einleitung

Seit 1994 umfaßt das Motorenangebot von Audi einen aufgeladenen Turbomotor mit einem Hubvolumen von 1,8 l und Fünfventiltechnik. Dieses Triebwerk basiert auf dem bei Audi und VW bewährten Vierzylindermotor und wird in Konzernfahrzeugen mit Längseinbau der Aggregatengruppe eingesetzt. Für die Konzernplattform der Golfklasse wurde nun auf Basis der Nachfolge-Vierzylindergeneration ein neuer 1,8-l-Fünfventil-Turbomotor für den Quereinbau, **Bild 1**, entwickelt. Entwicklungsumfänge waren neben dem neuen Rumpfmotor, eine neue Ladeluftführung, ein neues Saugrohr, ein neuer Turbolader und ein überarbeitetes Motormanagement. Das neue Triebwerk ist nun erstmals beim Audi A3 in Großserie im Einsatz.

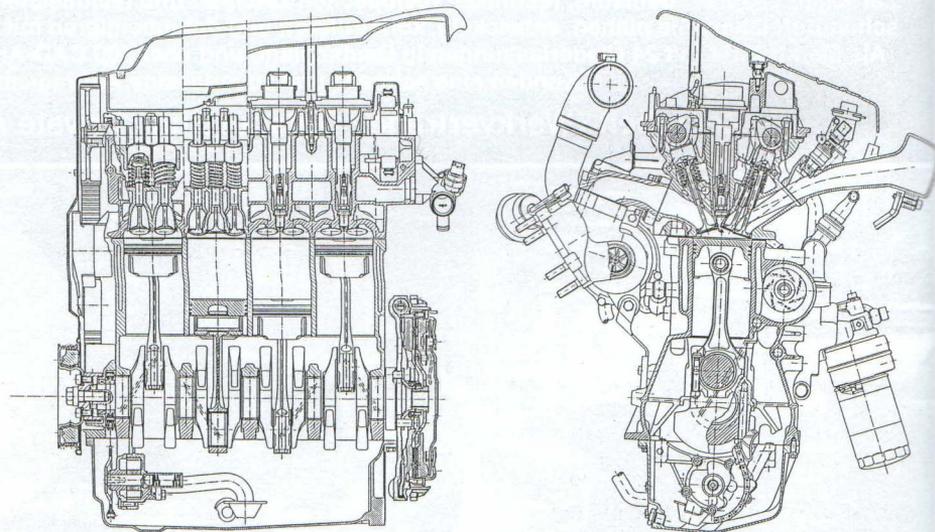


Bild 1: Längs- und Querschnitt des 1,8-l-5V-Turbomotors

Fig. 1: Longitudinal and cross section of 1.8 l 5V-engine

2 Entwicklungsziele

Technisches Ziel war, einen aufgeladenen Motor für den Quereinbau zu entwickeln, der dem derzeitigen Konzept für Turbo-

motoren bei Audi entspricht. Hierbei wird die Turboaufladung nicht genutzt, um einen Leistungsspitzenwert zu erzielen, sondern um frühzeitig ein hohes Drehmoment über einen breiten Drehzahlbereich be-

reitzustellen. Für die Erzielung einer derartigen Drehmomentcharakteristik werden relativ kleine Abgasturbolader benötigt, die bereits bei niedrigen Motordrehzahlen ausreichend Ladedruck zur

Verfügung stellen, wobei ein weiterer Vorteil das gute Ansprechverhalten aufgrund des geringeren Massenträgheitsmomentes des Turbinenläufers ist. Der gewünschte Momentenverlauf wird durch die langhubige Auslegung der Fünfventil-Motoren begünstigt.

Weitere technische Forderungen waren die Einbindung des neuen Motors in den vorgegebenen Bauraum der Konzernplattform, die Verwendung von möglichst vielen Gleichteilen zu verwandten Otto- und Dieselmotoren, sowie die Einhaltung der notwendigen Crashanforderungen.

