



Ventilhaube aus PA6.6 GF35 von DuPont mit integrierter, hoch wirksamer Ölabscheidung

## LEICHTE KUNSTSTOFF-VENTILHAUBE MIT INTEGRIERTER ÖLABSCHEIDUNG

Emissionsminderung durch Gewichtsreduktion zählt zu den zentralen Zielvorgaben im Motoren- und Fahrzeugbau. Kunststoffe leisten dazu einen Beitrag, weil sie nicht nur leichter sind als metallische Werkstoffe, sondern besonders günstige Voraussetzungen für einen hohen Integrationsgrad mitbringen. ElingKlinger hat dieses Potenzial genutzt, um für den 1,6-l-Common-Rail-Gen-2-Dieselmotor von Volkswagen eine leichte Ventilhaube zu entwickeln, die mit einer neuen, integrierten Motorölabscheidung sogar die Lastenheftanforderungen übertrifft.

## AUTOREN



**DIPL.-ING. KLAUS BENDL**

ist Leiter Entwicklung bei der ElringKlinger AG in Dettingen/Erms.



**DR.-ING. GABRIELE GORBACH**

ist Leiterin der Vorausentwicklung des Geschäftsbereichs Elastomertechnik/Module der ElringKlinger AG in Dettingen/Erms.



**DIPL.-ING. (FH) TOBIAS GRUHLER**

arbeitet in der Entwicklung/Anwendungstechnik des Geschäftsbereichs Elastomertechnik/Module der ElringKlinger AG in Dettingen/Erms.



**DIPL.-ING. (BA) HOLGER COOLENS**

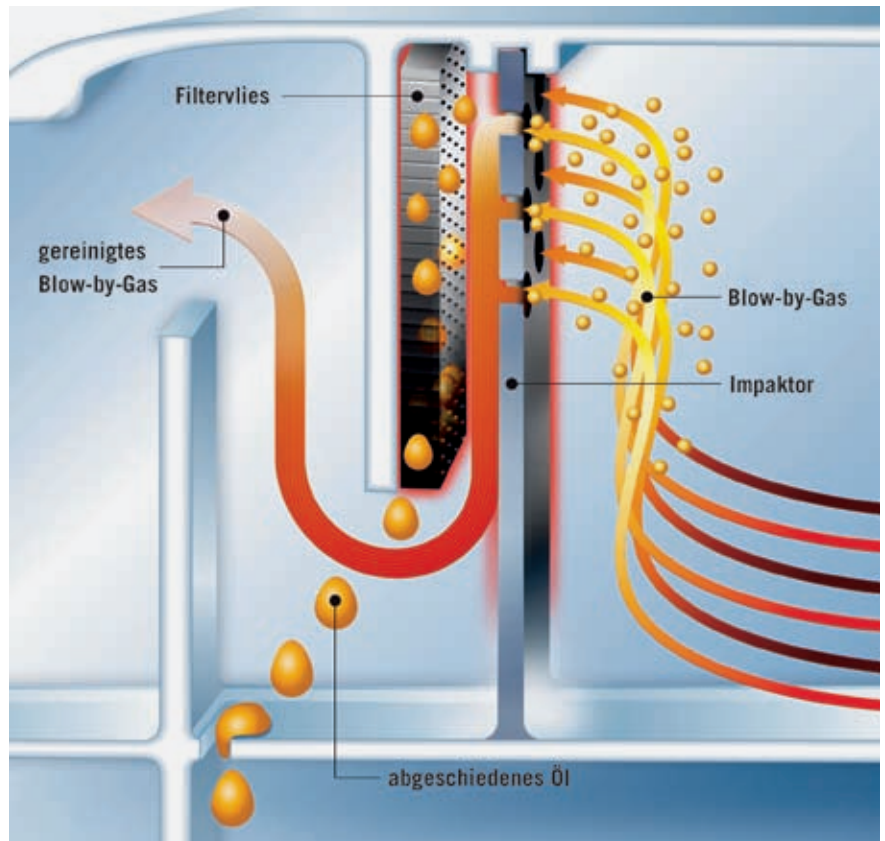
arbeitet in der Abteilung Vorausentwicklung/Versuch des Geschäftsbereichs Elastomertechnik/Module der ElringKlinger AG in Dettingen/Erms.

