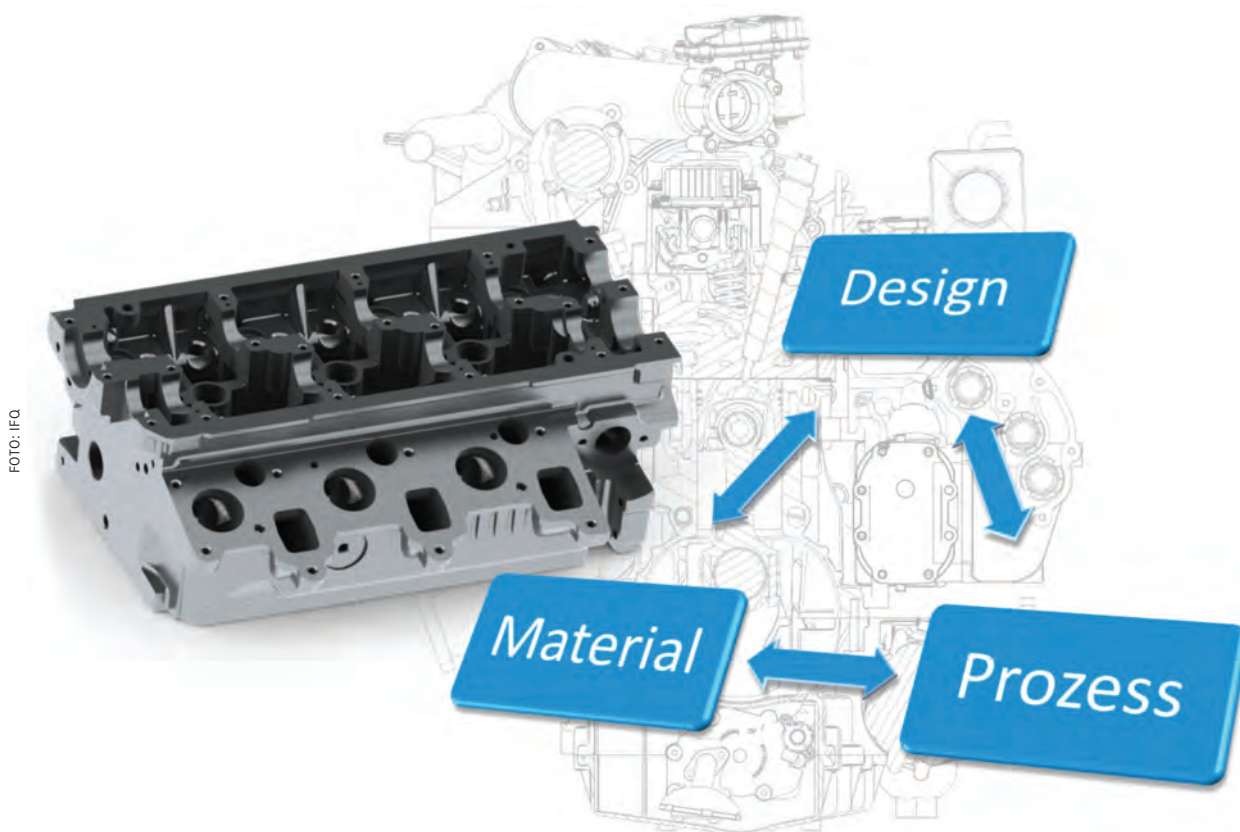


Gießtechnik im Fahrzeugbau (5. Folge)



Die konsequente Weiterentwicklung der Verbrennungskraftmaschinen erfordert vor dem Hintergrund steigender Bauteilbelastungen und reduzierter Bauteilgewichte fortwährend neue konstruktive sowie werkstoff- und fertigungstechnische Lösungen.

VON CHRIS REHSE UND STEFAN SCHARF,
MAGDEBURG

Die Ingenieure des modernen Fahrzeugbaus stehen vor großen Herausforderungen. Steigende Sicherheitsanforderungen, die über stabilere Strukturen realisiert werden, gestiegene Komfortausstattungen sowie der Wunsch nach immer höheren PS-Zahlen führen zu einer beinahe unaufhaltsamen Gewichtspirale. Mit nahezu jeder Fahrzeuggeneration ist ein höheres Gesamtgewicht zu verzeichnen – ein Trend, der sich durch alle Fahrzeugklassen zieht [1].

Gleichzeitig fordern die Kunden agile Fahrzeuge, einen vor dem Hintergrund immer höher werdender Kraftstoffpreise stetig sinkenden Treibstoffverbrauch, und der Gesetzgeber reglementiert in immer stärkerem Maße die Schadstoffemissionen der Fahrzeuge. Daraus ergibt sich ein Konflikt mit nur schwer zu vereinbarenden Zielen. Die Perspektive liegt im konsequenten

Leichtbau. Dieser hat bereits jetzt alle Bereiche des Fahrzeugbaus erfasst und wird vor allem in der Fertigung der materialintensiven Motorenkomponenten gezielt verfolgt.

Unter dem bereits in den allgemeinen Sprachgebrauch übergegangenen Begriff „Downsizing“ werden alle Maßnahmen zusammengefasst, bei denen durch Reibungsminimierung, Gewichtsreduzierung sowie eine Verringerung der Hubräume der Kraftstoffverbrauch gesenkt werden soll. Der damit eigentlich einhergehende Leistungsverlust wird dabei sowohl über neue Verbrennungstechnologien als auch über Turbolader- und Kompressorkonzepte ausgeglichen. Diese Maßnahmen führen in ihrer Summe zu gesteigerten Drücken im Zylinder. Dadurch lässt sich eine effektivere Verbrennung und somit eine effizientere Leistungsausbeute der Motoren trotz reduzierter Hubräume realisieren. Mit den so erzielten hohen spezifischen Leistungsdichten gehen jedoch auch zunehmend größer

werdende Bauteilbelastungen einher, was wiederum die Fertigungstechnologen vor stetig neue Herausforderungen stellt. Innovative Technologien sowie der Einsatz neuer Werkstoffe und Fertigungsverfahren bieten aussichtsreiche Ansätze, den Spagat zwischen hoch belastbaren und dennoch leichten Bauteilen zu schaffen.

In der nunmehr bereits 5. Folge der Reihe „Gießtechnik im Fahrzeugbau“ soll rückblickend auf das Jahr 2011 und den Beginn des Jahres 2012 eine Übersicht der aktuellen Tendenzen im Bereich der konstruktiven sowie der werkstoff- und verfahrenstechnischen Entwicklung gegeben werden.