Ökologische Ziele waren niedriger Kraftstoffverbrauch und die sichere Erfüllung heutiger und zukünftiger Abgasvorschriften. Das Erreichen dieser Ziele wurde durch die Drehmomentcharakteristik und die dadurch mögliche lange Getriebeauslegung erleichtert. Im überwiegend genutzten Fahr- und Drehzahlbereich steht immer ein hohes Antriebsmoment zur Verfügung, was dem Fahrer bereits bei niedrigen Drehzahlen ein früheres Hochschalten ermöglicht, wodurch der Motor in verbrauchsgünstigen Bereichen betrieben wird.

3 Motorbeschreibung

Die nachfolgende Beschreibung beschränkt sich auf die wesentlichen Unterschiede zum 1,8-l-Motor für den Längseinbau.

3.1 Quereinbauspezifische Merkmale

Vorgabe war es, den Motor für die Konzernplattform der Golfklasse zu entwickeln. Somit waren der Bauraum, als auch die Lage von Wasserkühler, Ladeluftkühler, Luftfilter und Teilen der Kühlwasserverschlauchung bestimmt.

Basierend auf dem bei Audi in Serie befindlichen 5-V-Zylinderkopf war auch die Lage der „heißen Motorseite“ vorgegeben. Der Abgasturbolader liegt zwischen dem Zylinderkurbelgehäuse und der Spritzwand, die „kalte Seite“ mit dem Saugrohr ist dem Kühler zugewandt. Dem Nachteil dieser Anordnung, der geringeren Kühlung im Bereich von Abgaskrümmer und Turbolader, steht der Vorteil einer kompakten Abgasanlage gegenüber.

Grundsätzliche Änderungen im Vergleich zum Turbomotor für den Längseinbau sind:

- neues Triebwerk ohne Nebenwelle
- Pendellagerung des Triebwerks
- neue Ladeluftführung
- neues Saugrohr
- neuer Abgaskrümmer
- neuer Turbolader
- neue Abgasführung
- überarbeitetes Motormanagement.

3.2 Rumpfmotor

Während der 1,8-l-Turbomotor für den Längseinbau noch auf der bisherigen Vierzylindermotoren-Generation basiert, baut der neue Quermotor bereits auf der Nachfolgeneration auf. Das Triebwerk weist folgende Konzeptmerkmale auf:

- Entfall der Nebenwelle und Antrieb der Ölpumpe über eine Kette
- Integration des Wasserpumpengehäuses in das Zylinderkurbelgehäuse.

3.2.1 Beschreibung des Rumpfmotorumfanges

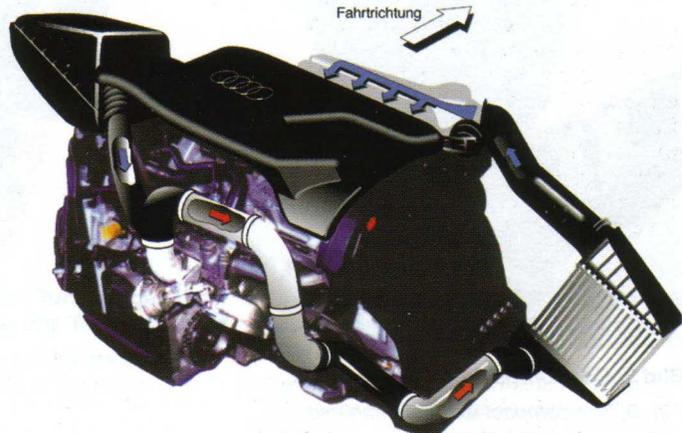
Das Zylinderkurbelgehäuse ist eine closed-deck Konstruktion mit heruntergezogenen Seitenschürzen aus GG 25. Gering belastete Strukturteile sind aus Gründen der Gewichtsreduzierung in Dünwand-Gußtechnik ausgeführt. Die Entwicklung wurde unter Berücksichtigung einer möglichst großen Übereinstimmung zum TDI-Motor betrieben, um gleichgestaltete Fertigungs- und Montagelinien nutzen zu können.

