



Herstellung von hochkomplexen Zylinderkurbelgehäusen

Einblick in die Fertigung bei der Eisenwerk Brühl GmbH – Teil 1*

VON RALPH WEGENER UND WIM GÖRTZ, BRÜHL

Downsizing und Leichtbau in der Motorenentwicklung

Wie aus **Bild 1** zu erkennen ist, gibt es seit Jahrzehnten eine stetig steigende spezifische Motorleistung. Wurden im Jahr 1940 noch 4,5 l Hubraum für 100 kW Motorleistung benötigt, sind für das Jahr 2014 Motoren angekündigt worden, die diese Leistung mit nur 0,74 l Hubraum realisieren können. Hochgerechnet auf einen Ottomotor mit 2 l Hubraum ergibt das eine Leistung von 270 kW. Die Verringerung des Hubraums hat natürlich einen immensen Einfluss auf das Bauteil Zylinderkurbelgehäuse (ZKG). Die mechanische und thermische Belastung hat

enorm zugenommen, gleichzeitig wurden die ZKG maximal gewichtsoptimiert.

Möglich war diese Entwicklung nur mit modernsten CAE-Tools, einem besseren Verständnis der Werkstoffe und einer konstanten Qualität der Gussteile in Bezug auf Maßlichkeit, Toleranzen, mechanische Eigenschaften sowie Vermeidung von Gussfehlern. Sie verdeutlicht das große Potential des Werkstoffes Gusseisen mit Lamellengrafit (EN-GJL) für ZKG auch für zukünftige Leistungssteigerungen.

Entwicklung der ZKG beim Eisenwerk Brühl

Die zuvor beschriebene Entwicklung hat natürlich auch große Auswirkungen bei der Eisenwerk Brühl GmbH (EB), Brühl.

Für die Herstellung von Dünnwand-Zylinderkurbelgehäusen beim Eisenwerk Brühl sind hochkomplexe Kernpakete erforderlich, die mit dem neuen Kernfertigungszentrum CBL400 gefertigt werden.

Das mittlere ZKG-Stückgewicht wurde im Verlauf der letzten 10 Jahre um über 30 % reduziert (**Bild 2**). Maßgebliche Ursache neben der erwähnten, in Zusammenarbeit mit dem Kunden durchgeführten Gewichtsoptimierung, ist der veränderte Mix des Produktspektrums bei EB.

In 2006/2007 wurde mit V6- und V8-ZKG für den amerikanischen Markt ein Umsatz von ca. 300 000 t Guss erreicht. Momentan sind es vornehmlich Reihen-3- und -4-Zylinder-ZKG, wobei bei ungefähr gleichbleibender Stückzahl der Umsatz in Tonnen (ca. 220 000 t Guss) deutlich reduziert ist. Diese Veränderung zeigt ihre Auswirkungen innerhalb der Gießerei insbesondere in den Bereichen Schmelztrieb, Kernfertigung und Gussbearbeitung.

