

Der neue 2,0-l-TFSI-Motor mit Audi valvelift system

Mit der Einführung des 2,0-TFSI-Motors im Jahr 2004 kombinierte Audi erstmals Direkteinspritzung und Turboaufladung im Ottomotor. Der 2,0 TFSI mit Audi valvelift system stellt die nächste Entwicklungsstufe dar. Durch einen reibungsoptimierten Grundmotor und das weite Drehmomentenplateau von 350 Nm ermöglicht dieses Aggregat eine sportliche Fahrleistung bei niedrigem Verbrauch.

1 Entwicklungsziele

Im oberen Segment der Vierzylinder-Otomotoren ist bei Audi die Kombination aus Direkteinspritzung und Abgasurboaufladung Standard. Basierend auf der im Jahr 2007 neu eingeführten Baureihe EA888 galt es, zur Sicherstellung der guten Fahrleistungen in Kombination mit weiter abzusenkendem Verbrauch insbesondere das Motordrehmoment deutlich zu erhöhen und gleichzeitig Spontaneität darzustellen.

Zur Realisierung der Verbrauchsziele waren zahlreiche Detailoptimierungen zur Reibungsreduzierung umzusetzen. Deshalb erfolgt auch bei diesem Aggregat die Ölvorsorgung durch eine Regelölpumpe. Um den Ladungswechsel hinsichtlich des Zielwerts von 350 Nm zu optimieren, wurde das Audi valvelift system im Zylinderkopf integriert sowie der Abgasurbolader hinsichtlich des Wirkungsgrads optimiert. Der Motor ist auf Superbenzin ROZ 95 ausgelegt.

2 Grundtriebwerk

Der 2,0 TFSI mit Audi valvelift system ist eine neue Entwicklungsstufe der EA888 Motorbaureihe. Eine Übersicht der Abmessungen ist **Tabelle 1** zu entnehmen. Die Konzeptionierung des Grundtriebwerks mit seinen Kettentrieben und Aus-

gleichwellen wurde bereits detailliert vorgestellt [1].

Zur Sicherstellung einer geringen Eigenreibung des Grundtriebwerks ist auch dieser Motor, wie der 1,8 TFSI im A4, mit einer volumenstromgeregelten Ölpumpe mit zweistufiger Druckregelung ausgerüstet [2]. Im Vergleich zum aktuellen 1,8-l-Serienmotor wurden weitere Detailoptimierungen zur Reibungssenkung erarbeitet. Die wesentlichen Änderungen sind:

- eine verbesserte Form und Oberfläche der Zylinderbohrungen, um eine niedrigere Kolbenringvorspannung bei gleichem Ölverbrauch sicherzustellen
- Gleitlack beschichtete Pleuellagerschalen, um die Kurbeltriebsreibung weiter zu minimieren.

Durch diese Detailoptimierungen konnte die Reibung im Kurbeltrieb um 5 % reduziert werden.

3 Mechanik Audi valvelift system

Technologische Basis des Audi valvelift systems ist die Steuerung von zwei verschiedenen Nockenkonturen zur Optimierung des Ladungswechsels. Sie entspricht weitgehend dem aus dem V6-2,8-l-FSI-Motor bekannten System [4]. Beim 2,0 TFSI ist das Verstellsystem jedoch nicht auf der Einlass-, sondern auf der

Tabelle 1: Hauptabmessungen und Kerndaten des 2,0-TFSI-Motors mit Audi valvelift system im Audi Q5

Grundabmessung	Einheit	130 kW	155 kW
Hubraum	cm ³		1984
Hub	mm		92,8
Bohrung	mm		82,5
Hub/Bohrung (Verhältnis)	--		1,125
Zylinderabstand	mm		88
Blockhöhe	mm		220
Pleuellänge	mm		144
Kurbelwellenlager	--		5
Hauptlagerdurchmesser	mm		58
Pleuellagerdurchmesser	mm		48
Ventildurchmesser			
- Einlass	mm		33,85
- Auslass	mm		28,00
Verstellbereich für Einlassnockenwelle	"KW		60
Verdichtung	--		9,6 ± 0,2
Leistung	kW b. 1/min	130 bei 3900 - 6000	155 bei 4300 - 6000
Drehmoment	Nm b.1/min	320 bei 1500 - 3800	350 bei 1500 - 4200
Kraftstoffart	ROZ		95
Motormasse n. DIN 70020A	Kg		140,8 kg
Abgasnorm	--		EU V