Das Wasserpumpengehäuse ist in das Zylinderkurbelgehäuse über einen gemeinsamen Wasserraumkern integriert, das Pumpenrad und der Lagerdeckel der Wasserpumpe werden in das Zylinderkurbelgehäuse eingesteckt. Der Thermostat befindet sich rückseitig im Wasserpumpengehäuse. Durch diese Anordnung wird die Anzahl an Dichtflächen im Wasserkreislauf stark reduziert. Die Wasserpumpe wird direkt mit dem Zahnriemen des Steuertriebs angetrieben.

Die im Ölsumpf untergebrachte Ölpumpe wird durch eine Simplexkette von der Kurbelwelle angetrieben. Durch die tiefe Pumpenlage wurde eine geringere Saughöhe mit dem Vorteil einer besseren Selbstansaugung erreicht. Das Schieberdruckregelventil befindet sich reinseitig im Ölfiltergehäuse, wodurch eine maximal mögliche Öldruckabsenkung erreicht werden konnte, mit dem Ziel die Verlustleistung zu reduzieren. Das gefilterte Öl sorgt für die Schmierung der Lagerstellen und versorgt die Kolbenkühl-

Bild 2: Prinzipschaubild der Ladeluftführung

Fig. 2: Schematic diagram of the intake duct



The Four-Cylinder Turbo Engine for the Audi A3

MTZ

worldwide

Die englische Version dieses Aufsatzes lesen Sie in **MTZ worldwide**. Sie können das englischsprachige Supplement der MTZ abonnieren.

Abo-Hotline:
++49 / 6 11 /
78 78 151

düsen. Die Ölwanne besteht aus Aluminiumdruckguß und wird fest mit Motor und Getriebe verschraubt, was zur Erhöhung der Torsionssteifigkeit des Motor-Getriebe-Verbandes beiträgt.

Der Entfall der Nebenwelle und die Integration der Wasserpumpe in das Kurbelgehäuse ermöglichte eine Gewichtsreduzierung um etwa 3 kg und den Antrieb sämtlicher Nebenaggregate (Lenkhilfepumpe, Generator und Klimakompressor) durch einen einzigen Poly-V-Riemen. Durch das kompakte Zylinderkurbelgehäuse und die eng angebundnen Nebenaggregate wurde außerdem ein optimiertes Crashverhalten realisiert.

3.3 Ladeluftführung

Vom Luftfilter auf der linken Seite wird die Ansaugluft zum Abgasturbolader hinter dem Zylinderkurbelgehäuse geleitet. Die komprimierte Ladeluft wird dann vom Verdichter hinter dem Zylinderkopf vorbei nach unten und anschließend parallel zum Längsträger zum Ladeluftkühler geführt. Die gekühlte Ladeluft strömt anschließend durch einen Druckschlauch steil nach oben zum Drosselklappenteil am Saugrohr. Ein Prinzipschaubild der Ladeluftführung zeigt **Bild 2**.

3.4 Saugrohr

Das Saugrohr des Turbomotors für den Längseinbau wurde dem Quereinbaupackage angepaßt. Da der Drosselklappenstützen beim Quermotor seitlich am Sammler, und nicht mehr mittig angeordnet ist, wurde er strömungstechnisch vollständig überarbeitet.

3.5 Zylinderkopf

Der Zylinderkopf wurde ohne wesentliche Änderungen von den Längseinbau-Motoren übernommen. Einziger Unterschied ist ein zusätzlicher Anschluß für die kombinierte Kopf-Block-Entlüftung, welche die notwendige blow-by-Entlüftung und den Unterdruck im Kurbelgehäuse sicherstellt.

3.6 Abgaskrümmmer

Der Abgaskrümmmer besteht aus Guß. Aus den Erfahrungen beim Turbomotor für den Längseinbau heraus wurde als Krümmerwerkstoff GGG NiSiCr 3552, auch als „D5“ bezeichnet, gewählt, ein reißfestes Gußmaterial mit hohem Nickelanteil.

