# Zylinderkopfhaube aus Polyamid

## für den Sechszylinder-Dieselmotor von BMW

Zylinderkopfhauben aus Kunststoff erobern zunehmend auch die Bereiche der Hochleistungsmotoren. Dass die hohe Leistungsdichte eines modernen Motors – wie des Sechszylinder-Dieselmotors mit Stufenaufladung von BMW – den Einsatz von Kunststoffhauben nicht ausschließt, zeigt dieser Beitrag. Die Polyamid-Haube mit integrierter Blow-by-Ölabscheidung ist eine gemeinsame Entwicklung des Systemlieferanten Robert Bosch GmbH und der BMW AG.

## 1 Einleitung

Zylinderkopfhauben haben sich in den letzten Jahren von einfachen Ventildeckeln – häufig aus umgeformtem Blech – zu komplexen hochintegrativen Bauteilen gewandelt. Durch den Einsatz von hochwertigen technischen Kunststoffen mit der damit verbundenen Konstruktionsfreiheit und der wirtschaftlichen Fertigung im Spritzgussverfahren wurde die Integration verschiedenster Funktionen erst ermöglicht.

Die neue Zylinderkopfhaube von Bosch basiert auf der konsequenten Weiterentwicklung der bereits existierenden Serienhaube für den BMW-Motor M57 D und kommt auf dem Reihendieselmotor mit sechs Zylindern und zweistufiger Turboaufladung für den BMW 535d zum Einsatz.

## 2 Integrationsaufgaben

Der ursprünglichen Aufgabe einer Haube, den Zylinderkopf der Verbrennungsmotoren gegen Ölaustritt abzudichten, sind eine Vielzahl von Integrationsschritten gefolgt, **Bild 1**. Druckregelventile sorgen dafür, dass im Kurbelgehäuse ein konstanter Unterdruck über den gesamten Drehzahl- und Lastbereich eingehalten wird. Ölabscheidesysteme gewährleisten die zuverlässige Abscheidung und Rückführung der in den Blow-by-Gasen enthaltenen Ölpartikel. Hierdurch wird einerseits der Ölverbrauch gesenkt und dadurch das Wartungsintervall verlängert, andererseits wird die Einhaltung der immer strenger werdenden Abgasnormen ermöglicht.

Die Integration von Luftfiltergehäusen ermöglicht eine sehr kompakte Bauform und kurze Leitungswege. Je nach Konzept des Zylinderkopfes erlauben an die Zylinderkopfhaube angeformte Luftführungskanäle die Versorgung der Drallkanäle im Zylinderkopf mit Ladeluft. Befestigungs- und Schnappelemente ermöglichen die schnelle und kostengünstige Befestigung von Sensoren und Leitungen für die elektrische Ansteuerung von Motorkomponenten sowie Medienführungen. Neben diesen technischen Inhalten werden an die Zylinderkopfhauben zunehmend optische Design-Anforderungen gestellt. Durch die Gestaltungsmöglichkeiten der Oberfläche mit entsprechenden Narbungen oder Bedruckungen können auch hohe Optik-Ansprüche realisiert werden.

## 3 Erfahrung mit über sieben Millionen Teilen

Seit 1994 wurden von Bosch weit über sieben Millionen Zylinderkopfhauben aus Kunststoff in unterschiedlichen Integrationsstufen hergestellt. Für den Kunden BMW wurden neben den Zylinderkopfhauben für die gegenwärtigen Sechszylinder-Reihenottomotoren und die V8-Ottomotoren in den Premium-Modellen hoch integrierte Zylinderkopfhauben für die Vier- und Sechszylinder-Dieselmotoren entwickelt. In diesen Zylinderkopfhauben wurde eine zuvor nie erreichte Integrationstiefe realisiert. Die zuvor aufgeführten Punkte wurden hier erstmals konsequent in der Großserie umgesetzt.