Für die Kunden von EB ist neben der Optimierung des Wirkungsgrades auch die

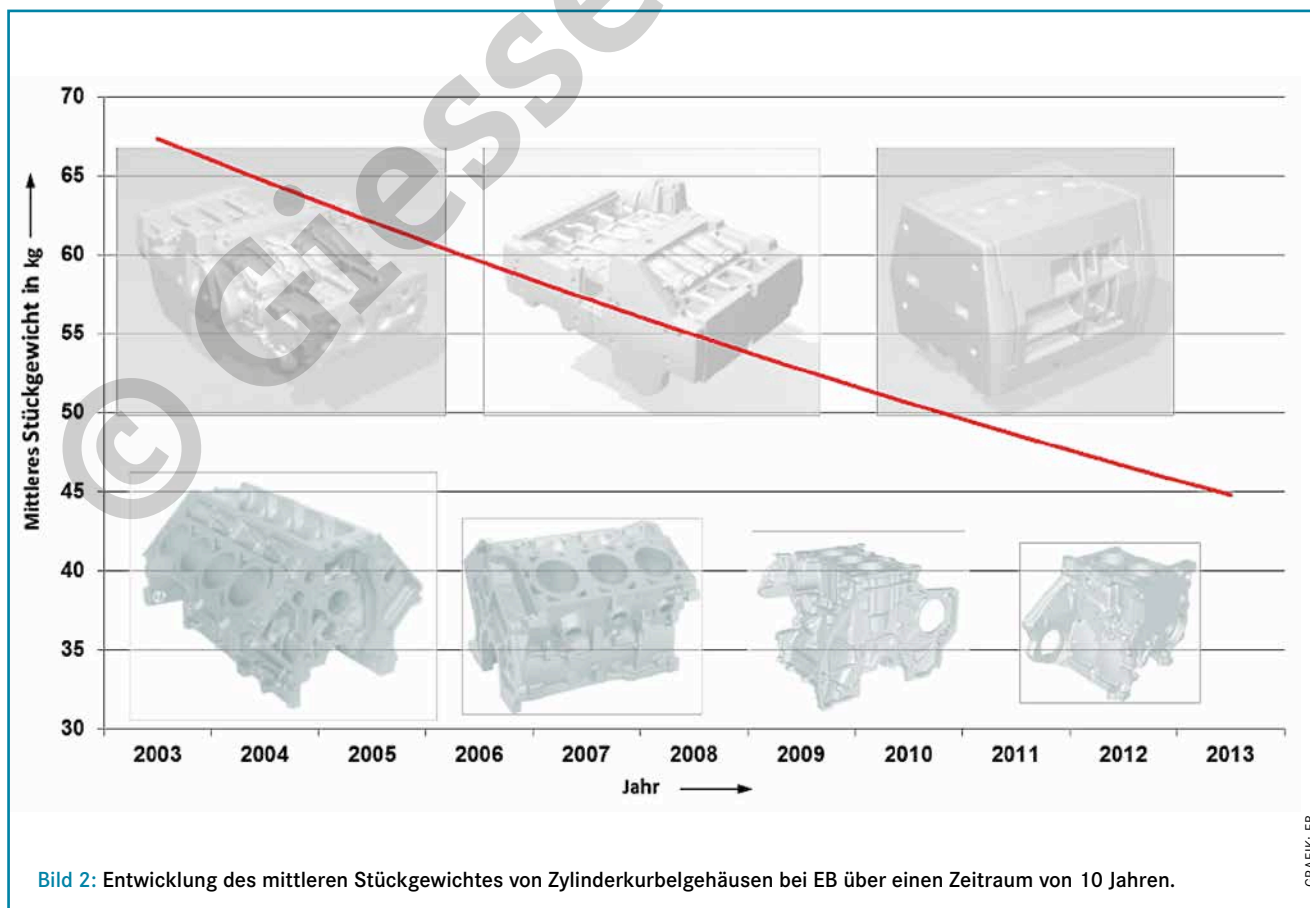
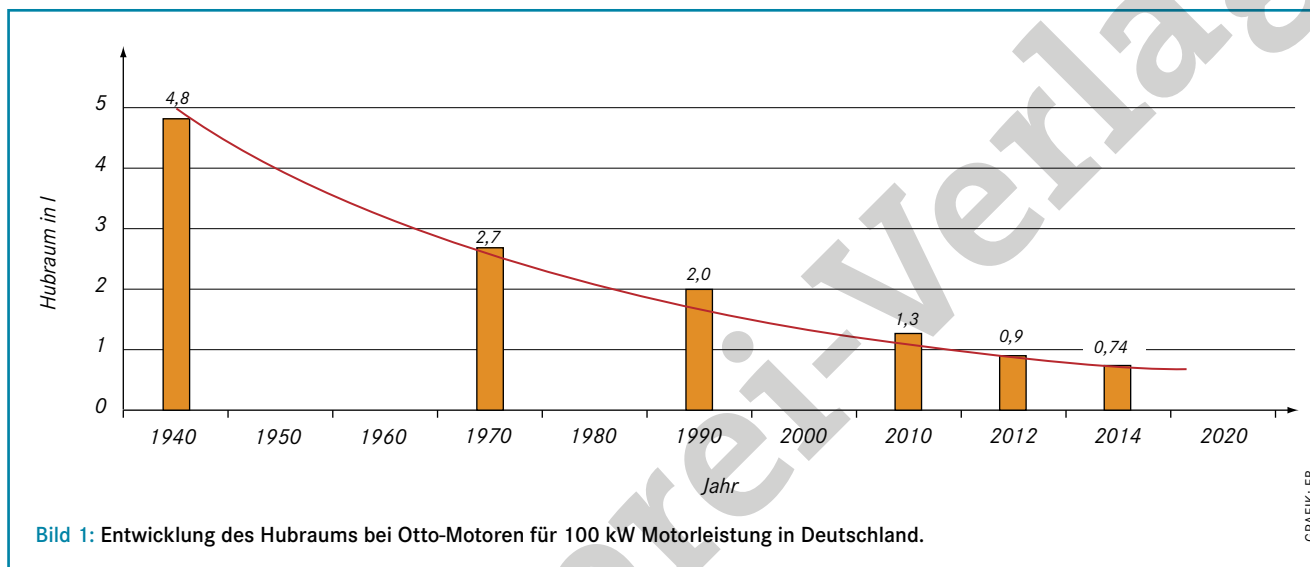
Gewichtsreduzierung des gesamten Antriebsstranges eine Stellschraube, um die gesetzlich geforderten Vorgaben für den Schadstoffausstoß der gesamten Fahrzeugflotte zu erreichen. Dass viele der Kunden dennoch weiterhin auf EN-GJL als Werkstoff für ZKG setzen, liegt bei den vielfältigen Vorteilen, die der Werkstoff Eisen gegenüber dem Werkstoff Aluminium aufweist, so z. B.:

