

© Volvo

AUTOREN



Dipl.-Ing. Michael Fleiss
ist Vice President und Head of Powertrain bei der Volvo Car Corporation in Göteborg (Schweden).



Göran Almkvist
ist Principal Engineer, Powertrain Advanced Engineering bei der Volvo Car Corporation in Göteborg (Schweden).



Ragnar Burenius
ist Concept Leader, Engine Engineering bei der Volvo Car Corporation in Göteborg (Schweden).



Jonas Björkholtz
ist Senior Engineer, Powertrain Advanced Engineering bei der Volvo Car Corporation in Göteborg (Schweden).

**KLASSENBESTES ANSPRECH-
VERHALTEN ALS ZIEL**

Die Markteinführung des Drive-E-Antriebsstrangs im Jahr 2013 markierte für die Volvo Car Corporation einen großen Wechsel – sie brachte den Abschied von den unterschiedlichen Aggregaten der Vergangenheit, die aus Vierzylindern, Fünfzylindern, Reihensechszylindern und V8-Motoren bestanden [1]. Die Aggregate aus der neuen Volvo Engine Architecture (VEA), die sie ersetzen, nutzen allesamt die selbe Vierzylinder-Architektur. Damit erlaubten sie es, die neue Fahrzeugplattform mit der Bezeichnung Scalable Product Architecture (SPA) auf eine gemeinsame Aggregatearchitektur auszulegen.

2016 erhält der VEA D5-Motor eine Leistungssteigerung, um die Position

Das pneumatische Turbolader-Unterstützungssystem PowerPulse

Um das Ansprechverhalten und die Fahrbarkeit seiner Vierzylinder-Turbodieselmotoren im Alltag zu verbessern, hat Volvo im eigenen Haus das pneumatische Unterstützungssystem PowerPulse entwickelt. Gezielt eingeblasene Druckluft beschleunigt das Turbinenrad des Turboladers und verbessert so das transiente Verhalten.

des Drive-E als führenden Diesel-Antriebsstrang in seiner Klasse zu stärken. Die Überarbeitung umfasst zum einen eine auf 173 kW (235 PS) gesteigerte Leistung und zum anderen die von Volvo entwickelte PowerPulse-Technologie. Sie soll das Turboloch eliminieren und dadurch das klassenbeste Ansprechverhalten liefern.

TRANSIENTVERHALTEN ENTSCHEIDEND

Bei der Zieldefinition der D5-Weiterentwicklung wurde das Transientverhalten als Schlüsselthema definiert. Die Steigerung der Spitzenleistung oder des statischen Drehmoments bei einem Motor bringt Vorteile für die Performance. Für die Volvo-Kunden jedoch ist das Ansprechverhalten für die gute Fahrbarkeit im Alltag entscheidend.

Einer der Grundwerte für Volvo ist ein sorgsamer Umgang mit der Umwelt. In der Antriebsstrangentwicklung spiegelt er sich in der Vision der umweltfreundlichen Performance wider, die dem Kunden großen Fahrspaß zusammen mit niedrigem Kraftstoffverbrauch bringt. Zur deutlichen Senkung der CO₂-Werte hat das Downsizing stark beigetragen. Der Ersatz eines großen Motors durch einen kleinen kann die Reibung und das

Gewicht erheblich senken. Kompensiert man den kleineren Hubraum durch eine höhere Aufladung, kann das Performance-Level gewahrt bleiben. Ein weiterer Faktor in dieser CO₂-fokussierten Entwicklung ist das Downsizing, bei dem längere Getriebeübersetzungen zu niedrigeren Motordrehzahlen führen.

Jedoch stellen die hohen Ladedrücke hohe Ansprüche an das Transientverhalten des Aufladesystems, wenn der Motor plötzliche Anforderungen erfüllen muss. Im Zusammenhang mit dem Wunsch nach niedrigeren Motordrehzahlen wird die Verzögerung beim Ansprechen, das so genannte Turboloch, noch größer.