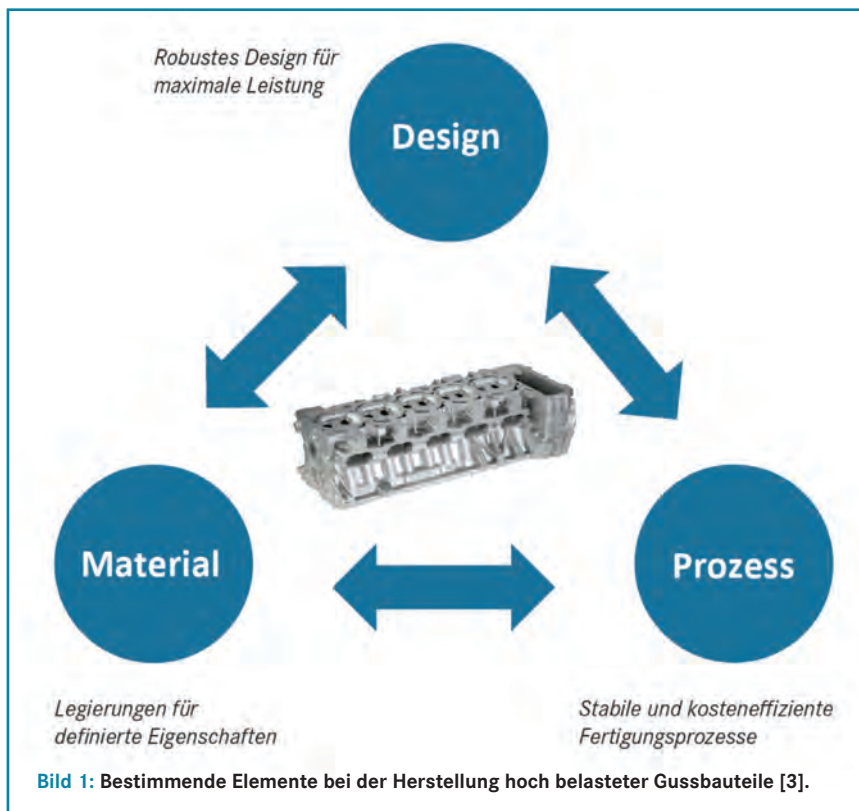
Trends und konstruktive Neuheiten im Motorenbau seit 2011

Einer der wesentlichen zu beobachtenden Tendenzen im Automobil- bzw. im Motorenbau ist die konsequente Weiterverfolgung des Downsizing-Gedanken. Entsprechend der eingangs erwähnten Steigerung

der spezifischen Leistungsdichte bei z. T. drastisch reduzierten Hubraumkennzahlen präsentieren z. B. G. Mastrangelo, D. Micelli und D. Sacco in [2] mit einem neuen turbo-aufgeladenen 0,9 l-Zweizylinder-Ottomotor aus dem Hause Fiat eine extreme Umsetzung des Downsizing-Gedanken in bislang ungeahntem Ausmaß. Die Reduzierung der Zylinderanzahl sowie des Gesamthubvolumens und die damit einhergehende Kraftstoffeinsparung um ca. 25 % wurden durch eine Motoreneuentwicklung von Fiat Powertrain Technologies, dem sogenannten Twinair-Motor, möglich. Bei diesem Konzept wird die Hubraumreduzierung durch den kombinierten Einsatz von einem Turbolader und der variablen Ventilsteuerung „Multiair“ kompensiert. Die Folge dessen ist ein um 50 % gesteigertes spezifisches Hubvolumen und somit eine Erzielung ausgezeichneter Leistungskennwerte, mit denen der Motor nicht zuletzt auch im NVH (Noise, Vibration, Harshness)-Bereich neue Maßstäbe für Motoren mit kleinem Hubraum setzen kann. Mit Hilfe dieser Maßnahmen kann schlussendlich ein signifikanter Beitrag zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs als auch zur Schadstoffemission geleistet werden.

Solch moderne und bezüglich ihrer spezifischen Leistungsdichten durchaus als Hochleistungsmotoren zu bezeichnende Aggregate stellen jedoch auch stetig steigende Anforderungen an die Einzelkomponenten. Dabei sind die auf einen Dieselmotor wirkenden Belastungen noch einmal deutlich höher einzustufen als bei den Ottomotoren. Speziell auf die den Brennraum darstellenden Bauteile eines Verbrennungsmotors, wie z. B. der Zylinderkopf, das Zylinderkurbelgehäuse und die Kolben, wirken entsprechend hohe thermodynamische und mechanische Lasten, die für sich allein gesehen, vor allem aber in ihrer Summe zu erheblichen Beanspruchungen an den Komponenten führen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, bietet sich den Entwicklungs- und Gießingenieuren gemäß C. Oberschelp u. a. [3] das in **Bild 1** dargestellte Handlungsfeld. Dabei ist jedoch zu beachten, dass sich die Punkte Bauteildesign, eingesetzte Fertigungsprozesse und verwendete Materialien zum Teil gegenseitig bedingen, sich in jedem Falle jedoch gegenseitig beeinflussen.

Entsprechend der allgemeinen Bauteilgeometrie ist bei Betrachtung aktueller Motorengussbauteile in erster Linie eine deutlich zunehmende Komplexität zu verzeichnen. Diese Komplexität wird vor allem durch kontinuierliche Wandstärkenreduzierungen und eine steigende Funktionsintegration in den Komponenten hervorgerufen. Ein gutes Beispiel hierfür ist der von N. Becker [4] vorgestellte 1,0 l-Motor für den VW UP, bei dem vor allem die ge-