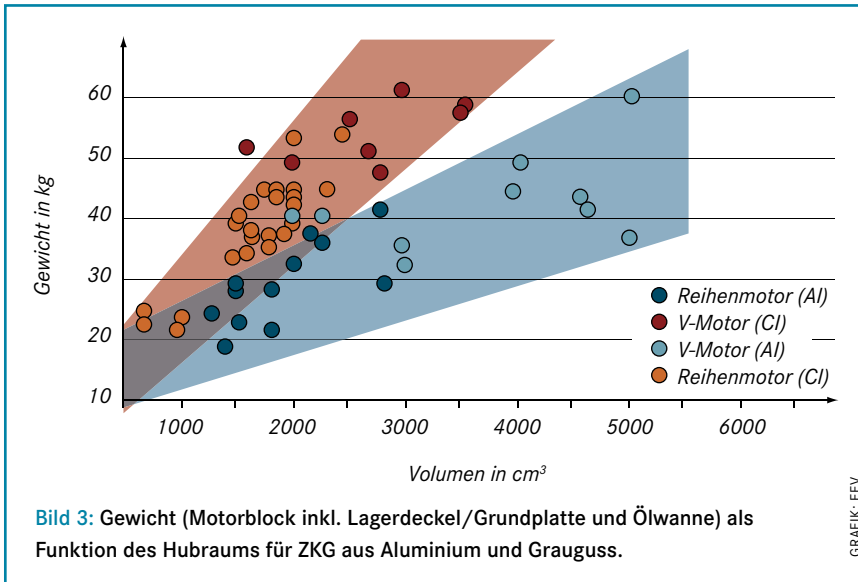
- > kostengünstige Lösung,
- > maximale Konstruktionsfreiheit (Sandguss),
- > stabile mechanische Eigenschaften über große Temperaturbereiche,

KURZFASSUNG:

Mit einer Tradition von über 85 Jahren ist die Eisenwerk Brühl GmbH (EB), Brühl, auf die Entwicklung und Großserienfertigung von Zylinderkurbelgehäusen (ZKG) aus Eisenguss für den Pkw-Markt spezialisiert. Die Produkte – vom Reihen R2-ZKG bis zum V12-ZKG – werden weltweit in alle Märkte exportiert. Mit ca. 1600 Mitarbeitern werden bis zu 5 Mio. ZKG pro Jahr in Brühl hergestellt. Die tägliche logistische Herausforderung ist die Produktion, das Handling und der interne Transport von ca. 200 000 Kernen.