Der Flansch zum Zylinderkopf ist geschlitzt, um Spannungen aufgrund der großen thermischen Dehnungen der Krümmerarme zu reduzieren.

Der Krümmer ist raumsparend konstruiert, **Bild 3**, durch die gute Zugänglichkeit kann er maschinell an den Zylinderkopf geschraubt werden. Weiterhin kommt die kompakte Rohrführung einem guten Ansprechverhalten des Turboladers zugute. Während beim Turbomotor für den Längseinbau die Rohrzusammenführung nach dem Schema „3 in 1 und 1 in 1“ realisiert war, hat der neue Quermotorkrümmmer eine „2x2 in 1“-Zusammenführung.

3.7 Abgasturbolader

Als Turbolader wurde der wassergekühlte Typ K03 von KKK gewählt. Den vollständigen ATL zeigt **Bild 4**. Es ist ein relativ kleiner Abgasturbolader, der wegen

Bild 4: Der Turbolader KKK 03

Fig. 4: The KKK 03 turbocharger



des geringen Trägheitsmomentes seines Turbinenläufers schnell auf alle Lastwechsel reagiert.

Ein Antipump-Regelventil schließt den Verdichterkreislauf kurz, sobald die Drosselklappe geschlossen wird, so daß der Verdichter nicht an der Pumpgrenze betrieben wird. Hierdurch wird im Schubetrieb ein starkes Abbremsen des Verdichterrades vermieden. Bei erneutem Beschleunigen durch Öffnen der Drosselklappe muß der Turbolader nicht erst wieder auf Drehzahl gebracht werden, was ebenfalls dem Ansprechverhalten zugute kommt.

Das Turbinengehäuse des Laders ist eine vollständige Neukonstruktion mit radialer Abströmung nach der Turbine, der Ab-

gasflansch steht senkrecht zur Laderachse. Im Vergleich zu dem Längsmotor wurde der Halsquerschnitt der Turbine leicht vergrößert, mit dem Ziel den Druck p_3 vor der Turbine und damit die Ausschleibe- und den Restgasanteil zu reduzieren.

Das Gehäuse hat eine integrierte Bypassklappe, die mit einer Steuerdose pneumatisch betätigt wird und den Abgasstrom durch den ATL steuert. Im unteren Motordrehzahlbereich bleibt die Bypassklappe geschlossen, der Lader stellt dem Motor den für hohes Drehmoment benötigten Ladedruck zur Verfügung. Bei höheren Motordrehzahlen wird eine entsprechende Abgasmenge an der Turbine vorbeigeleitet.

Die Durchströmung des Turbinengehäuses veranschaulicht **Bild 5**.

Bild 5: Durchströmung des Turbinengehäuses beim ATL

Fig. 5: Exhaust gas flow in the turbine housing of the turbo charger

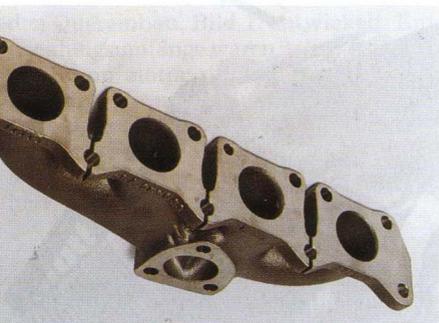
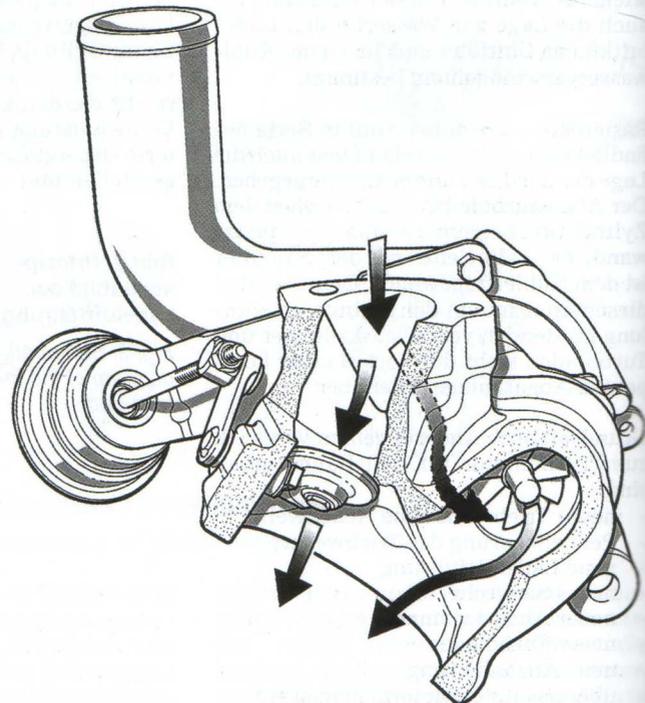