Auslassseite adaptiert, **Bild 1** und **Bild 2**. Die Nockenwelle besteht aus einer Grundwelle mit Außenlängsverzahnung, auf der vier Nockenstücke axial verschiebbar gelagert sind. Auf jedem Nockenstück befinden sich für beide Auslassventile eines Zylinders jeweils zwei Nockenkonturen. Die Umschaltung erfolgt durch acht elektromagnetische Aktuatoren, aus denen in genau festgelegten Zeiträumen Pins ausfahren, die in die Umschaltnuten eintauchen und das Nockenstück über die schrägen Nutflanken verschieben. Je Zylinder wird ein Aktuator für die Schaltung von dem großen auf den kleinen Nocken benötigt und ein zweiter Aktuator für die entsprechende Rückschaltung. Zur Adaption des Audi valvelift systems in den aktuellen Serienzylinderkopf mussten lediglich die Zylinderkopfhäube angepasst und systembedingt die Rollenschlepphebel modifiziert werden. Diese wurden hierbei gleichzeitig durch eine verbesserte Lagerung reibungsoptimiert. Das drehzahlbeste und robuste, mit wenigen Bauteilen auskommende System ist zu 100 % eine Eigenentwicklung des Ingolstädter Automobilherstellers. Die Komponenten werden als Haussteil auf einer gemeinsamen V6- und R4-Nockenwellenlinie gefertigt.

4 Turbolader

Um die hochgesteckten Entwicklungsziele hinsichtlich Fahrverhalten und Wirkungsgrad zu erreichen, waren auch am Abgas-turbolader umfangreiche Optimierungsschritte erforderlich. Mittels umfangreicher CFD-Berechnungen wurden die Geometrie der Abgaskrümmer, sowie die Turbinen- und Wastegate-Anströmung optimiert. Das Ergebnis ist ein vierzylinder-Turbomotoren der Baureihe EA113 um 180° gedreht angeordnete Wastegate-Klappe. In Verbindung mit dem speziell für diese Anwendung ausgelegten Turbinenrad konnte der Wirkungsgrad um zirka 6 % gesteigert werden. Durch die verbesserte Wastegate-Anströmung wurde die Regelbarkeit signifikant verbessert und eine gleichmäßigere Anströmung des motor-nahen Katalysators erreicht. Das Verdichterterrad ist ebenfalls eine exakte auf die Anforderungen des neuen 2,0-TFSI-Motors ab-

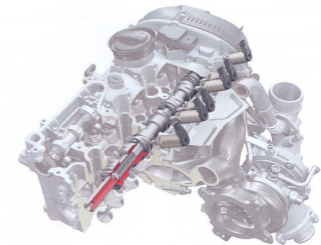


Bild 1: Audi valvelift system inklusive Zylinderkopf

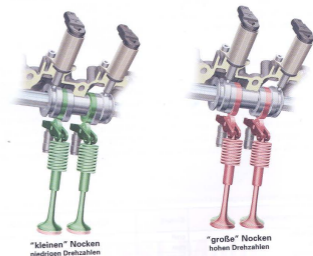


Bild 2: Das Audi valvelift system im Detail

gestimmte Neuentwicklung. Hierdurch konnte die Effizienz des Verdichters im Vergleich zum EA113 2,0-TFSI-Motor um 3 % erhöht werden. Durch diese Detailoptimierungen ist es gelungen, einen schnellen, spontanen Ladedruckaufbau auch bei niedrigen Motordrehzahlen zu generieren. Unter anderem aufgrund der oben beschriebenen Wirkungsgradverbesserungen konnte auch der Verbrauch im Hochlastbereich drastisch gesenkt werden, was die

Grundvoraussetzung für Kraftstoffökonomie im Kundenbetrieb ist.