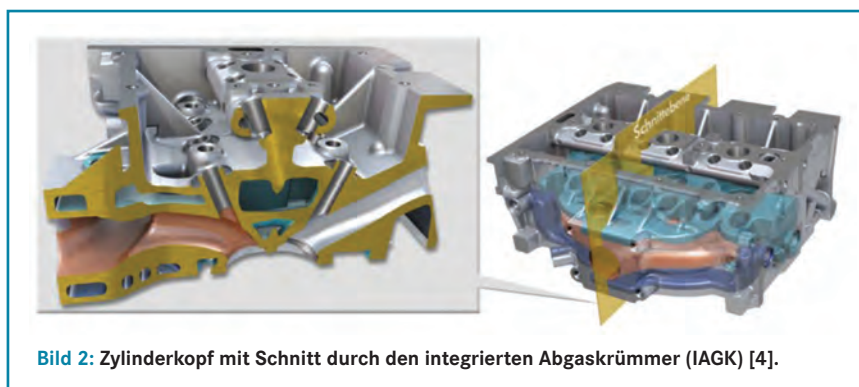


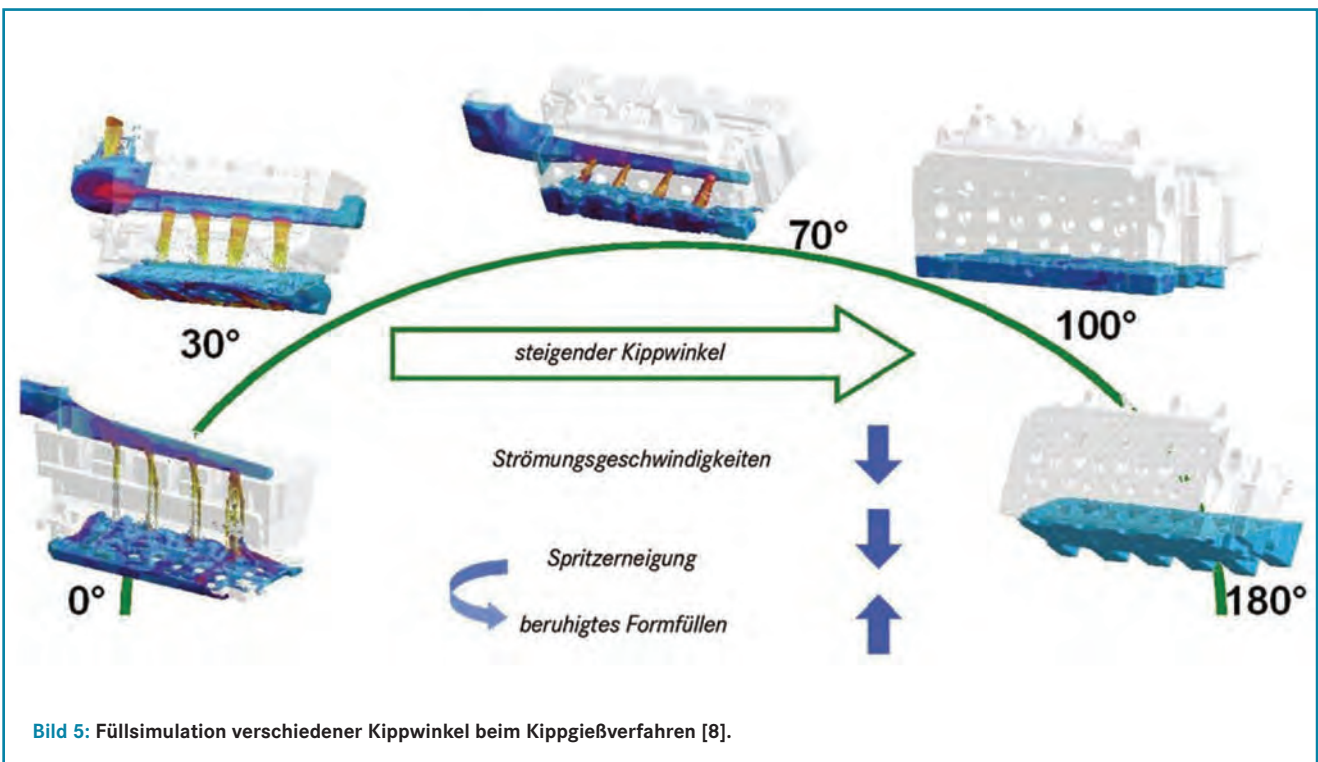
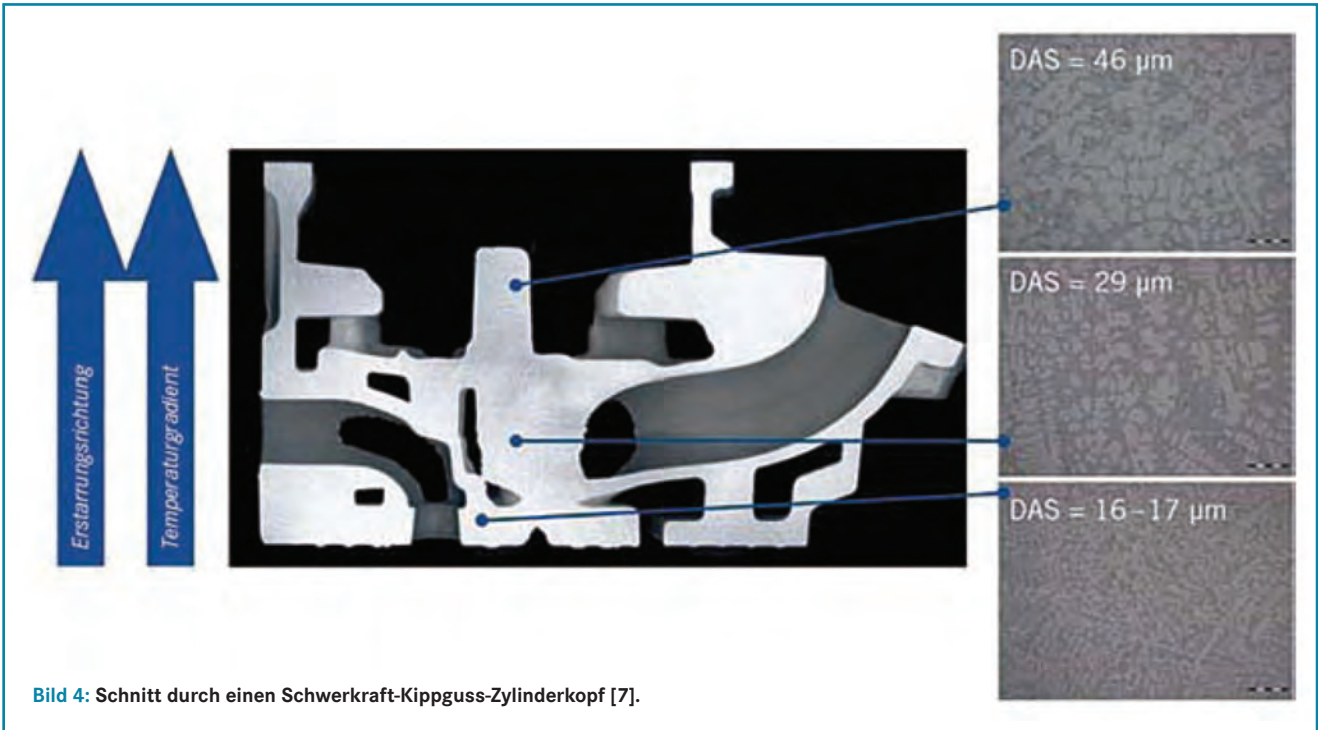
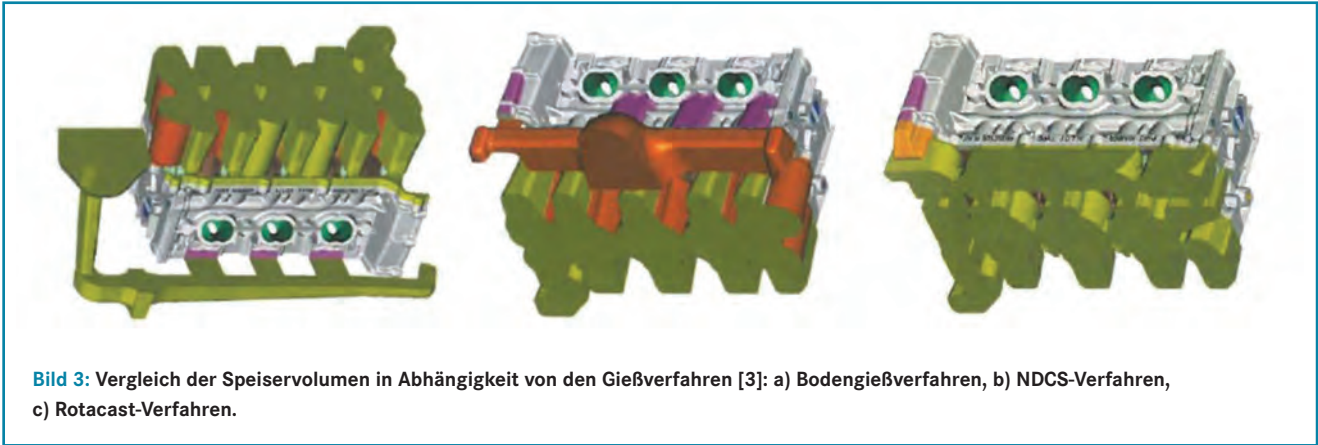
ringe Motorraumdimensionierung eine extrem kompakte Baugröße des Gesamtaggregate erfordert. Die Kernstücke des Vollaluminiummotors bilden einerseits ein 3-Zylinder-Aluminium-Kurbelgehäuse mit eingegossenen Gusseisenlaufbuchsen und direkt am Kurbelgehäuse angebrachten Befestigungspunkten für Nebenaggregate, wodurch ein sonst üblicher Nebentriebshalter komplett entfallen und somit zusätzlich Gewicht eingespart werden konnte, andererseits ein 4-Ventil-Zylinderkopf mit integriertem Abgaskrümmen (IAGK). Eine Darstellung eines solchen Zylinderkopfes zeigt **Bild 2**.