Die Aufgabe für das Ingenieursteam, das den weiterentwickelten D5-Motor konzipiert hat, bestand nicht nur darin, die Spitzenleistung zu erhöhen, sondern auch, das Turboloch zu eliminieren. Um diesen Anspruch noch klarer zu formulieren, lautete das Ziel, dem VEA-Dieselmotor mit 2,0 l Hubraum in einem Auto der SUV-Klasse eine Anfahrperformance zu verleihen, die ebenso gut oder besser sein sollte als bei den 3,0-l-Dieselmotoren des Wettbewerbs.

KONZEPTENTSCHEIDUNG

Für die Verbesserung des Übergangsverhaltens eines Aufladesystems gibt es

mehrere Wege, etwa die Nutzung eines mechanisch oder elektrisch angetriebenen Kompressors. Diese Bauteile sind jedoch teuer und erfordern eine aufwändige Integration in das Motor-Package. Das kann gerechtfertigt erscheinen, wenn das Ziel lautet, sowohl die konstante Performance als auch das Übergangsverhalten bei niedrigen Drehzahlen zu verbessern. Im Fall des D5-Dieselmotors jedoch wurde die konstante Performance im Low-End-Bereich als ausreichend beurteilt, sodass der Fokus allein auf dem Übergangsverhalten liegen sollte. Wegen des hohen Gleichteileanteils zwischen den Motorvarianten wurde als zweites Ziel eine Lösung definiert, die das modulare Konzept der VEA-Motorenfamilie berücksichtigen sollte, ohne bei den Derivaten mit geringerer Leistung Abstriche machen zu müssen.

Eine Simulation zu Beginn der Entwicklung ergab, dass Druckluft die überlegene Technologie ist, wenn es darum geht, den Turbolader in kürzestmöglicher Zeit mit Energie zu versorgen. Zudem kommt sie ohne ein stark überarbeitetes elektrisches System aus. In der Fachliteratur sind mehrere unterschiedliche Ansätze untersucht worden [3], etwa das Einleiten von komprimierter Luft auf der Einlass- oder Abgasseite des Motors oder in einigen Fällen auch in