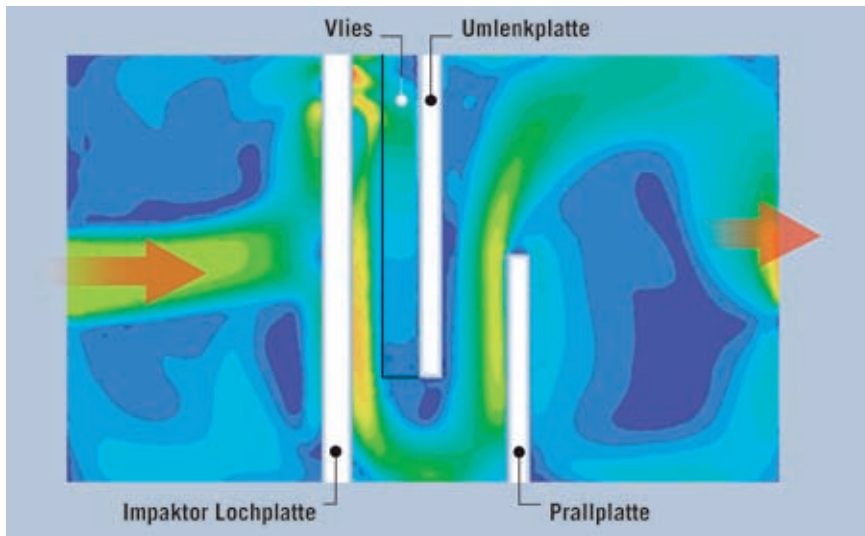
## GERINGES GEWICHT

Zylinderkopfhauben beziehungsweise Ventilhauben aus Polyamid mit Glasfaserfüllung (PA6.6 GF35) sind wegen ihres geringen Gewichts weit verbreitet. ElringKlinger fertigt solche PA-Hauben seit 1999 und produziert derzeit 78 Kunststoff-Ventilhauben in Europa, NAFTA und Asien. Die Spritztechnik, mit der die Hauben gefertigt werden, gibt hohe Freiheitsgrade für die Integration zahlreicher Funktionen in einem Modul. Dazu zählen neben der Ölabdichtung des Zylinderkopfs, der Kraftstoffinjektoren und der Verschraubungselemente das Druckmanagement des Zylinderkurbelgehäuses, gegebenenfalls ein Unterdruckspeicher zur Betätigung der Turbinenschaufelverstellung bei Turboladern mit variabler Turbinengeometrie (VTG-Turbolader), die Ölabscheidung sowie die Integration von Standardbauteilen, wie des Öleinfüllstutzens sowie der Dichtung und der Befestigungselemente für die Haube. Durch die Integration dieser Funktionen entsteht ein vorprüfbares Modul, das sich einfach und sicher montieren lässt.

Mit immer strengeren Emissionsanforderungen, wie Euro 6 ab 2014, steigen auch die Anforderungen an die Ventilhaube und die dort integrierten Funktionsgruppen. Zum einen gilt es, selbst auf dem niedrigen Gewichtsniveau der Kunststoff-Ventilhaube weitere Gewichtseinsparungen zu erzielen. Zum anderen rückt vor allem die Ölabscheidung in den Mittelpunkt der Entwicklung. Ursache sind die Fortschritte in der Motorentechnik. So geht die kontinuierliche Effizienzsteigerung in aufgeladenen Downsizing-Motoren mit Direkteinspritzung in der Regel mit höheren Druckwerten im Brennraum einher. Unter diesen Bedingungen verändert sich das Größenspektrum der Öltröpfen im Blow-by-Gas, das konstruktionsbedingt aus den Brennräumen durch das dynamische Dichtsystem Kolben/Kolbenring/Zylinderwand in das Zylinderkurbelgehäuse strömt. Die Öltröpfen in diesem Blow-by-Gas werden mit steigendem Druck tendenziell immer kleiner. Das hat zur Folge, dass sich immer mehr gasgetragene Öltröpfen mit bisherigen Abscheidesystemen nicht mehr wirkungsvoll abtrennen lassen. Wegen ihrer

① Impaktor mit Wirrfaser-Vlies





2 Mit dem CFD-Programm Fluent berechnete Geschwindigkeitskonturen des Gasstroms im Impaktor mit PET-Vlies

geringen Masse passieren vor allem kleine Öltropfen konventionelle passive Abscheidesysteme (beispielsweise Zyklone oder Prallplattenabscheider) nahezu ungehindert mit dem Luftstrom.