Bild 3: Der kompakte Abgaskrümmmer

Fig. 3: The compact exhaust manifold exhaust gas turbo charger

4 Motormanagement

Der Werkstoff des Turbinengehäuses ist wie schon beim Abgaskrümmen GGG NiSiCr 3552. Über die Thermosyphonwirkung der Kühlwasserleitungen wird die Kühlung des ATL in der Nachheizphase nach dem Abstellen des Motors realisiert.

Der Abgasturbolader ist mit drei Schrauben M10 x 50 an den Abgaskrümmen angeflanscht. Als Schraubenwerkstoff wurde X5NiCrTi2615 gewählt. Dieser warmfeste Stahl hat einen ähnlich hohen Ausdehnungskoeffizienten wie der Nickelwerkstoff D5 von Krümmer und Turbinengehäuse. So entstehen bei den starken Temperaturschwankungen nur geringe Verspannungen im Verband, die Schraubenvorspannung bleibt dauerhaft erhalten.

Um den thermisch und dynamisch hochbeanspruchten Verband Abgaskrümmen/ATL zu entlasten, wird das Turbinengehäuse zum Zylinderkurbelgehäuse hin abgestützt. Aufgrund der hohen Bauteiltemperatur von Krümmer und Lader und des hohen Ausdehnungskoeffizienten des Werkstoffes D5 hat der Gesamtverband gegenüber dem Zylinderkurbelgehäuse eine Wärmeausdehnung im Millimeterbereich. Bei einer zu starren Anbindung wären daher große Bauteilverspannungen und Schäden die Folge.

Es wurde daher eine Stützstrebe entwickelt, die in Richtung der thermischen Dehnung biegeweich ist, die dynamischen Kräfte aus den Bauteilschwingungen aber als Pendelstütze aufnimmt. Die Stützgeometrie wurde mit FEM-Berechnungen optimiert. **Bild 6** zeigt das Berechnungsmodell. In **Bild 7** ist die Spannungsverteilung im Turbinengehäuse bei Anbindung mit einer steifen Stütze aufgrund thermischer Dehnungen dargestellt. Durch eine optimierte Stütze wurden die Spannungsmaxima im Flanschbereich zum Lagergehäuse drastisch reduziert, **Bild 8**.

3.8 Abgasanlage

Das Konzept des direkt an den Abgasturbolader angeflanschten Katalysators beim Quereinbau konnte beim Quereinbau nicht beibehalten werden, dennoch wurde eine relativ motornahe Lage realisiert. Der Abstand vom Abgasturbolader zum Monolithen beträgt nur 700 mm, **Bild 9**.

Der kurze Abgasweg bis zum Katalysator ermöglicht ein schnelles Erwärmen und somit „Anspringen“ desselben und die Erfüllung der MVEG II-Grenzwerte ohne Kraftstoff-Mehrverbrauch für motorisches Katalysatorheizen.

Desweiteren bietet die gewählte Anordnung Potential für die Erfüllung zukünftiger, schärferer Abgasgesetzgebungen. Verwendung findet ein Katalysator (118 mm x 174 mm). Die λ -Sonde vom Typ Bosch LSH 25 ist im Vorrohr eingebaut.