Mit einem hohen Automatisierungsgrad und einem technologisch ausgeprägten Fertigungsprozess für Leichtbau und Dünnwandkonzepte zählt EB nach wie vor zu den wichtigsten Lieferanten von Eisenguss-ZKG für die Automobilindustrie.

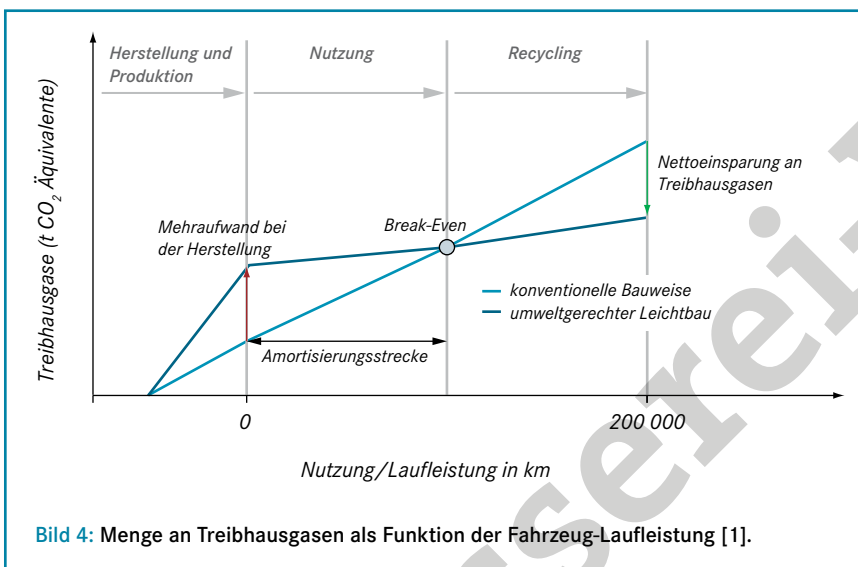




- > monostruktur, optimale tribologische Eigenschaften der Zylinderbohrung,
- > reduzierter Ölbedarf aufgrund optimierter Spielverhältnisse bei Stahlwellen,
- > optimales NVH-Verhalten (noise, vibration, harshness – Geräusch, Vibration, Rauheit).

Gegenüber dieser großen Zahl an Vorteilen steht ein erheblicher Nachteil: die Dichte und damit auch das hohe Gewicht des Bauteils. Aus diesem Grund wurde in den letzten Jahren sehr viel investiert, um ZKG aus EN-GJL so leicht wie möglich zu konstruieren und zu fertigen. Es gibt zwei weitere Überlegungen, bzw. Effekte, weshalb die Entwicklung in EN-GJL weitergeführt wurde und keine große Abwanderung in Richtung Leichtmetall/Aluminium eingetreten ist – das Downsizing und der CO₂-footprint:

In Bild 3 sind die Streubänder Gewicht als Funktion des Hubraums für ZKG aus Aluminium und Grauguss dargestellt. Bei zunehmendem Hubraum werden die Unterschiede signifikant größer. Im Bereich der kleinen, kompakten Motoren mit einem Hubraum von 1,0-2,0 l relativieren sich jedoch die Unterschiede. Die möglichen Einsparungen beim Bauteilgewicht werden hier immer geringer. Es sollte immer das Gewicht des kompletten Motors verglichen werden und nicht ausschließlich das Gewicht des ZKG. Weiterhin muss, um vergleichbare Leistungsdaten und ein gleiches NVH-Verhalten eines Eisenguss-ZKG zu erreichen, bei einem



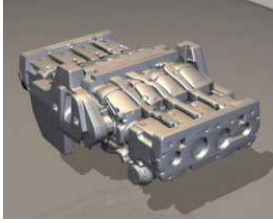
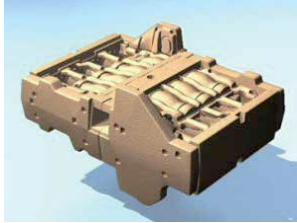
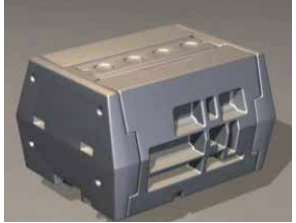
	Konventionell	Leichtbau	Dünnwand
			