200 kW (272 PS) Leistung und 560 Nm Drehmoment aus 3 l Hubraum markieren den gegenwärtigen Höhepunkt der Dieselmotorenentwicklung des Hauses BMW im 535d-Motor. Realisiert wird dies durch die neue Stufenaufladung, bei der bereits kurz über der Leerlaufdrehzahl der erste Turbolader die Ansaugluft vor-verdichtet und an die zweite Verdichterstufe weiterleitet. Hierbei werden Maximaldrücke von zirka 2,8 bar erreicht.

## 4 Werkstoffwahl und Modulbauweise

Dass auch bei Motoren mit einer so hohen Leistungsdichte Zylinderkopfhauben aus Kunststoff eingesetzt werden, ist durchaus nicht selbstverständlich. Entsprechende Vorversuche auf Basis der in der Motorenreihe M57 (in den BMW-Fahrzeugen 330d, 530d, 730d, X3 3.0d, X5 3.0d) eingesetzten Zylinderkopfhauben in Verbindung mit umfangreichen Simulationsrechnungen zeigten, dass mit geringen konstruktiven Anpassungen die gestellten Anforderungen mit einer Zylinderkopfhaube aus Kunststoff durchaus erfüllt werden können. Als Werkstoff wurde auf das bereits in vorangegangenen Projekten erprobte Polyamid PA66 mit glasfaser- und mineralischer Verstärkung zurückgegriffen (Ultramid A3WGM53 von BASF).


### Die Autoren

Dipl.-Ing. Bruno Hezel ist Abteilungsleiter der Motorkomponenten-Entwicklung im Geschäftsbereich Gasoline Systems der Robert Bosch GmbH in Waiblingen.

Dipl.-Ing. Markus Ulrich ist Gruppenleiter im Bereich der Motorkomponenten-Entwicklung im Geschäftsbereich Gasoline Systems der Robert Bosch GmbH in Waiblingen.


### 2 Integrationsaufgaben

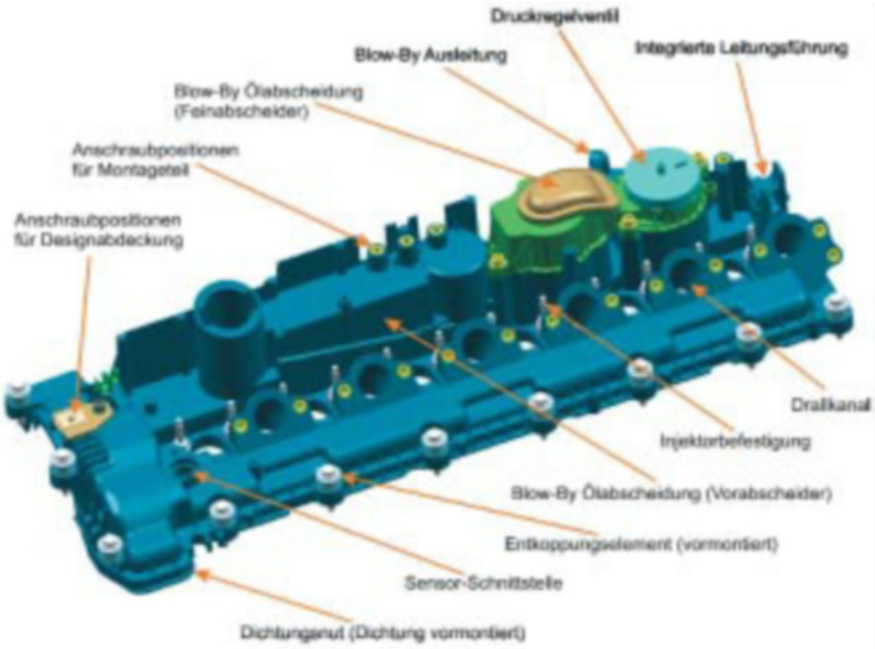


Bild 1: In die Zylinderkopfhaube integrierte Funktionen
*Figure 1: Functions integrated in the cylinder head cover*