Wie beim 1,8-l-Turbomotor des Audi A4 findet auch beim Turbomotor des Audi A3 eine Bosch Motronic M 3.8 Verwendung. Die Funktionalität der Motorsteuerung

Bild 6: Berechnungsmodell für FEM-Analyse des Verbandes Rumpfmotor-Abgaskrümmerturbolader

Fig. 6: Calculation model for the FEM analysis of the connection between short block, exhaust manifold and turbocharger

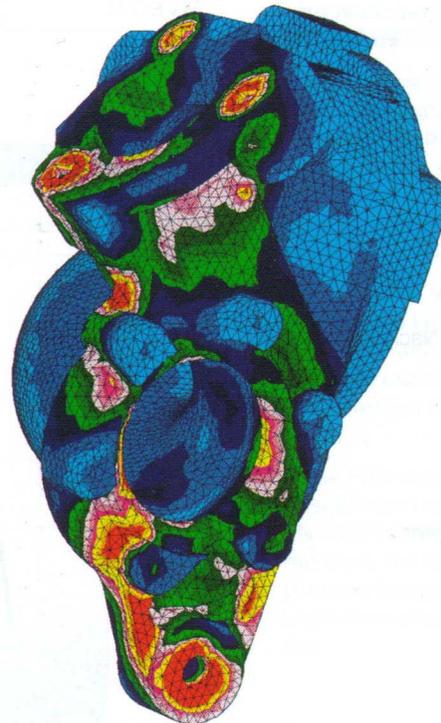
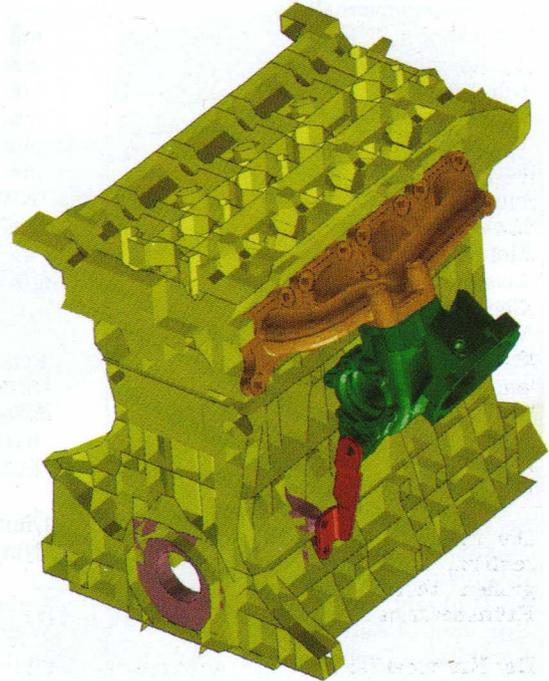


Bild 7: Spannungen im Turbinengehäuse bei steifer Anbindung des Turboladers

Fig. 7: Stresses in the turbine housing in case of rigid connection of the turbocharger

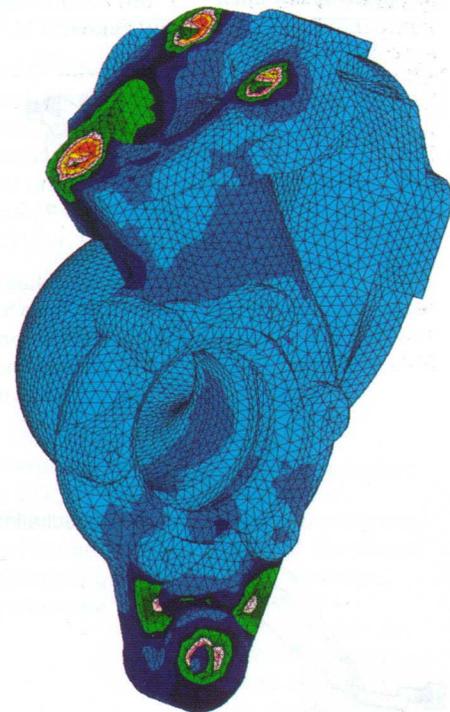


Bild 8: Spannungen im Turbinengehäuse bei optimierter Abstützung des Turboladers

Fig. 8: Stresses in the turbine housing in case of optimized support of the turbocharger

der beiden Motoren ist im wesentlichen identisch. Den zuvor beschriebenen, umfangreichen Modifikationen des Motors und der anderen Einbausituation wurde durch eine Neubedatung der Motorsteuerung Rechnung getragen.