Bei dem inzwischen in vielen Motoren der aktuellen Ottomotoren-Generation des Volkswagenkonzerns angewandten IAGK-Konzept wird der konventionell an die Auslasskanäle des Zylinderkopfes angeflanschte Abgaskrümmen nunmehr direkt in den Zylinderkopf integriert und mit eingegossen. Vorteile einer solchen Integration sind zum einen eine Gewichtseinsparung in der

Kombination Kopf/Krümmen; zum anderen können durch diese konstruktive Lösung sowie durch ein innovatives Thermomanagement die optimalen Betriebstemperaturen wesentlich besser eingestellt werden. In der Kaltstartphase des Motors führt die Integration des Krümmers zu einer wesentlich schnelleren Erwärmung des Kühlmediums. Im Vollastbetrieb hingegen kann der Abgasstrom durch eine entsprechende Auslegung der Wasserraumgeometrie stärker gekühlt werden, wodurch das Aggregat bei einem optimalen Kraftstoff-Luft-Verhältnis betrieben werden kann, was sich wiederum positiv auf die Verbrauchs- und Abgaskennwerte auswirkt.

Ähnliche Technologien kommen auch in den größeren Aggregaten der neuen Ottomotoren-Generation, die, wie R. Szengel u. a. [5] ausführen, unter der internen Bezeichnung EA211 laufen, zum Einsatz. Die 1,2 l- bzw. 1,4 l-Aggregate leisten zwischen 63 kW und 103 kW und sind dabei kompakter, bis zu 30 % leichter und zwischen





10 und 20 % verbrauchsärmer als die Motoren der direkten Vorgängergeneration. Darüber hinaus folgen sowohl die Motoren als auch deren Komponenten einem modularen Aufbau, um dem neuen MOB (modularer Querbaukasten)-Prinzip von Volkswagen gerecht zu werden. Durch diese Vereinheitlichung soll eine weltweite Produktion sowie eine universelle Einsetzbarkeit der Komponenten in den anderen Motoren des Konzerns gewährleistet werden.

Solche Funktionsintegrationen und Komplexitätssteigerungen der Bauteile sowie die fortschreitenden Tendenzen von Wandstärkenreduzierungen bei gleichzeitiger Erhöhung der Werkstoffbeanspruchungen erfordern jedoch auch die steti-ge Optimierung und Anpassung der Fertigungsverfahren, aber auch der eingesetzten Werkstoffe.

Entwicklungen der Fertigungsverfahren

Bei der Wahl und Auslegung bestimmter Fertigungsverfahren gewinnt seit kurzem auch die Beachtung einer ökologischen und energieeffizienten Fertigung zunehmend an Bedeutung. Vor dem Hintergrund des Emissionszertifikathandels und der gesetzlich verbindlichen Einführung von Ener-

giemanagementsystemen für alle Unternehmen des produzierenden Gewerbes als Voraussetzung für Energiesteuerermäßigungen ab dem Jahr 2013 rückt auch die systematische Erfassung von Verbräuchen sowie deren gezielte Verringerung immer stärker in das Interesse, vor allem energieintensiver Unternehmen, wie z. B. den Gießereien. Wie in [6] berichtet, wurde durch die Einführung der international geltenden Norm ISO 50001 am 17. Juni 2011 die hierzu bislang in Deutschland bestehende DIN EN 16001 abgelöst. Die Anwendung der ISO 50001 verfolgt gemäß [6] allgemein die Einsparung von Kosten sowie die Reduktion von Treibhausgasemissionen und anderen Umweltbelastungen. Durch die Einführung solcher, unter der Abkürzung „EnMS“ bekannten Energiemanagementsysteme können die vorhandenen Potentiale zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Senkung von Kosten ermittelt und dokumentiert werden. Infolge dessen scheint eine fortlaufende Steigerung der Energieeffizienz im Einklang mit den rechtlichen Anforderungen möglich.