Aufgrund des modularen Aufbaus der Zylinderkopfhaube konnten wesentliche Funktionsumfänge aus den bisherigen Serienteilen übernommen werden. Entwicklungszeit und -kosten konnten so deutlich reduziert werden. Wegen der hohen Motorleistung war es jedoch erforderlich, die Blow-by-Ölabscheidung an die höheren Volumendurchsätze anzupassen, weil hinsichtlich Ölverbrauch, Emissionen und Wartungsintervallen die hohen Zielvorgaben eingehalten beziehungsweise übertroffen werden sollten.

## 5 Blow-by-Ölabscheidung

Im Hause Bosch durchgeführte Versuche zeigten, dass der bisher zur Feinabscheidung des Ölnebels eingesetzte Vliesabscheider an die Leistungsgrenzen stößt. Die Vorgaben bezüglich Ölanfall, zulässiger Restölmenge und Druckverlust in der Abscheiderkaskade konnten nur durch den Einsatz eines Doppelzyklons, **Bild 2**, realisiert werden.

Nach der rechnerischen Grundauslegung des Doppelzyklons bezüglich des Druckverlustes und des abzuscheidenden Tröpfchenspektrums wurde die Feinabstimmung an Mustern aus Stereolithographie- sowie Lasersinterteilen durchgeführt. Der bei Bosch zur Verfügung stehende Prüfstand erlaubt aufgrund der klimatisierten Messkammer die reproduzierbare Messung der Abscheideleistung sowie des Druckverlustes. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die tatsächlich in den Zyklonen vorliegenden Verhältnisse bei sehr hohem Öleintrag oder die Auswirkungen der Motoreinbaulage (Schwenktischanforderungen) auf das Abscheide- beziehungsweise Ablaufverhalten des abgeschiedenen Öls an den nahezu transparenten Stereolithographie-Musterteilen zu beobachten und per Videoaufzeichnung zu dokumentieren.

Bei der Realisierung des Doppelzyklons für den Serieneinsatz wurde konsequent das Baukastenprinzip umgesetzt, so dass der Doppelzyklon im bisherigen Bauraum des Vliesabscheiders untergebracht werden konnte. An der Zylinderkopfhaube waren keinerlei geometrische Änderungen erforderlich. So konnte zum Beispiel die komplette Druckregelventil- und Öl-Vorabscheide-Einheit aus der bisherigen Serie übernommen werden.

Die Zylinderkopfhaube für den 535d-Motor unterscheidet sich von den Zylinderkopfhauben für die „normale" Serie – neben der optimierten Ölabscheidung – im Wesentlichen durch den Entfall des integrierten Luftfilterkastens, der bauraumbedingt (Stufenaufladung) karosserieseitig befestigt wird.

## 6 Verkürzung der Entwicklungszeit

Langjährige Erfahrung auf dem Gebiet der Entwicklung und Fertigung von Kunststoff-Zylinderkopfhauben, die enge Zusammenarbeit mit dem Kunden BMW sowie die konsequente Nutzung der Simulations- und Berechnungsmöglichkeiten in Verbindung mit der Auswertung der bereits vorliegenden Fertigungs- und Werkzeugdaten ermöglichten eine sehr kurze Entwicklungszeit von nur zwölf Monaten. So konnte auf die Anfertigung eines Musterwerkzeugs verzichtet werden. Der Bau des komplexen Serienwerkzeugs erforderte nur 25 Wochen, wobei Änderungen auf Wunsch des Kunden ebenfalls noch berücksichtigt werden konnten.

Sehr hohe Leistungsdichte von modernen Dieselmotoren einerseits und der Einsatz von Kunststoff-Zylinderkopfhauben andererseits schließen sich nicht aus, wie am Beispiel der Zylinderkopfhaube für den Sechszylinder-Reihenmotor von BMW gezeigt werden konnte. Die Entwicklungsaufwendungen und -zeiten können bei konsequenter Nutzung eines modularen Aufbaus, der Nutzung der Großserienerfahrung und dem Einsatz der CAE-Methodik auch für diese Sonderanwendungen in einem wirtschaftlich vertretbaren Rahmen gehalten werden.