Tabelle : Technische Daten

Table: Technical Data

Bauart		Vierzylinder in Reihe
Ventile/Zylinder		5
Hubraum	cm ³	1781
Bohrung/Hub	mm	81/86,4
Hub-/Bohrung-Verhältnis		1,07
Pleuellänge	mm	144
Pleuelstangenverhältnis		0,3
Blockhöhe	mm	220
Zylinderabstand	mm	88
Durchmesser	mm	54
Durchmesser Pleuellager	mm	47,8
Ventildurchmesser (E/A)	mm	27/30
Ventilhub (E/A)	mm	7,67/9,30
Spreizung Nockenwelle (E/A)	°KW	190/200
Einlaßkanalgröße	mm ²	40,2
Motorgewicht	kg	128
Leistungsgewicht	kg/kW	1,16
Gemischaubereitung		Bosch Motronic M3.8
Verdichtung		9,5-0,5
Kraftstoff	ROZ	95
Maximale Drehzahl	1/min	6 800
Mittlere Kolbengeschwindigkeit	m/sec	16,7
Maximaler Mitteldruck	bar	14,82
Maximale Leistung	kW	110
(EG reduziert)		
bei Drehzahl	1/min	5 700
Maximales Drehmoment	Nm	210
(EG reduziert)		
bei Drehzahl	1/min	1 750 bis 4 600
Spezifische Leistung	kW/dm ³	61,76
Spezifisches Drehmoment	Nm/dm ³	117,91
Maximaler Ladedruck	bar	1,8
bei Drehzahl	1/min	1 750
Abgasentgiftet nach		MVEG II

5 Kennwerte

5.1 Motorkennwerte

Die wichtigsten Daten zeigt die **Tabelle**.

5.2 Fahrzeugkennwerte

Die Verbrauchswerte für den Audi A3 1,8 T betragen:

- 5,8 l/100 km bei 90 km/h
- 7,7 l/100 km bei 120 km/h
- 9,0 l/100 km im Stadtzyklus
- 7,5 l/100 km im Drittelmix.

Die Emissionsvorschriften nach MVEG II werden erfüllt.

Aufgrund der Leistungs- und Drehmomentcharakteristik, **Bild 10**, sind die Beschleunigungs- und Elastizitätswerte im Audi A3 1,8T für diese Automobilklasse sehr gut:

- 8,1 s von 0 auf 100 km/h
- 12,3 s von 60 auf 120 km/h.

6 Schlußbetrachtung

Mit dem neuen 1,8-l-Fünfventil-Turbomotor wurde das bei Audi vorhandene technische Konzept des drehmomentorientierten Turbomotors für den beim Audi A3 gegebenen Quereinbau des Motors neu umgesetzt. Auf Basis der neuen, nebenwellenlosen Vierzylindermotoren-Generation entstand ein Aggregat, das mit gut-