Wanddicke in mm	4,0 - 5,0 ±1	3,5 ±0,8	3,0 ±0,5
Profiltoleranz	2,4	2,0	1,6
Gießlage	horizontal	horizontal	vertikal
Werkstoff	GJL-250 / GJL-270 +	GJL-250 / GJL-270 +	GJL-250 / GJL-270 + / GJV-450
Gewicht in %	100	85	78
Kernmontage	manuell	manuell	Kernpaket
Formbelegung	4-fach	4-fach	4-fach

Bild 6: Beispiel für Leichtbau und Dünnwandguss bei EB.

GRAFIK: EB

Aluminium-ZKG ein höherer Aufwand betrieben werden. Dadurch verringert sich der Gewichtsvorteil in Bezug auf den kompletten Motor weiter. Von 10 kg Gewichtsersparung am Bauteil verbleiben dann am kompletten Motor lediglich 6-7 kg, was bei Komponenten, an denen stetig nach Gewichtseinsparungen im Grammereich gesucht wird, jedoch immer noch ein signifikanter Unterschied ist.

Der Gesetzgeber betrachtet mit der Vorgabe des CO₂-Ausstoßes für die Fahrzeugflotte ausschließlich die Nutzungsphase des Fahrzeugs. Diese Vorgaben für den sogenannten „Flottenverbrauch“ sind zum Schutz der Umwelt und der Ressourcen erlassen worden. Sinnvollerweise sollte jedoch hier die komplette Lebensdauer eines Fahrzeuges von der Erzeugung bis zur Recyclingphase betrachtet werden. „Umweltgerechter Leichtbau ist nur dann realisiert, wenn die CO₂-Einsparung in der Nutzungsphase höher ist als der ökologische Rucksack aus der energieintensiven Herstellung“ [1]. **Bild 4** zeigt diesen Effekt.

Im Rahmen der Zusammenarbeit der Georg Fischer AG, Schaffhausen, Schweiz, dem IfG – Institut für Gießereitechnik, Düsseldorf, und EB wurde eine Energiebilanz für das ZKG aufgestellt [2]. Angenommen wurde eine Verringerung des Kraftstoffverbrauchs von 0,25 l je 100 km Fahrleistung. Bei einem Gewichtsunterschied von 10 kg für das ZKG (angenommen auch für den kompletten Motor) und vergleichbarem Herstellverfahren (Sandgießen) liegt der Break-Even-Point bei 60 000 km Laufleistung. Dies gilt jedoch nur unter der Annahme, dass das ZKG zu 100 % aus

Sekundäraluminium gefertigt wird. Schon mit dem Einsatz von nur 5 % Primäraluminium erreicht man den Break-Even-Point jedoch erst nach 190 000 km Laufleistung.

Die Leichtbau-Entwicklung bei EB hat bereits eine längere Historie (**Bild 5**). Schon 1998 wurde das erste Leichtbau-ZKG zusammen mit Opel [3] entwickelt. Im Jahr 2003 wurde in Magdeburg in Zusammenarbeit mit Audi [4] ein Dünnwand-Prototyp mit 2,5 mm Wanddicke vorgestellt. Weil aber das NVH-Verhalten nicht den Erwartungen entsprach, wurde dieser Wert später auf 3 mm geändert.

Im Zeitraum von 2005 bis 2009 wurde mit dem IfG und weiteren Partnerunternehmen das öffentlich geförderte Projekt „LeiKom“ durchgeführt [5]. Hier wurden die Einflüsse von Leichtbau und Dünnwandguss auf die Anlagen, Prozesse und Menschen untersucht. In den Jahren 2011/2012 begann die Serienfertigung von Dünnwandguss bei EB mit dem Audi-Weltmotor (EA888, 3. Generation) [6, 7].