Neben einer energieeffizienten und energiebewussten Fertigung steht vordergründig jedoch die Wahl anforderungsge-rechter Verfahren im Fokus, mit denen es möglich ist, die vorgeschriebenen Bauteileigenschaften zu erzeugen. Im Bereich der

Aluminiumgusserzeugung betrifft dies vorrangig die Erzielung geringer Dendriten-armabstände – als Charakteristika des Werkstoffgefüges – in Kombination mit einem niedrigen Porositätsniveau. Weiterhin sind, wie ebenfalls in [3] beschrieben, bei der Fertigung hoch belasteter Motorenkomponenten folgende Aspekte von besonderer Bedeutung:

- > gießgerechte Bauteilgestaltung,
- > Integration von Funktionen,
- > Sicherstellung der Prozessstabilität,
- > Wahrung definierter Form-, Lage- und Wanddickentoleranzen,
- > Einstellung definierter mechanischer Eigenschaften bei gleichzeitiger Reduzierung der Eigenspannungen,
- > Sicherstellung einer ausreichend hohen Thermowechselbeständigkeit.

In Abhängigkeit von den geforderten mechanischen Eigenschaften, der Bauteilkomplexität, den Stückpreisen, der zu produzierenden Menge, den Werkzeugkosten und den Taktzeiten kommen entsprechend verschiedene Gießverfahren zum Einsatz. Die von den Konstrukteuren auferlegten Restriktionen erfordern dabei zunehmend die Anwendung dynamischer Gießverfahren, die das Gießen oxid- und porositätsarmer Gussteile erlauben und dabei das Einstellen feiner Gefüge im Brennraum ermöglichen.

Stand der Technik	Werkzeugauslegung	Eigenschaften	Laufflächentechnologie
<ul style="list-style-type: none"> - Antriebskonzepte - Werkstoffe - Gießverfahren 	<ul style="list-style-type: none"> - Bauteillage - Bewertungsmatrix - Gießtechnik 	<ul style="list-style-type: none"> - Versuchskokille - Vorhersage - Vergleich 	<ul style="list-style-type: none"> - Verfahrensvergleich - Laserlegieren - Gefügevoraussetzungen

Bild 6: Vorgehensweise bei der Adaption des Schwerkraftkockillengießens auf Zylinderkurbelgehäuse [9].

Wie in [3] ausgeführt, können durch den Einsatz des NDSCS-(Nemak-Dynamic-Casting-System) oder des Rotacast-Verfahrens mittlere DAS-Werte von 21 µm (NDSCS) und 18 µm (Rotacast) erzielt werden. Darüber hinaus lässt sich mit Hilfe dieser Verfahren laut Autoren das Speisergewicht im Vergleich zum Bodengießverfahren um 2 kg (NDSCS) bzw. um 9,6 kg (Rotacast) reduzieren, was sich sowohl aus ökologischen, vor allem aber aus ökonomischen Aspekten bezahlt macht. Eine graphische Darstellung der erforderlichen Speiser ist in **Bild 3** zu sehen.

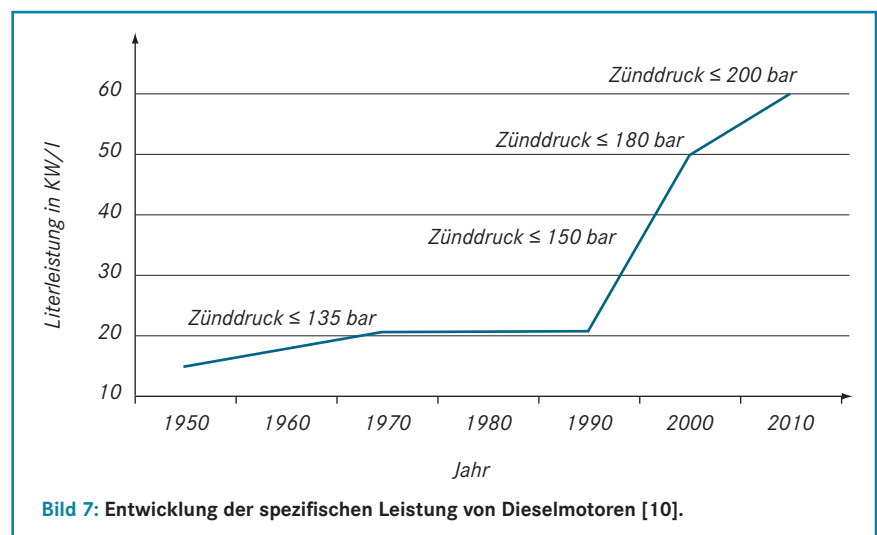
Den Einsatz dynamischer Gießverfahren zur Erzielung möglichst geringer DAS-Werte infolge einer schnellen und gelenkten Schmelzeerstarrung bei turbulenzarmer und somit schaum- und oxidfreier Formfüllung beschreiben auch Ch. Klimesch u. a. [7]. Wie von den Autoren beschrieben, kommt bei der KS Aluminium-Technologie GmbH, Neckarsulm, insbesondere das 90°-Schwerkraftkippgießen zum Einsatz, wenn es gilt, hoch belastete Gussbauteile zu fertigen. Das Prinzip des 90°-Kippgießens wird dabei mit dem des „Weizenbiereinschenkens“ verglichen. Als Beispiel für die erzielbaren DAS-Werte sei auf **Bild 4** verwiesen. Wie im Beitrag weiter ausgeführt, kann mittels des beschriebenen Gießsystems eine äußerst rasche Erstarrung der Zylinderkopf-Brennraum-Platte erreicht werden. Der so erzielbare DAS-Wert von ca. 16 bis 17 µm stellt gemäß Autoren aktuell Benchmarkniveau dar.