Für zukünftige Neuentwicklungen von Kunststoff-Zylinderkopfhauben werden sich – bei steigenden technischen Anforderungen – die Kostenziele nur durch innovative Lösungen auf der Konstruktions- und Fertigungsseite realisieren lassen. Neue Konzepte für die Abdichtung der Zylinderkopfhaube zum Zylinderkopf, die Befestigung der Zylinderkopfhaube ohne oder mit deutlich reduzierter Anzahl von Schraubelementen, neue Druckregelventile ohne die Verwendung von Elastomermembranen, integrierte Kanäle zur Luft- und Medienführung sowie aktive Ölabscheiderkonzepte auf Basis von Zentrifugal- und elektrostatischen Wirkprinzipien befinden sich gegenwärtig bei Bosch in der Voraus- oder Serienentwicklung. Begleitend ist hier auch die Weiter- und Neuentwicklung von Fertigungsmethoden und -verfahren erforderlich.

## 7 Partnerschaftliche Zusammenarbeit

Um Kunden maßgeschneiderte innovative Lösungen anbieten zu können und die Entwicklungskapazitäten bei OEM und Zulieferer effizient zu nutzen, ist eine frühzeitige Einbindung des Systemlieferanten bereits in der Vorentwicklungsphase der Motoren sehr wichtig. Nur in einer partnerschaftlichen Beziehung zwischen Systemlieferant und OEM werden sich mittel- und langfristig die komplexen Aufgaben lösen lassen, die in Zukunft auf alle zukommen werden. ■

## 5 Blow-by-Ölabscheidung

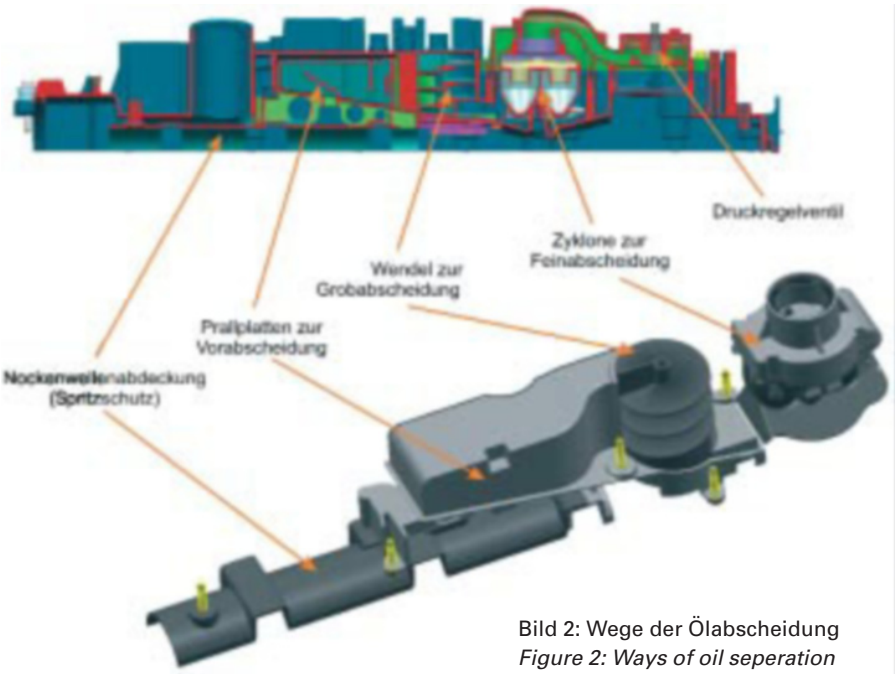


Bild 2: Wege der Ölabscheidung
*Figure 2: Ways of oil seperation*