Da ein nennenswerter Öleintrag in die Ansaugluft unbedingt vermieden werden muss, stellt das immer feiner werdende Öltropfenspektrum die Entwickler vor neue Herausforderungen. Bei ungenügender Abscheidung verliert der Motor auf diesem Weg im Betrieb Öl, das dann in den Ansaugtrakt gelangt und damit höhere Emissionen, Ablagerungen am Turbolader, am Ladeluftkühler und an den Einlassventilen sowie Beeinträchtigungen der Partikelfilterfunktion verursachen kann. Im Schadensfall ist mit diesem Ölaustrag eine direkte Beeinflussung der Motorleistung zu befürchten, weil dieses Öl unkontrollierbar den Kraftstoff ersetzt. Aufgrund dieser steigenden Anforderungen hat ElringKlinger für den 1,6-l-Common-Rail-Gen-2-TDI-Dieselmotor von Volkswagen eine optimierte Kunststoff-Ventilhaube entwickelt. Die Ölabscheidung erfolgt hier mittels einer zum Patent angemeldeten Impaktor-Vlies-Einheit mit Kunststoffvlies als Lebensdauerbauteil. Um diese Ventilhaube mit integrierter Ölabscheidung und Unterdruckspeicher gleichzeitig leichter und zudem praktisch partikelfrei fertigen zu können, kommen erstmals bei einem motornahen Bauteil das MuCell-Spritzverfahren und das Heißgasschweißen zum Einsatz. Bei dieser Entwicklung wurden fließoptimierte Polyamidtypen von DuPont eingesetzt.

**BESCHREIBUNG DER VENTILHAUBE**

Die optimierte Ventilhaube richtet sich in ihrer Geometrie und Funktionalität nach den Vorgaben und Anforderungen des 1,6-l-CR-Gen-2-Dieselmotors von Volkswagen. Sie integriert Kurbelgehäuseentlüftung, Ölabscheidung, Kurbelgehäuse-druckmanagement, Unterdruckspeicher sowie die Injektorabdichtung und nimmt die Standardkomponenten Öleinfülldeckel sowie die Befestigungsschrauben auf. Zusätzlich wird bei der Fertigung ein Wärmeabschirmblech auf drei in die Haube integrierte Kunststoffstifte montiert und anschließend vernietet.

In den Sockel der Haube ist die Elastomerdichtung aus bei ElringKlinger entwickeltem Ethylen-Acrylat-Kautschuk (AEM) eingesetzt. Die Injektordichtungen aus Polyacrylat-Kautschuk (ACM) sind im Haubenoberteil ebenfalls vormontiert, so dass die Haube mit allen integrierten Funktionen in einem Vorgang montiert werden kann. Gleichzeitig sind alle Dichtungen für den Servicefall zugänglich und austauschbar. Alle verwendeten Elastomere sind vollständig frei von dem Vulkanisationsbeschleuniger DOTG (N,N'-Di-o-tolylguanidin).

**ÖLABSCHEIDUNG**

Zur Abscheidung von Öltropfen aus dem Blow-by-Gas dienen heutzutage vor allem passive Abscheidesysteme. Aktiv angetriebene Abscheidesysteme, wie sie beispielsweise in Nutzfahrzeugen zu finden sind, lassen sich im Personenwagen unter heu-

tigen Bedingungen aus wirtschaftlichen Gründen noch nicht darstellen [2].