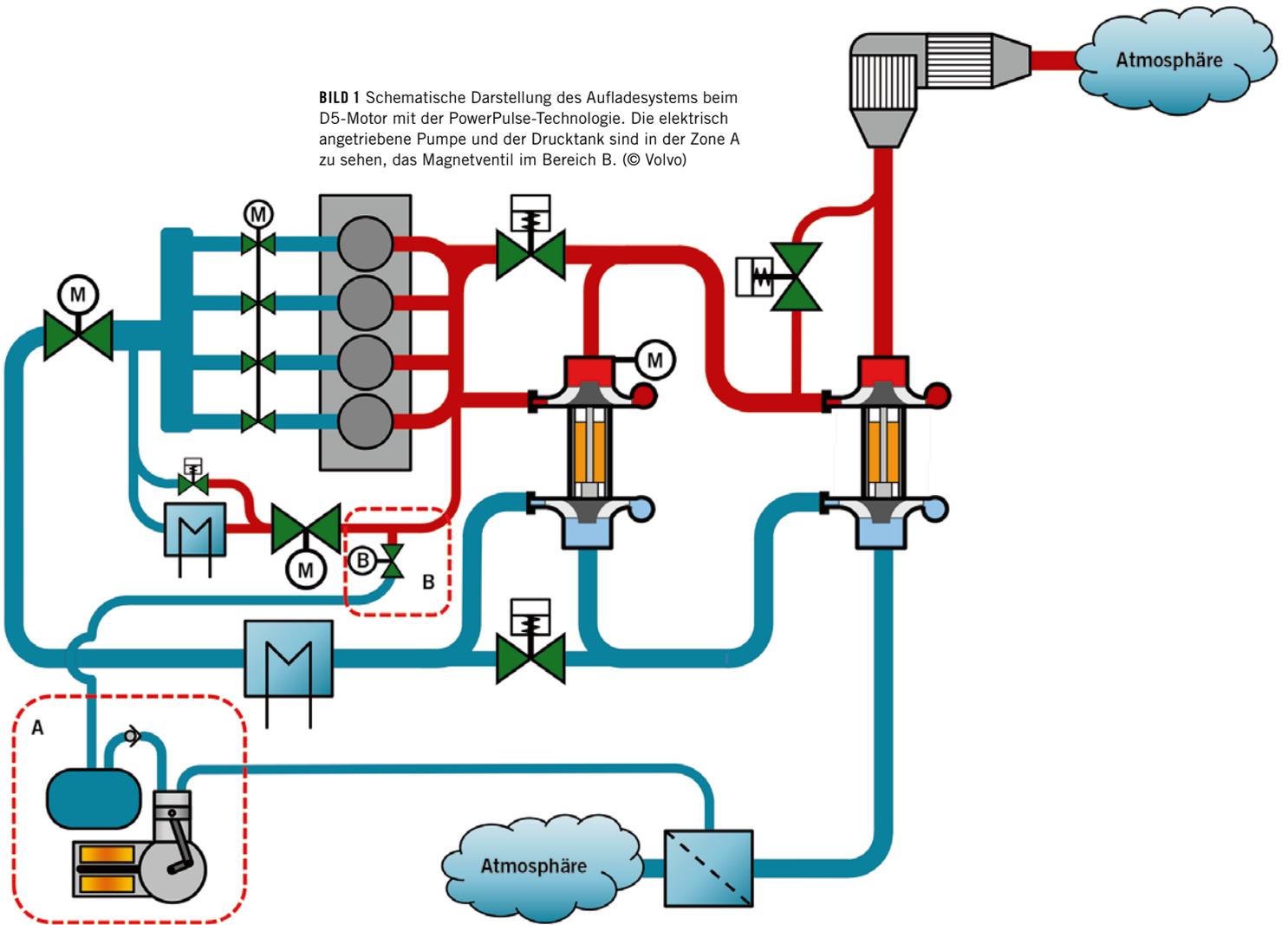
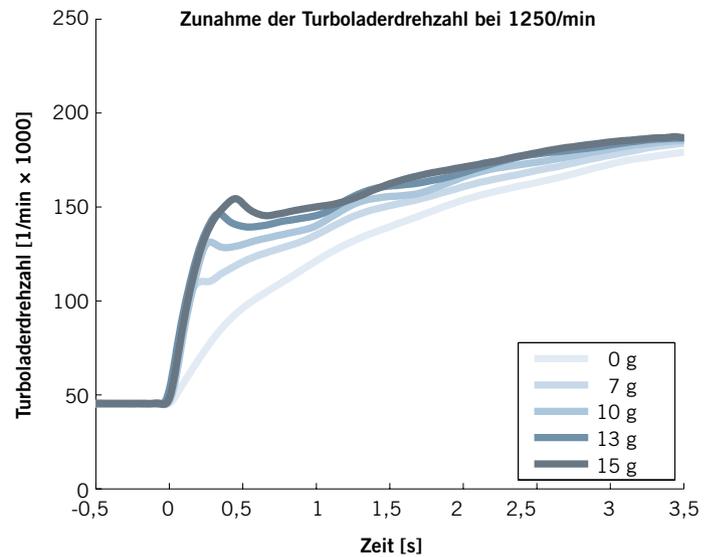
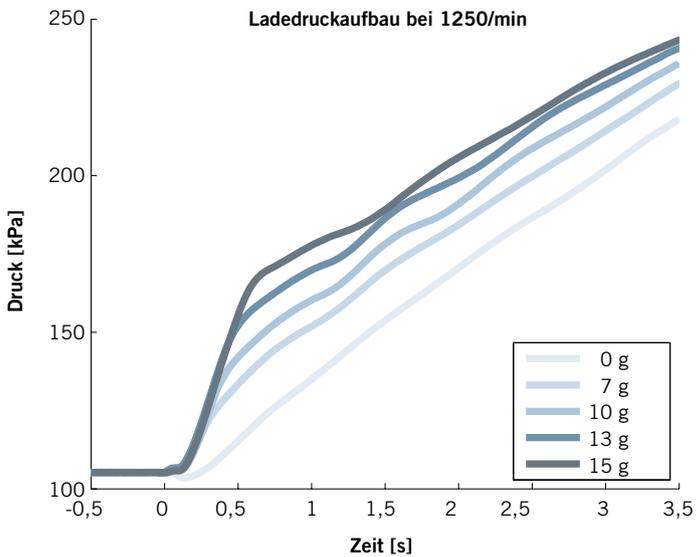