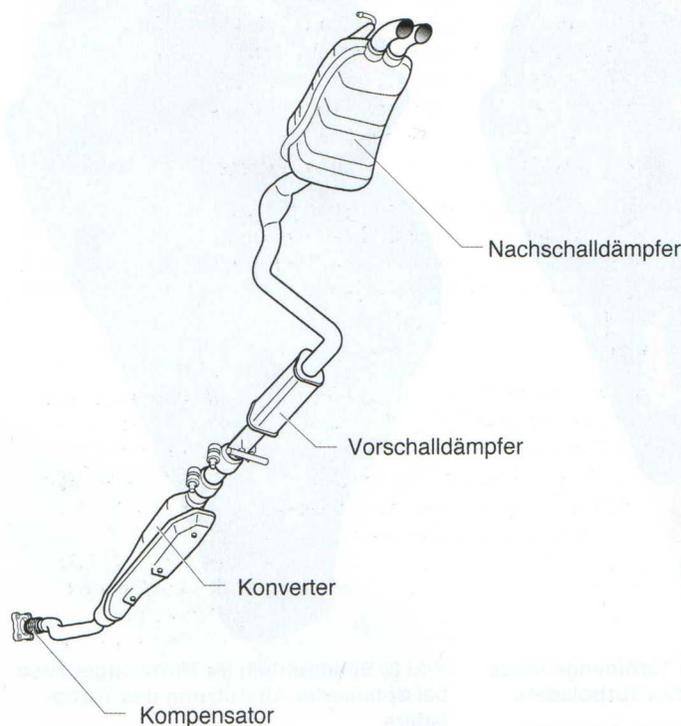


Bild 9: Die Abgasanlage des 1,8-l-5V-Turbomotors

Fig. 9: The 1.8 l 5V turbo engine exhaust system

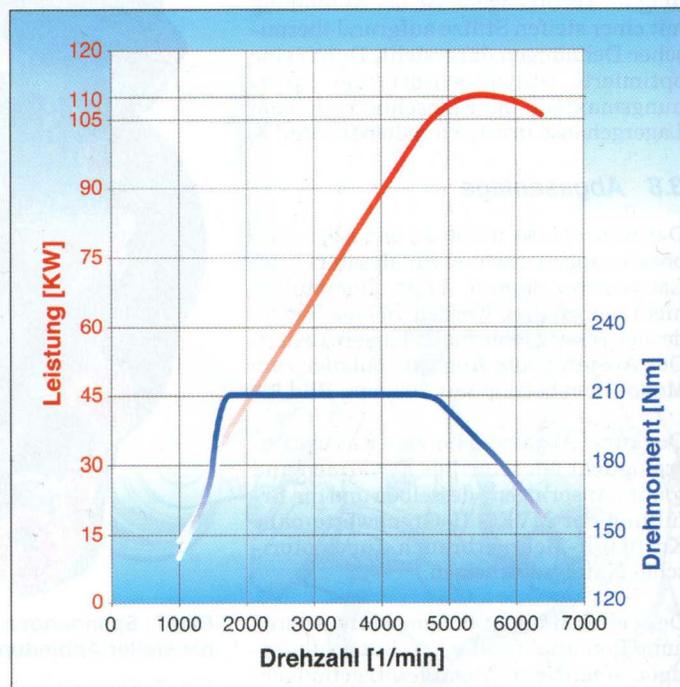


Bild 10: Leistung und Drehmoment

Fig. 10: Power and torque of the 1.8 l 5VT transverse engine

en Beschleunigungs- und Elastizitätswerten dem Kunden Fahrspaß und Agilität bei günstigem Kraftstoffverbrauch bietet.

Literaturhinweise

- [1] Brennecke, D.; Erdmann, H. D.; Griese, W.: Der aufgeladene Vierzylindermotor von Audi mit Fünfventiltechnik. In: MTZ 56 (1995) Nr. 2, S. 62-71
- [2] Willmann, M.; Röpke, S.; Hilbig, J.; Warnecke, D., Gökesme, S.: Das neue TDI-Triebwerk von Volkswagen. In: MTZ 57 (1996) Nr. 1, S.604-610

Die Verfasser

Dipl.-Ing. Thomas Binder ist Berechnungsingenieur in der Motorenentwicklung der Audi AG in Ingolstadt.



Dipl.-Ing. Ralf Brunken ist Leiter der Abteilung Produktinformation in der technischen Entwicklung der Volkswagen AG.



Dipl.-Ing. Jürgen Königstedt ist Projektleiter in der Motorenentwicklung der Audi AG in Ingolstadt.



Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Rudolph ist Konstrukteur in der Motorenentwicklung der Audi AG in Ingolstadt.



Heinrich Teufel ist Teamleiter in der Rumpfmotorenentwicklung der Audi AG in Ingolstadt.