**RANDBEDINGUNGEN**

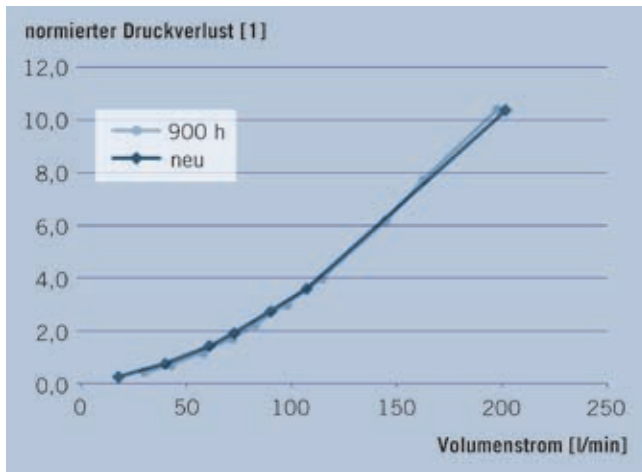
Messungen am VW-Motor zeigen ein Maximum in der Massengrößenverteilung der Öltropfen zwischen 0,7 bis zu 1,0 µm. Die bisher häufig genutzte Zyklontechnik stößt bei diesen Bedingungen und angesichts der verfügbaren Druckdifferenzen an ihre Grenzen [3]. Die realisierbaren Zentrifugalkräfte im Zyklon genügen nicht mehr, um Öltropfen kleiner als 1,0 µm Durchmesser abzuscheiden. Unabhängig von dem verfügbaren Druckgefälle bieten auch konventionelle Impaktoren mit Umlenkplatte bei den gegebenen Tropfengrößenverteilungen keine ausreichende Abscheideeffizienz mehr.

Für den Einsatz bei der VW-Ventilhaube hat ElringKlinger daher eine neuartige Abscheidetechnik entwickelt. Durch die Kombination eines Impaktors mit einem teildurchströmten Faserabscheider (Wirrfaservlies) kann eine gute Abscheidung von Öltropfen kleiner 1,0 µm bei gleichzeitig geringem Druckverlust realisiert werden [4].

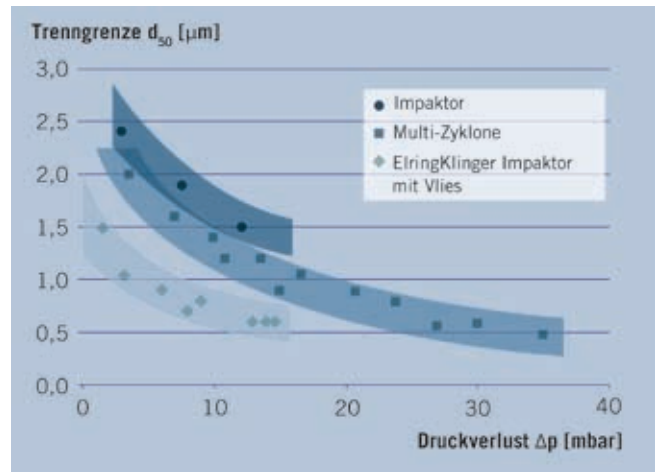
**FUNKTIONSWEISE DES IMPAKTORS MIT VLIES**

Der Aufbau des Impaktors ist in 1 dargestellt. Hinter der Impaktorlochplatte befinden sich das Wirrfaservlies aus einem speziellen Polyethylenterephthalat (PET), eine Umlenkplatte und eine anschließende





③ Druckverlustkurve des Impaktors mit Vlies vor und nach 900 h zyklischem Dauerlauf



④ Trenngrenzen und Druckverluste passiver Ölabscheidesysteme im Vergleich

de Prallplatte. Für die Auswahl und Gestaltung des Vlieses war die langjährige und umfangreiche Erfahrung in der Entwicklung von Elastomerwerkstoffen wesentliche Voraussetzung. Die Impaktorlochplatte ist auf der Rückseite mit Bypasskanälen ausgestattet.