BILD 1 Schematische Darstellung des Aufladesystems beim D5-Motor mit der PowerPulse-Technologie. Die elektrisch angetriebene Pumpe und der Drucktank sind in der Zone A zu sehen, das Magnetventil im Bereich B. (© Volvo)

BILD 2 Ladedruck und Turboladerdrehzahl während eines Lastsprungs bei einer definierten Motordrehzahl von 1250/min mit unterschiedlichen PowerPulse-Luftmengen. Null g bedeutet keinen PowerPulse, entspricht also dem Basis-Turbosystem. (© Volvo)



den Brennraum. Der letztgenannte Ansatz wurde aufgrund seiner Komplexität verworfen. Einige der anderen Konzepte wurden in die Simulation aufgenommen, mit dem Ergebnis, dass sich die Abgasseite des Motors als beste Stelle für die Einleitung herausstellte. Der alternative Ansatz auf der Einlassseite erwies sich als weniger effektiv, weil die sich daraus ergebende Druckschärfe im Ansaugsystem der Beschleunigung des Verdichters im Turbolader entgegenwirkt.

VORENTWICKLUNG

Das gewählte Konzept bestand darin, ein System zu entwickeln, in dem ein elektrisch angetriebener Kompressor hohen Luftdruck in einem Tank aufbaut. Wenn der Fahrer mehr Drehmoment anfordert, öffnet sich ein Magnetventil und schickt einen Luftstoß zur Abgasseite des Motors – dieser so

genannte PowerPulse boostet das Aufladesystem. Im nächsten Schritt ging es darum, dieses Konzept in einer kurzen Vorentwicklungsphase mit Blick auf die Auslegung der Systembauteile zu überprüfen.

Das seriell-sequenzielle zweistufige Aufladesystem des D5-Motors [2] wurde mit einer Einleitungsstelle in das Rohr der Abgasrückführung (AGR) vor dem AGR-Ventil ausgerüstet, schematisch dargestellt in **BILD 1**. An diese Position wurde der Drucktank über ein Magnetventil angekoppelt.

Mit Lastsprüngen von Nulllast auf Vollast wurde das System bei konstanter Drehzahl optimiert. Der Druck im Tank und die Öffnungsdauer des Magnetventils wurden variiert, um zu Beginn des Lastsprungs unterschiedliche Luftmengen bereitstellen zu können. Die Ergebnisse sind in **BILD 2** zu sehen.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass ein kleiner zusätzlicher Luftdruckstoß

am Turbineneingang ausreicht, um den Turbolader in extrem kurzer Zeit auf Wunschdrehzahl zu bringen. Den Erwartungen zufolge sollte das System seine größte Wirkung in jenen Arbeitsbereichen erzielen, in denen das Grund-Turbosystem am langsamsten reagiert. Diese Annahme wurde durch Testreihen verifiziert, wie in **BILD 3** dargestellt.

Die Grafik zeigt den Drehmomentzuwachs bezogen auf die Motordrehzahl und die durch PowerPulse eingeleitete Masse. Der Drehmomentzuwachs ist hier als relative Zunahme des Drehmoments 1 s nach dem Lastsprung definiert. Als Vergleichswert dient der Fall, in dem keine Luft eingeblasen wird, also ohne PowerPulse. Bei einem Drehmomentverhältnis von 1,3 ist das Drehmoment nach 1 s um 30 % höher als beim Vergleichswert. Wie erwartet, erzielt das System seinen größten Effekt bei niedrigen Motordrehzahlen, besonders unterhalb von 1.500/min.