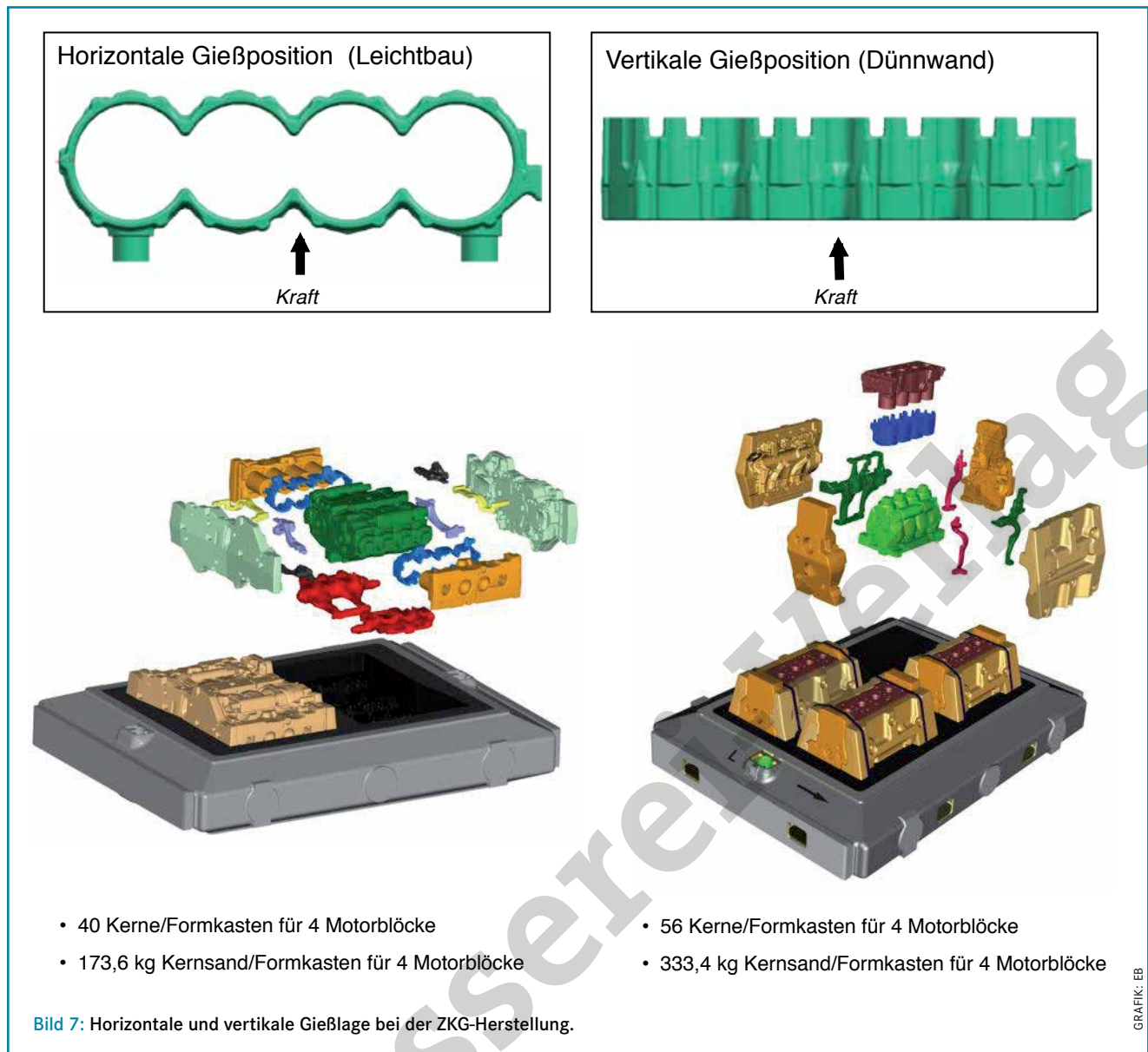
Bei EB werden die Begriffe Leichtbau und Dünnwand über die Wanddicke und die Gussteiltoleranz definiert (**Bild 6**). Konventioneller Guss mit 4 bis 5 mm Wanddicke wird heute bei EB nicht mehr produziert. Diese Teile mit 6 bis 7 Kernen werden heute gewichtsoptimiert als Leichtbauguss mit 3,5 ±0,8 mm Wanddicke und im Schnitt mit 8 bis 10 Kernen gefertigt. Die Herstellung, zwei Doppelpakete in einem Formkasten in horizontaler Gießlage, hat sich dabei nicht wesentlich verändert. Der Dünnwandguss unterscheidet sich im Wesentlichen durch eine geänderte Gießlage – stehend (oder