② zeigt am Beispiel einer Strömungssimulation mit dem CFD-Programm Fluent die Funktionsweise des Abscheiders [1]. Der Gasstrom vom Zylinderkurbelgehäuse passiert zunächst die Öffnungen in der Impaktorlochplatte. Durch die Querschnittsverengungen kommt es zu einer Beschleunigung des Volumenstroms beim Durchtritt. Nach dem Passieren der Impaktoröffnungen trifft der beschleunigte Gasstrom im Bereich der Impaktorlöcher auf das Wirrfasermedium, hinter dem sich die Umlenkplatte befindet. Im Vlies umströmt das Gas die einzelnen Vliesfasern, wobei es zur Abscheidung und Koaleszenz (Zusammenfließen) der einzelnen Öltröpfchen kommt.

Nach Durchströmen einer bestimmten Vlieslänge tritt der Gasstrom aus dem Vlies wieder aus und in die wellenförmigen Bypasskanäle ein, die auf der gesamten Länge der Impaktorinnenseite vor dem Vlies abwärts verlaufen. Damit ist sichergestellt, dass das Vlies im Nebenstrom des Gases liegt. Selbst bei einem theoretischen Zusetzen des Vlieses bleibt die Funktionsfähigkeit des Entlüftungssystems erhalten. Bei Verschmutzungs- und Lebensdaueruntersuchungen im Labor und am Motor konnte allerdings kein Verblocken des Vlieses provoziert werden. Selbst nach 900 h zyklischem Dauerlauf und massiv

erhöhter Verschmutzung (verunreinigtes Altöl) zeigte das Vlies die volle Abscheideleistung, ③. Faserverluste oder ein Setzen des bis 150 °C formbeständigen Vlies-

**Innovative Solutions  
from Concept to SOP for  
Worldwide Installations**



- Design & Mechanics
- Performance & Emissions
- Fuel Consumption & Efficiency
- Noise & Vibration

www.fev.com **FEV**

materials treten nicht auf, so dass es sich bei dem Vlies eindeutig um ein Lebensdauerbauteil ohne Wechselintervall handelt. Das vorteilhafte Abscheideverhalten des Vlieses liegt unter anderem darin begründet, dass sich im Öl befindliche Verunrei-

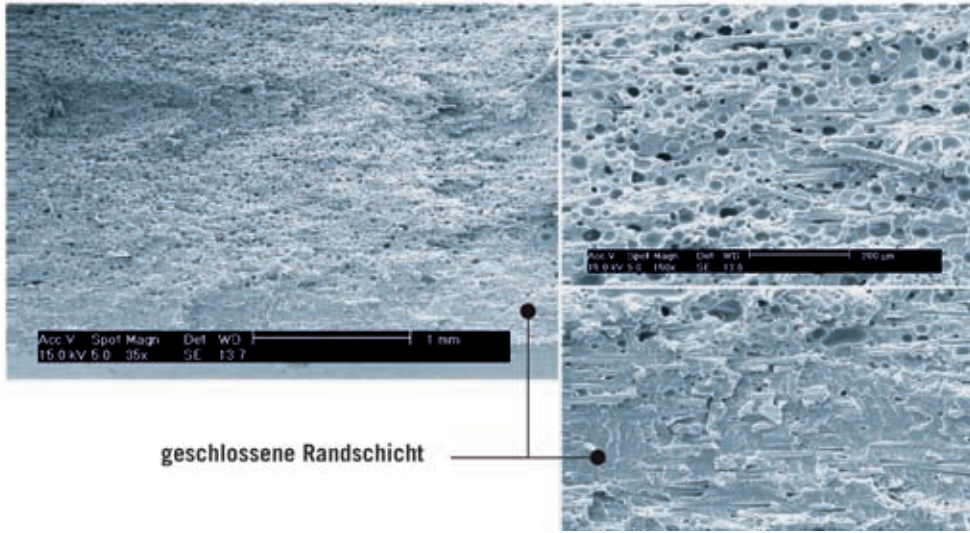
nungen (Ruß, Partikel) nicht dauerhaft an den Fasern absetzen, sondern mit dem Öl aus dem Vlies ausgetragen werden.