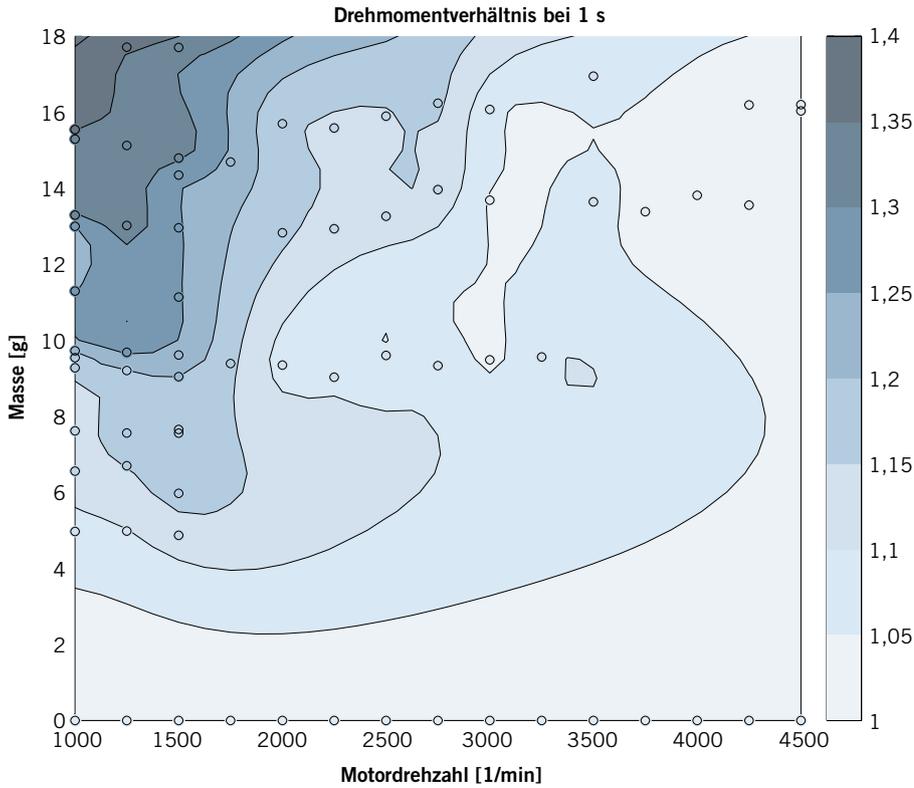


BILD 3 Drehmomentzuwachs nach einer Sekunde im Vergleich zum Fall ohne PowerPulse bei unterschiedlichen Drehzahlen. (© Volvo)

INDUSTRIALISIERUNGSPHASE

Ein zentraler Aspekt bei der Industrialisierung des Konzepts war die Reproduzierbarkeit. Es galt, das System so auszulagern, dass sein Luftverbrauch mit der Fähigkeit zum wiederholten Pulsen harmonisiert, wobei das Druckniveau im Tank und die Dauer der Pulse zu berücksichtigen waren. Auf der Basis von Simulationen und Erkenntnissen, die ein speziell dafür entwickelter Testzyklus erbrachte, fiel die Entscheidung für ein Tankvolumen von etwa 2 l und einen nominalen Arbeitsdruck von 12 bar. Damit gelang es, das System auf eine gleichbleibende Funktion auch in solchen Situationen auszulagern, in denen der Fahrer in kurzer Zeit mehrere Pulse nacheinander abfordert, beispielsweise im Stop-and-Go-Betrieb im dichten Stadtverkehr.

Schematisch gesehen hat das serienreife System das selbe Layout wie das System aus der Vorentwicklung, dargestellt in **BILD 1**. Mit Rücksicht auf das Fahrzeug-Packaging wurde jedoch die räumliche Anordnung der Komponenten verändert. Der Drucktank wurde als bauliche Einheit mit dem 400 W leistenden, zweistufigen Kolbenverdichter ausgeführt und vor dem rechten Vorderrad montiert, **BILD 4**.



BILD 4 Luftkompressor und Tankmodul. (© Volvo)