Aufgrund der Tatsache, dass in den vergangenen Jahren speziell auch die virtuelle Beschreibung der Vorgänge beim Gießen stetig an Bedeutung zugenommen hat und sich die gießtechnische Simulation

mittlerweile als unentbehrliches Hilfsmittel in der Prozess- und Serienentwicklung etabliert hat, kann bei einer Betrachtung der aktuellen Verfahrensentwicklungen auch deren simulationstechnische Beschreibung nicht außer Acht gelassen werden. Einer gießtechnischen Simulation der beschriebenen dynamischen Gießverfahren zum Gießen hoch belasteter Dieselmotorenköpfe widmen sich M. Otremba, K. Gehring und D. Kahn [8]. In ihrem Beitrag führen die Autoren aus, dass durch den Einsatz der Simulation bereits in der frühen Entwicklungsphase z. B. durch Variation der Gießlagen und Anschnittsysteme entscheidende Hinweise für die Bauteilgestaltung gewonnen werden können. Nach Fertigstellung der Werkzeugkonstruktion dient die Simulation kompletter Gießzyklen inklusive Variation der Gießparameter einer optimalen Prozessentwicklung. Mit Hinblick auf Prozessoptimie-

rungen können durch die Simulation z. B. eine Reduktion des Speiseranteils, eine Verkürzung der Zykluszeiten oder die Festlegung robuster Fertigungsparameter realisiert werden. Die Ermittlung optimaler Kippwinkel bei den dynamischen Gießverfahren und deren Auswirkung auf das Erstarrungsverhalten sowie die Schmelzuführung sind beispielhaft in **Bild 5** dargestellt. Die simulierten guten Gefügeeigenschaften bei eingestellten Kippwinkeln über 90° konnten durch praktische Gießversuche und Untersuchungen auch hinsichtlich der mechanischen Kennwerte bestätigt werden.

Neben den technologischen Vorteilen dieser Verfahrensentwicklungen sind vor allem in der Großserienfertigung natürlich auch die ökonomischen Aspekte von wesentlicher Bedeutung. Vor diesem Hintergrund untersuchte M. Braunhardt im Rahmen seiner Dissertation, die in Auszügen



in M. Braunhardt u. a. [9] publiziert ist, die Eignung von Schwerkraft-Kokillengießverfahren zur Herstellung von Aluminium-Zylinderkurbelgehäusen in der Großserienfertigung. Im Vergleich mit den konventionell zur Herstellung von Al-ZKGs eingesetzten Niederdruck- bzw. Druckgießverfahren zeigte das dynamische Schwerkraftkokillengießen sowohl in Bezug auf die mechanischen Eigenschaften und das erzielbare Porositätsniveau als auch monetär z. T. deutliche Vorteile. Eine weitere Reduzierung der Fertigungskosten kann nach Meinung des Autors durch den Umstieg auf das statische Schwerkraftkokillengießen erreicht werden, jedoch sei hierbei aktuell noch mit qualitativen Einbußen zu rechnen. Ausgehend von den hohen Potentialen, die sich durch die konsequente Weiterentwicklung des Schwerkraft-Kokillengießverfahrens ergeben, gibt der Autor einen sehr detaillierten Überblick über die Abläufe und Vorgehensweisen, die bei der Adaption eines Gießverfahrens auf eine neue Produktgruppe zu treffen sind. Eine schematische Übersicht wird in **Bild 6** gegeben.

Anhand der vorgestellten aktuellen Verfahrenstechnologien wird neben den erziel-

baren positiven Eigenschaften vor allem jedoch auch der enorme Aufwand deutlich, der gegenwärtig betrieben wird, um das Gussgefüge der Bauteile anforderungsgerecht einstellen zu können. Gleichzeitig wird auch deutlich, dass zur Erfüllung der strengen Vorgaben ein wahrer Kampf sowohl um jeden DAS- μm als auch um jedes Gramm Bauteilgewicht entbrannt ist. Dabei dürfen jedoch weder die ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit außer Acht gelassen werden. Mit Hinblick auf die z. B. durch die Abgasnorm vorgegebenen zukünftigen Anforderungen bleibt somit bereits jetzt festzuhalten, dass zur Fertigung von am Markt erfolgreichen Antriebsaggregaten, langfristig gesehen, tatsächlich alle drei in Bild 1 aufgezeigten Handlungsfelder – also die Konstruktion eines Bauteils, das gewählte Verfahren sowie der eingesetzte Werkstoff – optimal ausgelegt und aufeinander abgestimmt sein müssen.

Werkstoffentwicklungen

Entsprechend den hohen werkstofftechnischen Anforderungen stellten H. Koch und A. Pithan [10] auf der Großen Gießereitechnischen Tagung 2012 vor dem

Hintergrund der anhaltenden Erhöhung der spezifischen Leistungskennzahlen von Dieselmotoren (Anmerkung: eine Zusammenfassung ist in **Bild 7** gegeben), Möglichkeiten einer gezielten Legierungsmodifikation für thermisch belastete Aluminiumbauteile vor. In ihren Ausführungen wiesen die Referenten darauf hin, dass das Potential der derzeit verwendeten Legierung ausgereizt zu sein scheint und dass diese nur noch begrenzt zur Fertigung künftiger hoch belasteter Motorenkomponenten eingesetzt werden könnten. Durchgeführte Untersuchungen zur Legierungsoptimierung haben ergeben, dass AlSiMg-Legierungen am besten für hoch belastete Legierungen in Bezug auf statische Eigenschaften, Gießbarkeit und Wärmeleitfähigkeit im Gegensatz zu anderen Legierungstypen abschneiden. Bei angepasster Dimensionierung des Kühlwasserkreislaufes kann durch Legierungen mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit die thermische Beanspruchung der Bauteile zusätzlich reduziert werden. Weitergehend führten die Referenten aus, dass sowohl die Wärmebehandlung und die Zusammensetzung der Legierungselemente, als auch die Erstar-