vertikal). Es werden Wanddicken von 3,0 ±0,5 mm realisiert. Durch die geänderte Gießlage können die Seitengeometrien (linke und rechte Zylinderblockseite) nicht mehr mit den Grünsandformen abgebildet werden. Zusätzliche Seitenkerne werden benötigt. Zudem können keine Doppelpakete mehr benutzt werden, die ZKG werden einzeln im Kernpaketverfahren produziert. Der Kernaufwand steigt dadurch stark auf ca. 14 Kerne/ZKG an.

Bild 7 verdeutlicht, warum für den Dünnwandguss auf die stehende Gießlage zurückgegriffen wird. Die Auftriebskräfte des Flüssig Eisens wirken auf eine geringere Kernoberfläche und der Kern ist in dieser Position sehr stabil gegen Deformationen. Hierdurch wird eine Toleranzverbesserung erreicht. Das Bild zeigt darüber hinaus den aus der Gießlage resultierenden höheren Kernaufwand. Es werden statt 40 Kernen nun 56 Kerne pro Formkasten benötigt. Daraus ergibt sich auch die nahezu Verdoppelung des gesamten Kerngewichts von 173,6 kg auf 333,4 kg.

Die Verwendung von Seitenkernen hat allerdings auch einen weiteren großen Vorteil: sie erhöht die konstruktiven Möglichkeiten, wodurch mehr Funktionen in das ZKG integriert werden können. Die filigranen Ölkern (Entlüftung, Druckölkern etc.) können sofort nach dem Schießen in den stabilen Seitenkern montiert werden. Dadurch ist ein sicheres Handling beim Schlichten, Trocknen und beim Kerntransport sowie bei der weiteren Verarbeitung gewährleistet.

Bei EB wurden zwei neue Kernfertigungszentren (CBL300 und CBL400) mit



einer Kapazität von 660 000 Kernpaketen pro Anlage gebaut (Bild 8). Während der Taktzeit von 45 s werden zwei Kernpakete parallel mit 5 Kernschießmaschinen hergestellt. Der Ablauf geschieht vollautomatisch mit 26 Robotern je Anlage. An der CBL400 ist ein Typenwechsel in der Fertigung zu jedem Zeitpunkt ohne Taktzeitverlust möglich. Die Kernqualität wird mithilfe eines Kamerasystems (Core Vision) geprüft. Die Kerne werden durch Verschrauben oder Tackern zusammengebaut. Durch die stehende Gießlage sind keine weiteren Einlegeteile wie Kernspannen oder Kernböckchen (Stützen) mehr notwendig. Nach dem Zusammenbau der Kernpakete werden sie mit Kunststoffbändern gebunden und es werden jeweils vier Stück auf eine Kerntransportpalette gestellt. Anschließend erfolgt der Transport zu den Formbändern bzw. zur Zwischenlagerung in ein Hochregallager.

Bei der Produktion der Kernpakete für das Dünnwand-ZKG müssen Sandpartikel und Schlichtetropfen unbedingt vermieden werden, da dies wegen der Wanddicke von nur 3 mm sofort zu undichten Teilen führen kann.