5 Thermodynamik

Thermodynamisch basiert der 2,0-TFSI-Motor mit Audi valvelift system auf den bereits vorgestellten Motorvarianten [1-3]. Die Brennraumform inklusive Kolbentopographie wurde vom 147-kW-Aggregat über-

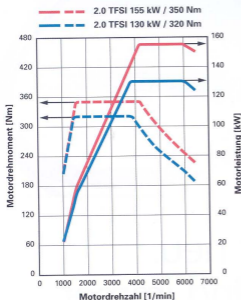


Bild 3: Vollastkurven – Vergleich 2,0 TFSI (155 kW) und 2,0 TFSI (130 kW)

Tabelle 2: Fahrleistungen 2,0 TFSI (155 kW)

Merkmal	Einheit	155 kW / 350 Nm
Automat		
0 - 100 km/h	[s]	7,2
80 - 120 km/h 5. Gang	[s]	7,1
Vmax	[km/h]	222
NEFZ gesamt	[l/100km]	8,5
CO ₂	[g/km]	197

nommen. Das Einspritzsystem arbeitet mit Rail-Drücken bis zu 150 bar, die von der bedarfsgeregelten Finklumpenpumpe bereitgestellt werden. Die Hochdruckpumpe wird von vier Nocken am Ende der Auslassnockenwelle angetrieben. Die Einspritzventile sind als Mehrlochinjektoren mit sechs Spritzlöchern ausgeführt und weisen einen statischen Durchfluss von 17,5 cm³/s auf. Durch Einsatz des Audi valvelift systems konnte der Ladungswechsel weiter optimiert werden. Im Gegensatz zum 2,8-l- und 3,2-l-FSI-Motor [4, 5] wirkt das System jedoch auf der Auslassseite. So wird zwischen zwei verschiedenen Auslassnockenwellenprofilen geschaltet. Bei hohen Lasten und niedrigen Drehzahlen wird auf den „kleinen“ Nocken umgeschaltet. Zu-

sammen mit dem Einlassnockenwellenphaser mit einem Verstellbereich von 60° KW lässt sich eine Zündfolgetrennung mit positivem Spülgefälle realisieren. Der Restgasgehalt in den Zylindern wird somit deutlich gesenkt. Das Resultat ist bei der 155-kW-Variante dieses Motors ein Drehmomentenplateau von 350 Nm, das bereits ab 1500/min anliegt, **Bild 3**. Bei der Entwicklung des neuen 2,0-TFSI-Motors stand der dynamische Drehmomentenaufbau besonders im Fokus. Durch die Variabilitäten in den Ventilsteuerzeiten – einlassseitiger Nockenwellenphaser und Audi valvelift system auf der Auslassseite – und eine sorgfältige Abstimmung von Einspritzmischung und Zylinderinnenströmung mittels Ladungsbewegungskappen konnte auch

bei niedrigen Drehzahlen ein überzeugendes Ansprechverhalten und damit ein ansprechendes Fahrverhalten erreicht werden. Somit ist es möglich, das Fahrzeug mit Verbrauch senkenden, langen Achsübersetzungen auszustatten, ohne Kompromisse bei den Fahrleistungen in Kauf nehmen zu müssen. Der Audi Q5 2,0 TFSI quattro mit 155 kW und S tronic-Getriebe erreicht eine Beschleunigung von 0 km/h auf 100 km/h in 7,2 s in Kombination mit einem Verbrauch von 8,5 l Superbenzin je 100 km, **Tabelle 2**.

6 Zusammenfassung

Der reibungsoptimierte Grundmotor mit Regelölpumpe sichert zusammen mit der hocheffizienten Verbrennung des 2,0-TFSI-Motors im Audi Q5 hervorragende Verbrauchswerte. Gleichzeitig ermöglicht das Drehmomentenplateau von 350 Nm, das sich über eine Drehzahlspanne von 1500/min bis 4200/min erstreckt, sportliche Fahrleistungen und eindrucksvolle Elastizitätswerte. Durch die Auslegung des Motors auf ROZ 95 sind geringe Kraftstoffoff-Betriebskosten sichergestellt.