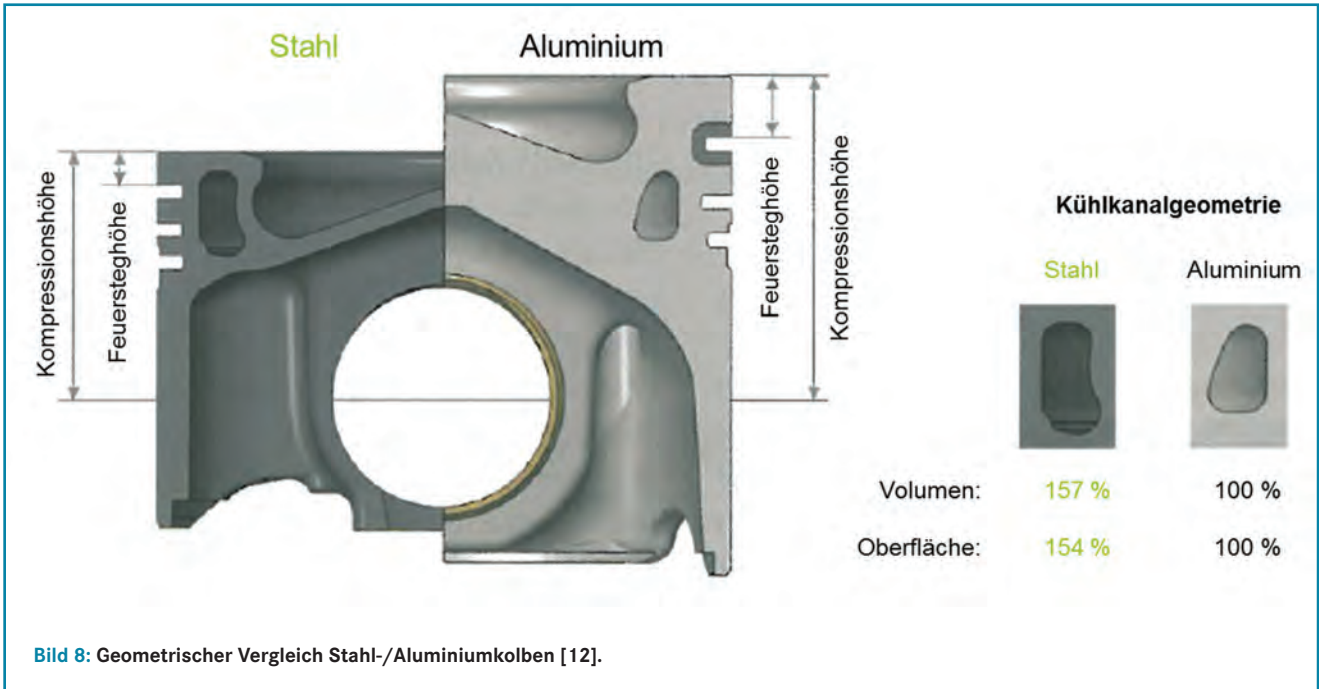


Bild 8: Geometrischer Vergleich Stahl-/Aluminiumkolben [12].

Die Untersuchung zeigt einen erheblichen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit der Legierung AlSi7Mg haben. Zusätzlich lässt sich durch das Entfernen von Titan, Vanadium und Zirkon aus der Schmelze eine bessere Wärmeleitfähigkeit und sowie ein feineres Gefüge erzielen. In den Untersuchungen konnte gemäß der Autoren eine Verringerung des DAS von 19 auf 16 µm erzielt werden.

Ein weiterer Beitrag der Großen Gießereitechnischen Tagung 2012 widmete sich der gezielte Untersuchung und Identifizierung prozesskritischer Grenzen von Al-Gusslegierungen. Wie B. Stauder u. a. [11] berichteten, galt es dabei zunächst einen Vergleich zwischen einer synthetischen, sauberen AlSi8Cu3-Gusslegierung mit einer marktüblichen Sekundärlegierung herzustellen. Das Ziel bestand darin, den kompletten Einfluss der Begleitelemente herauszufiltern. Allgemein konnte der Kornfeinungszustand eindeutig quantifiziert werden. Allerdings ist für die Veredelung eine zusätzliche Absicherung bei der Bestimmung des Veredelungsgrades notwendig. Der Kornfeinungszustand konnte so nach einer Titan-Zugabe mit Hilfe einer Primärlegierung gezeigt werden. Weitere Untersuchungen gingen in die Richtung, niedrigschmelzende Begleitelemente zu analysieren. Auch wenn ihr Anteil begrenzt ist, sind diese doch unvermeidbar. Ihre geringe Löslichkeit führt zu einer Senkung der Solidustemperatur mit der Folge einer erhöhten Porositäts- und Warmrissneigung. Genauere Untersuchungen zu den Einflüssen auf das Erstarrungsverhalten, die Phasenausbildung, deren Detektierbarkeit und funktionalen Eigenschaften wurden am Beispiel des Legierungselementes Zinn durchgeführt. Das Ergebnis zeigte zum einen im

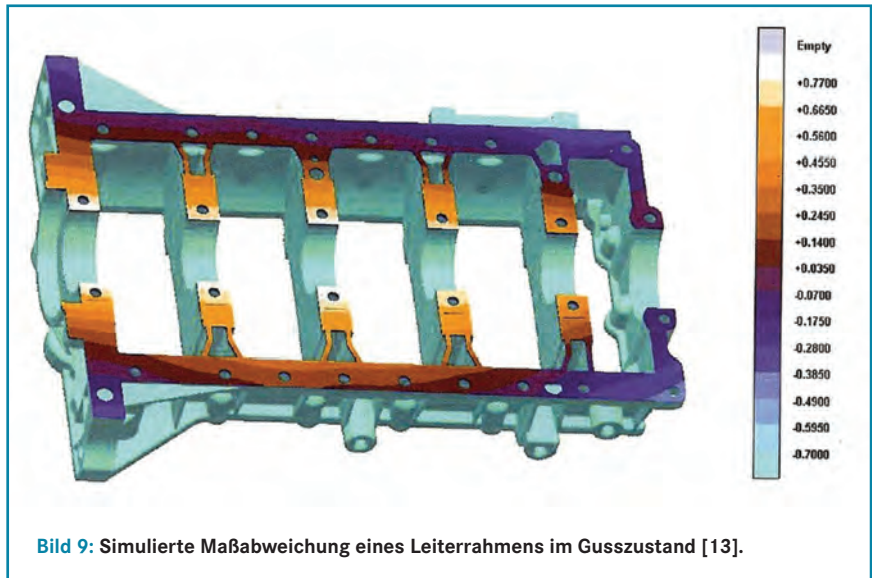


Bild 9: Simulierte Maßabweichung eines Leiterraumens im Gusszustand [13].

Bereich der spezifischen Legierungstoleranzen eine klare Beeinflussung des Erstarrungsintervalls auf, aber zum anderen auch eine nicht uninteressante Steigerung der Härte in bestimmten Bereichen. In Bezug auf das Hauptbegleitelement Eisen konnte gezeigt werden, dass dieses Element zu einer Ausbildung stark unerwünschter vor-eutektischer Beta-AlFeSi-Phasen sowie der ko-eutektischen Ausscheidung von Alpha-AlFe(Mn)Si-Phasen führt. Durch Schlichtbewertungen ließen sich die Phasenanteile quantifizieren. Als Ergebnis wurden für die Legierungen AlSi6Cu4 und AlSi8Cu3 praxistaugliche Empfehlungen für gängige Prozessfenster gegeben.