Die Öltröpfchen im Gasstrom sammeln sich unterhalb des Austrittspunkts der Strömung aus dem Vlies zwischen den Fasern, so dass die Beladung des Vlieses mit Öl von oben nach unten zunimmt. Die koaleszierten Öltröpfchen fließen an der Unterkante des Vlieses ab und werden an der nachgeschalteten Prallplatte, an deren Fuß sich ein Ölaustrittsschlitz befindet, ausgeleitet. Von dort aus gelangt das Öl in eine abgedeckte Sammelkammer, in der es ungeachtet der herrschenden Druck- und Strömungszustände abgeschieden bleibt. Die Sammelkammer ist mit einem Drainageventil verschlossen, das bei Erreichen einer definierten Füllstandshöhe öffnet und das abgeschiedene Öl so in den Ölkreislauf zurück führt.

Vergleichsmessungen zeigen, dass der Impaktor mit Vlies bei geringeren Druckverlusten einen deutlich besseren Abscheidegrad erreicht als ein Zyklon, ④. Die hier aufgezeigte Trenngrenze  $d_{50}$  gibt die Tropfengröße an, bei der 50 % aller Öltröpfchen abgeschieden werden. Durch den Einsatz des Impaktors mit Vlies kann die Ölmenge nach dem Abscheider deutlich unter 0,5 g/h abgesenkt werden.

#### ABGEDECKTER ÖLSAMMELRAUM

Der abgedeckte Ölsammelraum ist vor allem im ungünstigsten Anwendungsfall wichtig für die sichere und dauerhafte Ölabscheidung. Volkswagen fordert daher



5 Querschnitt durch die Ventilhaubenwand, die im MuCell-Verfahren gefertigt wurde

eine ausreichend hohe Ölreißfestigkeit, damit kein Öl aus dem Ölabscheider über den Ansaugtrakt in die Zylinderbrennräume gelangen kann. Bei der Ventilhaube mit integriertem Impaktor-Vlies-Abscheider liegt diese Ölreißfestigkeit beim Vierfachen des normalen Volumenstroms von bis zu 50 l/min.

**MUCELL-VERFAHREN – GEWICHTSVERNINGERUNG DURCH PHYSIKALISCHES SCHÄUMEN**

Bisher eingesetzte Ventilhauben waren bei Wandstärken von nur 2 bis 2,5 mm an der Grenze der möglichen Materialstärkenverringerung angekommen. Da es sich bei der Ventilhaube einerseits um ein Bauteil mit Krafteinleitung handelt (Verschraubung, Pressung, Abdichtung), andererseits fertigungstechnische Grenzen bei der korrekten Befüllung der Spritzgussform bestehen, war eine weitere Verringerung der Wandstärke zunächst keine Option. Der verwendete Werkstoff PA6.6 GF35 dagegen sollte wegen seiner grundsätzlichen Eignung beibehalten werden. Um in dieser Situation weitere Fortschritte beim Gewicht zu ermöglichen, kam erstmals bei einem Motorbauteil das sogenannte MuCell-Verfahren zum Einsatz.

Hierbei wird in die Kunststoffschmelze das Inertgas Stickstoff in überkritischem Zustand eingebracht, das dort in Lösung geht. Anschließend wird die Spritzgussform zu rund 95 % mit dem Werkstoff gefüllt und die Form geschlossen. Damit steht die Schmelze nicht mehr unter Ein-

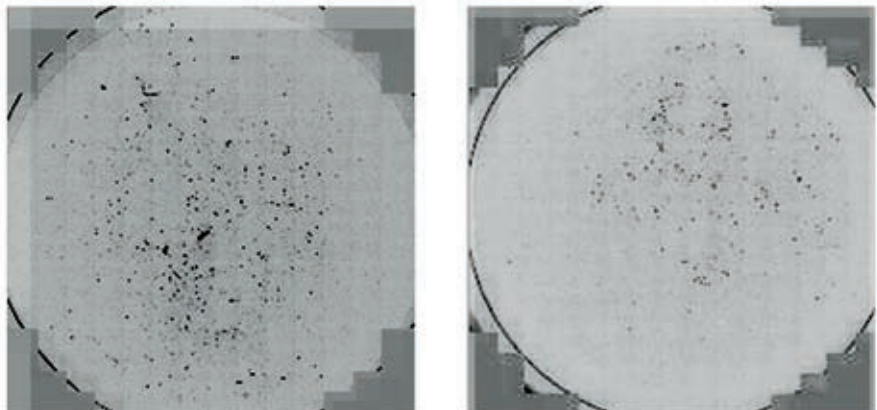
spritzdruck, das gelöste Gas perlt im gesamten Formvolumen in mikroskopisch kleinen Bläschen aus und füllt die Form gleichmäßig, 5. Da die Oberfläche des Bauteils im direkten Kontakt mit der Form sehr schnell erstarrt, entstehen dort keine Gasbläschen. Die Oberfläche des Bauteils ist massiv und dicht. Mit diesem Verfahren gelang es ElringKlinger, das Gesamtgewicht der optimierten Ventilhaube bei gleicher Geometrie um 5 bis 8 % zu senken. Wegen des Sandwich-Effekts der geschlossenen Gasbläschen bleibt dabei