Die vollautomatische Kernfertigung mit Einsatz von Robotern beim Handling, beim Entgraten und beim Montieren verlangte eine Adaption der eingesetzten organischen Bindemittel und Schichten. Die Hüttenes-Albertus Chemische Werke GmbH war schon in einer frühen Phase als Partner des EB im Rahmen des Projektes „LeiKom“ bei der Entwicklung eines neuen Euro 6-ZKG involviert. Verschiedene Entwicklungsstufen waren notwendig, um einen Formstoff zu erhalten, der über hohe Elastizität, gepaart mit einer hohen Festigkeit, verfügt. Diese Eigenschaften sind wichtig, um die geforderte Maßtoleranz und damit die neue Technologie zum Zusammenfügen der Kerne zu gewährleisten.

ten, ohne den Bruch von filigranen Kanalkernen zu riskieren. Außerdem war die Entwicklung eines besonderen Trennmittels notwendig, um die Produktivität der verketteten Anlage sicherzustellen [8].

Die Fertigung des ZKG im Kernpaketverfahren erfordert den Einsatz von keramischen Überzugsstoffen. Die Schichtdicke der Schlichte an den unterschiedlichen Positionen des Kerns beeinflusst direkt die Maßtoleranz beim Zusammenfügen der verschiedenen Kernteilpakete. Eine Modifizierung der Schlichte war notwendig, um eine uniforme Schicht zu erhalten, die genügend thermische Beständigkeit, Gasdurchlässigkeit und Verformbarkeit aufweist. Ferner wurde erstmalig für eine solche Produktion eine automatische Aufbereitungsanlage eingesetzt, die für eine konstante Viskosität der Schlichte und somit für einen gleichmäßigen Schlichteauftrag auf den Kernen sorgt.



Bild 8: Die neuen Kernfertigungscentren (CBL 300) bei EB.

Fazit

Die Herstellung von EN-GJL-ZKG ist in den letzten Jahren sehr viel kernintensiver und komplexer geworden. Dies stellt die Gießerei und ihre Zulieferer vor große Herausforderungen. Die Eisenwerk Brühl GmbH hat sich diesen Herausforderungen gestellt und ist mit den neuen Anlagen in der Lage, seine Kunden mit Qualitätsprodukten zu versorgen. Beispiele für erfolgreiche Mo-

toren sind: der „global engine“ 1,8-2,0-l-Otto-Motor für den VW/Audi-Konzern und der Ford-1,0-l-3-Zylinder-Ecoboost-Motor. Letztgenannter war 2012, 2013 und sogar 2014 in seiner Kategorie „Engine of the Year“ [9]. Das beweist, dass der Werkstoff Grauguss für das Bauteil Zylinderkurbelgehäuse zukunftsfähig ist.

Dipl.-Ing. Ralph Wegener und Dipl.-Ing. Wim Görtz, Eisenwerk Brühl GmbH, Brühl

Literatur:

- [1] Stich, A.: Ressourceneffizienz und Leichtbau mit Guss aus Sicht eines Premiumherstellers. VDI-Tagung Gießtechnik im Motorenbau, Magdeburg, 2013.
- [2] Giesserei-Rundschau 56 (2009), [Nr. 9/10], S. 160-164.
- [3] Frensch, M.; Heusler, H.; Mohr, J., u. a.: Der neue 1,6-l-Turbo-Ottomotor von GM Powertrain Europe. MTZ 67 (2006), [Nr. 3].
- [4] Martin, T.; Weber, R.; Kaiser, R.: Dünnwandige Zylinderblöcke aus Gusseisen. VDI-Tagung Gießtechnik im Motorenbau, Magdeburg, 2003.
- [5] Giesserei 97 (2010), [Nr. 11], S. 24-41.
- [6] MTZ 68 (2007), [Nr. 5], S. 6-10.
- [7] MTZ 72 (2011), [Nr. 6], S. 466-474.
- [8] Schreckenberg, S.; Gröning, P.; Jendrich, K.: Herstellung von hochkomplexen Kurbelgehäusen – Einblick in die Fertigung der EW Brühl, Teil 2. Formstofftage, Duisburg, 18./19. Februar 2014.
- [9] Lach, R.; Weber, F.; Maas, H., u. a.: Die Kurbelgehäusematerialwahl während der frühen Konzeptphase der Motorenentwicklung. ATZ/MTZ International Engine Congress, Baden-Baden, 18./19. Februar 2014.

FOTO: EB

© Giesserei