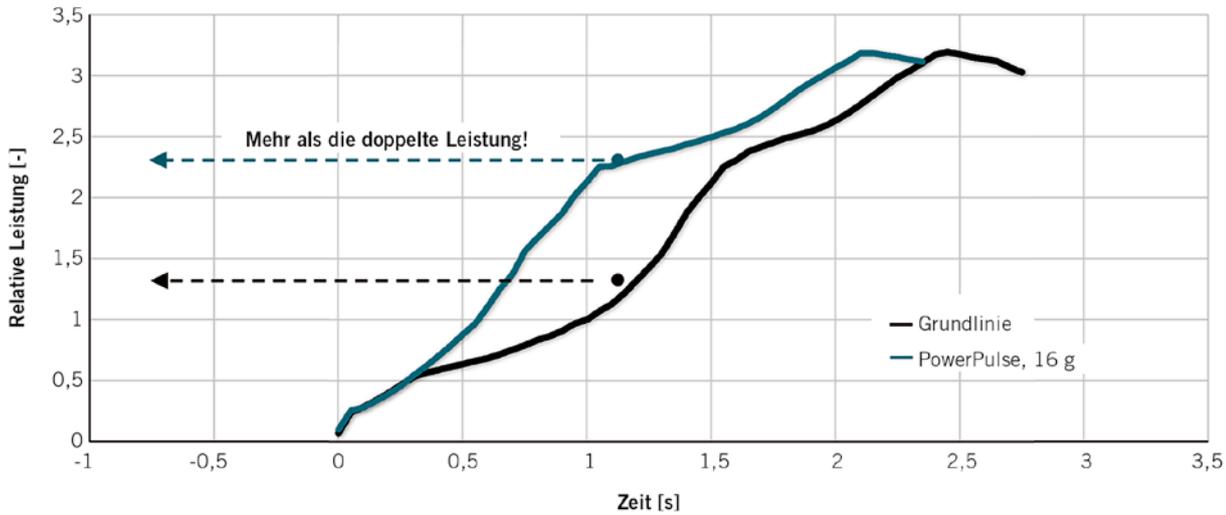


BILD 5 Relativer Vergleich der Leistung bei einer Beschleunigung aus dem Stillstand. Dargestellt sind der Verlauf mit und ohne PowerPulse. (© Volvo)

Die Luft für das System wird in der Strecke nach dem Luftfiltergehäuse gewonnen.

VALIDIERUNG IM FAHRZEUG

Unter den Bedingungen im Fahrzeug erzielt das PowerPulse-System noch größere Vorteile als auf dem Motorenprüfstand. Der Luftstoß erhöht die Geschwindigkeit des Turboladers direkt, darüber hinaus bedeutet der

sehr schnelle Drehmomentanstieg einen sofortigen Zuwachs an Motordrehzahl und Leistung, wie in BILD 5 gezeigt. Die Leistung ist hier während einer Beschleunigung aus dem Stillstand dargestellt, der Vergleich zeigt den Verlauf mit und ohne PowerPulse.

Besonders interessant ist der relative Leistungszuwachs 1 s nach Beginn des Übergangs: Die Leistung liegt hier mehr als doppelt so hoch wie bei der Vergleichsbasis. Interessant ist es zudem,

diesen relativen Anstieg mit den Werten in BILD 3 zu vergleichen.

Um die absolute Performance des endgültigen Systems zu bewerten, fand eine vergleichende Messung statt. Hier stand ein Volvo XC90 mit dem weiterentwickelten D5-Motor drei Wettbewerbern aus dem Segment der Premium-SUV mit Dieselmotor und vergleichbarem Gesamtgewicht gegenüber. Zwei von ihnen hatten Motoren mit 3,0 l Hubraum, der dritte Wettbewerber war mit