nahezu die Festigkeit des ursprünglichen Massivbauteils erhalten. Ein weiterer großer Vorteil des MuCell-Verfahrens liegt darin, dass das Bauteil nach dem Erkalten geringere Verzüge aufweist.

**FÜGETECHNIK DER MODULBESTANDTEILE OPTIMIERT DIE SAUBERKEIT**

Insgesamt besteht die optimierte Ventilhaube aus zwei Gehäuseteilen und zusätzlichen kleineren Bestandteilen im Hauben-

Schweißlänge ca. 400 mm (Oberfläche ca. 300 cm²)



	Partikelmasse	Partikelgröße: 150 – 400 µm	Partikelgröße: > 400 µm
Reibschweißen	0,9 mg	ca. 300	ca. 200
Heißgasschweißen	0,2 mg	ca. 10	...

6 Vergleich der Partikelzahlen beim Reibschweißen und Heißgasschweißen

inneren. Dennoch genügt ein einziger Schweißvorgang, um alle Teile sicher miteinander zu verbinden. Beim Schweißen wird auch der 400 ml fassende Unterdruckspeicher (bis zu 900 mbar Unterdruck) zur Betätigung der Schaufelverstellung im VTG-Turbolader verschlossen. Bei Kunststoff-Ventilhauben erfolgt dieser Schweißvorgang bisher in der Regel durch Verschweißen entsprechender Stoßkanten, beispielsweise durch Ultraschall- oder Reibschweißen. Der Nachteil dieser weg-basierenden Verfahren liegt darin, dass sich die verflüssigten Randzonen der Kanten beim Schweißen pilzförmig nach außen wölben und hierbei ausfasern beziehungsweise unsaubere Randgeometrien bilden, die zum Ausbrechen neigen können. Selbst bei sorgfältigem Vorgehen, wie etwa der Verwendung einer speziellen Schweißrandgeometrie, ist bei diesen Verfahren bestenfalls eine partikelarme Herstellung möglich. Im späteren Betrieb können daher kleine Kunststoffpartikel in den Luft- beziehungsweise Ölstrom gelangen.

Um das vor allem im Hinblick auf die Turboladerschaukelverstellung zu vermeiden und die Lastenhefte der Fahrzeughersteller im Hinblick auf Partikelfreiheit (Saubereit) tatsächlich erfüllen zu können, wird die Ventilhaube im neuartigen Heißgasverfahren geschweißt: Nach dem Einstecken der einzelnen Bestandteile in die beiden Gehäusehälften werden die Schweißkanten der beiden Submodule durch geometrisch genau abgestimmte Heißluftdüsenvorhänge auf Schweißtemperatur gebracht. Dann werden die Düsen zurückgezogen, und die Form wird mit Druck geschlossen. Bei diesem Verfahren bilden sich Schweißnähte mit geschlossener und damit sauberer Kantengeometrie aus, die auch im späteren Betrieb praktisch partikelfrei ist, 6.

## ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die in diesem Beitrag vorgestellte neue Ventilhaube von ElingKlinger ermöglicht gleichzeitig eine Gewichtsreduktion und den höheren Abscheidewirkungsgrad, den moderne Dieselmotoren wie der 1,6-l-CR-Gen-2-Motor von Volkswagen benötigen. Mit dem geringer werdenden Tropfendurchmesser im Blow-by-Gas muss auch der Trenngrad der Ölabscheidung entsprechend angepasst werden. Da der zulässige Gesamtdruckverlust des Abscheidesys-

tems durch den verfügbaren Unterdruck im Kurbelgehäuse begrenzt ist, ist die bisher häufig eingesetzte Zyklontechnik hier nicht das System der Wahl.