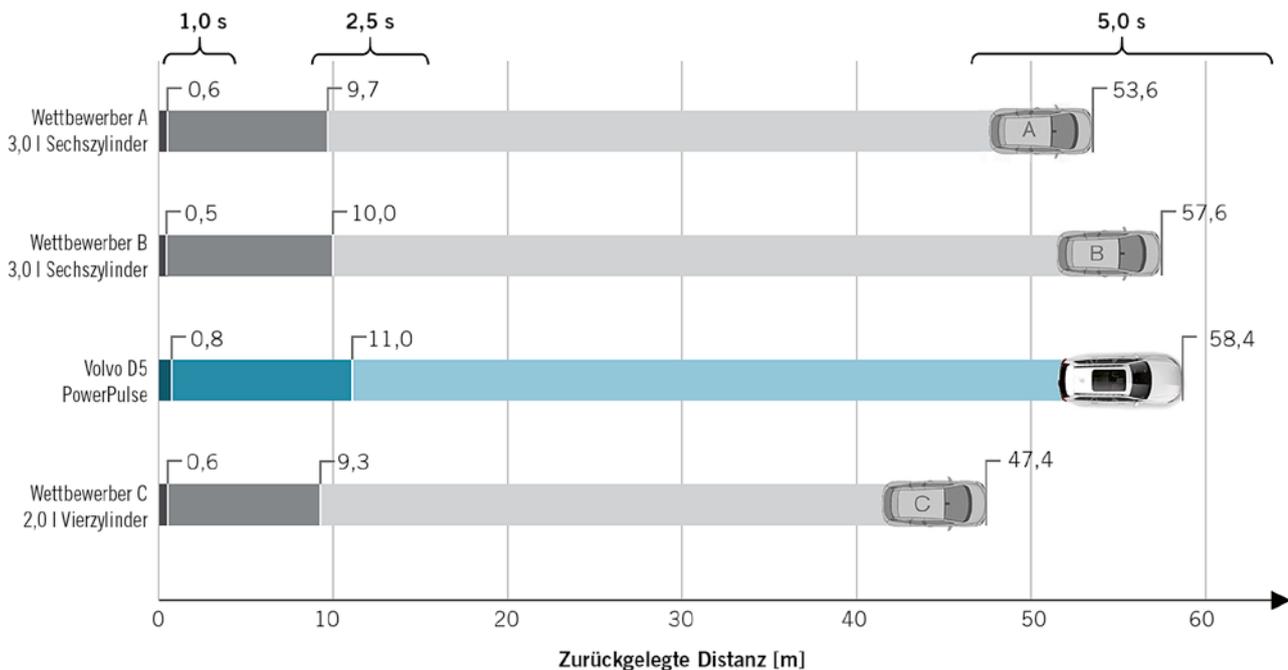


BILD 6 Vergleich der beim Anfahren zurückgelegten Distanz zwischen einem mit PowerPulse ausgestatteten Volvo XC90 und Wettbewerbern. Die Entfernungen sind bei 1,0, 2,5 und 5,0 s ausgewiesen. (© Volvo)

einem 2,0-l-Motor ausgestattet. Wie in **BILD 6** gezeigt, distanzierte der Volvo mit der PowerPulse-Technologie die Wettbewerber in der ersten Sekunde nach dem Start deutlich.

Die Grafik zeigt, dass die gesteckten Ziele für das PowerPulse-System erreicht worden sind. Neben der deutlichen Verbesserung bei der Beschleunigung aus dem Stand bietet das System weitere Stärken – eine spontane Reaktion auf Gaspedalbefehle und eine exzellente generelle Fahrbarkeit.

ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das neu entwickelte pneumatische Systems PowerPulse versetzt Volvo in die Lage, die Palette seiner VEA-Dieselmotoren mit einer Performance-Steigerung für den D5-Motor zu ergänzen. Das Aggregat bietet nicht nur

eine höhere Spitzenleistung für verbesserte Beschleunigung – es setzt auch beim Transientverhalten und bei der Anfahrperformance neue Maßstäbe in der Klasse. Mit der neuen Technologie liefert der 2,0-l-Motor aus der VEA-Reihe eine Performance und Fahrbarkeit, die es bei den Wettbewerbern erst mit den 3,0-l-Aggregaten gibt. Dabei bleiben seine niedrigen Werte bei Gewicht, Reibung und Kraftstoffverbrauch erhalten.

Das PowerPulse-System passt in das modulare Konzept der Drive-E-Triebstrang-Architektur und ist für die neue SPA-Fahrzeugarchitektur ausgelegt. Als hauseigene, patentierte Entwicklung von Volvo Cars gelangte es in Rekordzeit vom Konzeptstadium zur Produktion, was die Schnelligkeit und Flexibilität des Unternehmens unterstreicht. Der überarbeitete D5-Motor mit PowerPulse kommt im Jahr 2016 auf den Markt.

LITERATURHINWEISE

- [1] Crabb, D.; Fleiss, M.; Larsson, J.-E.; Somhorst, J.; Möller, N.; Kvarfordt, J.; Samuelsson, K.: VEA – Volvo Engine Architecture: Extreme downsizing and maximum commonality while maintaining highly competitive customer attributes. 22. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, 2013
- [2] Möller, N.; Fleiss, M.; Olofsson, A.; Korsgren, J.: The New 2.0-L Diesel Engine for the All-New Volvo XC9022. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, 2013
- [3] Cieslar, D.; Collings, N.; Dickinson, P.; Glover, K.: A Novel System for Reducing Turbo-Lag by Injection of Compressed Gas into the Exhaust Manifold. In: SAE 2013-01-1310



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:
www.mtz-worldwide.com