Deshalb setzt ElingKlinger in der Kunststoff-Ventilhaube für diesen VW-Motor einen Impaktor mit einem teildurchströmten Wirrfasermedium auf einer Umlenkplatte ein. Dieses hoch wirksame System führt bei nur 2 bis 3 mbar Druckverlust im MVEG-Zyklus zur geforderten Reduktion der Ölmenge nach Abscheider auf deutlich unter 0,5 g/h. Damit liegt der Abscheidegrad des Gesamtsystems bei über 90 %.

Gleichzeitig gelang es, das Haubenmodul durch Einsatz des MuCell-Verfahrens auch als Gleichteil um 5 bis 8 % leichter auszuführen. Im Hinblick auf die hohen Sauberkeitsanforderungen gerade bei Dieselmotoren mit VTG-Turbolader sorgt das Heißgasverschweißen für eine praktisch partikelfreie Produktion.

Mit weiterer Steigerung der Motoreffizienz ist eine Verschiebung des Öltropfenspektrums in Richtung feiner Tropfengrößen zu erwarten. Mittelfristig sind hier mittlere Tropfengrößen im Submikronbereich ( $< 0,5 \mu\text{m}$ ) realistisch. Deshalb arbeitet die Vorausentwicklung bei ElingKlinger an einer weiteren Reduktion der Feinstölemission bei gleichzeitiger Realisierung geringer Druckverluste der Abscheidesysteme. Dies kann unter anderem durch die Förderung von Tropfenkoaleszenz sowohl in passiven als auch in aktiv angetriebenen Abscheidesystemen erfolgen.

## LITERATURHINWEISE

- [1] Schütz, S.; Kissling, K.; Gorbach, G.; Zink, A.; Piesche, M.: CFD-based Development of Inertial Separators in Oil Mist Removal from Crankcase Emissions. In: Filtration, Vol. 9 (2009), No. 1, pp 71 – 80
- [2] Schütz, S.; Gorbach, G.; Zink, A.; Kissling, K.; Piesche, M.: Numerical and Experimental Investigations on the Development of Oil Droplet Separators in Crankcase Ventilation Systems. Proceedings, World Filtration Congress WFC 10, Leipzig, April 2008
- [3] Schütz, S.; Gorbach, G.; Piesche, M.: CFD-based Development of Oil Droplet Separators in Crankcase Ventilation Systems. Proceedings, European Automotive CFD Conference EACC 2007, Frankfurt/Main, 2007
- [4] Coolens, H.: Experimentelle Untersuchung von funktionalen Filterschichten für die Ölnebelabscheidung in der Kurbelgehäuseentlüftung. Diplomarbeit, BA Ravensburg und ElingKlinger AG, 2008



**DOWNLOAD DES BEITRAGS**  
www.MTZonline.de



**READ THE ENGLISH E-MAGAZINE**  
order your test issue now:  
SpringerAutomotive@abo-service.info

## NOVA SWISS

Die Nova Werke AG ist ein unabhängiges, erfolgreiches und weltweit tätiges Schweizer Technologieunternehmen mit Hauptsitz in Effretikon, welches mit über 130 Mitarbeitenden unter der Qualitätsmarke NOVA SWISS® anspruchsvolle Systemlösungen wie z.B. Common Rail Druckleitungssysteme für Grossdieselmotoren entwickelt und produziert. Für die Neubesetzung des Abteilungsleiters «Forschung, Entwicklung und Konstruktion» suchen wir einen engagierten, zielorientierten und kompetenten

### LeiterIn Technik (F&E)

Wir wenden uns an einen Maschinenbauingenieur ETH, TU mit praktischer Erfahrung in Verbrennungsmotorentechnik (Einspritztechnik) und/oder der Motorenzulieferindustrie. Alle weiteren Informationen finden Sie unter [www.novaswiss.com/jobs](http://www.novaswiss.com/jobs)