Dass trotz aller Bemühungen in der Legierungsentwicklung die hohen Belastungen zum Teil auch heutzutage schon die Potentialgrenzen des Werkstoffs Aluminium erreichen, zeigen Beiträge wie E. Ottliczky u. a. [12]. Die Autoren berichten, dass z. B.

die KS Kolbenschildt GmbH, Neckarsulm, Stahlkolben für PKW-Dieselmotoren entwickelt. Diese könnten vor dem Hintergrund steigender thermischer und mechanischer Beanspruchungen die seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzten Aluminiumkolben ablösen, um den zukünftig wachsenden Ansprüchen hinsichtlich Belastbarkeit und Funktionsverhalten gerecht zu werden. In ihrem Beitrag prognostizieren die Autoren künftige spezifische Motorleistungen von über 90 kW/l und damit einhergehend Zünddrücke von über 200 bar. Da die daraus resultierenden Beanspruchungen mit Kolben aus Aluminiumwerkstoffen kaum noch dauerhaft zu erfüllen sind, empfehlen sie einen Wechsel auf höher feste Kolbenwerkstoffe wie z. B. Stahl in Verbindung mit einer robusten Kolbenkonstruktion – ein Ansatz, der im NKW-Bereich bereits vor einigen Jahren vollzogen wurde. Bild 8 zeigt beispielhafte Ausführungen.

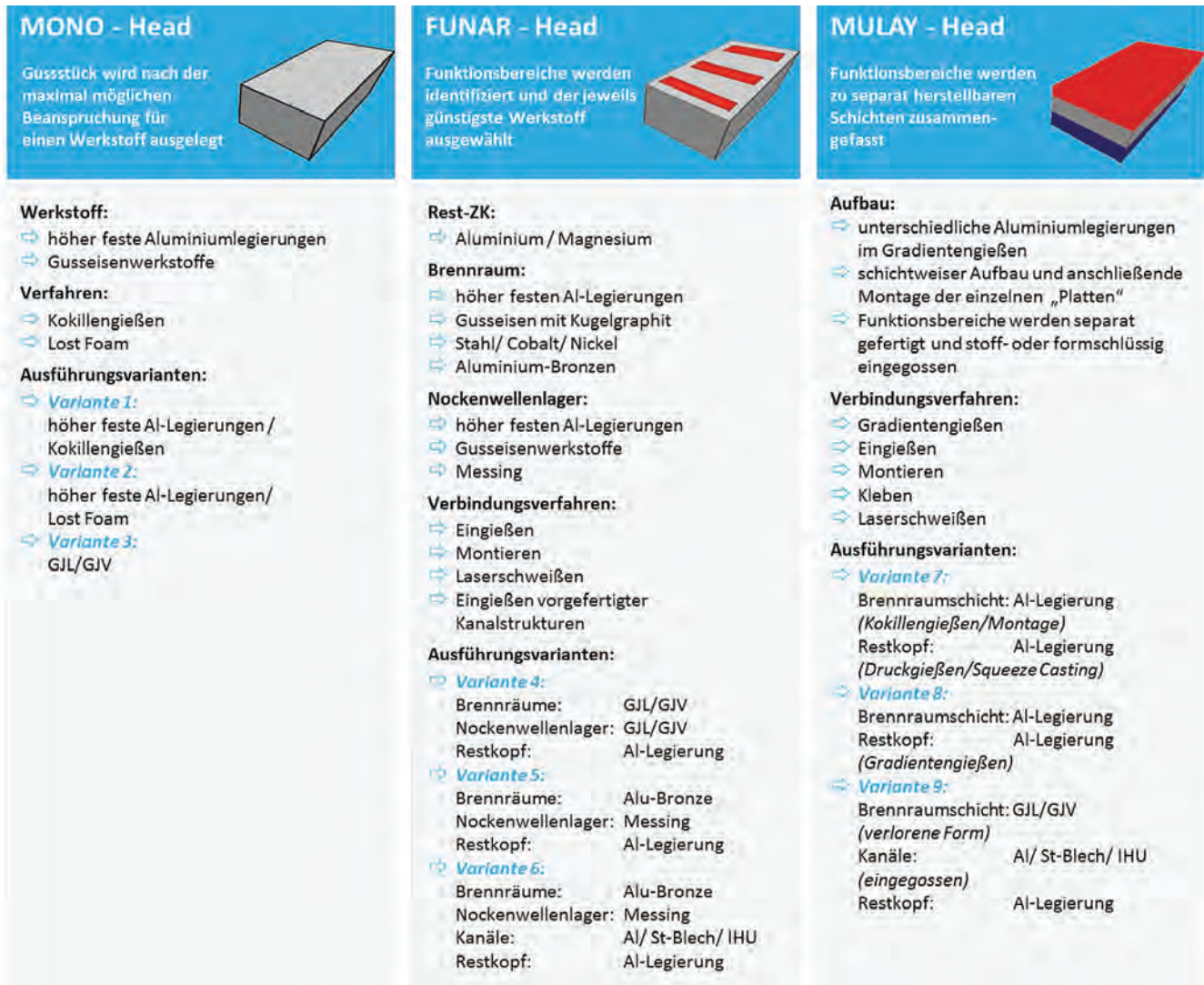


Bild 10: Lösungsansätze zur Werkstoffkombination in Zylinderköpfen [14].

Eine Substitution der eingesetzten Werkstoffe hin zu hoch festen Materialien oder auch sogar zurück zu Gusseisenwerkstoffen liegt auch bei den anderen Motorenkomponenten nahe. Dem widerspricht jedoch die Forderung nach Leichtbau, da die hoch festen Materialien aufgrund ihrer im Allgemeinen hohen Dichte zu einem deutlichen Mehrgewicht beim Einsatz zur Fertigung materialintensiver Bauteile führen können. Einen möglichen Ansatz zur Lösung dieser Diskrepanz stellt eine hybride Mischbauweise dar. Dieser Ausführungsvariante liegt die Idee zugrunde, die Gussbauteile konstruktiv so zu gestalten, dass sie entsprechend der unterschiedlichen Beanspruchungen in den verschiedenen Bauteilbereichen aus verschiedenen, anforderungsgerechten Werkstoffen gefertigt werden. So werden z. B. bei der Fertigung von Zylinderkurbelgehäusen aus dem Werkstoff Aluminium in einigen Ausführungsvarianten die Laufflächen als eingegossene Laufflächen aus Gusseisen ausgeführt. Weiterhin werden bei der Fertigung von Leiterrahmen, auch „Bedplates“ genannt, weitestgehend Lagerschalen aus Gusseisen oder

Stahl als Verstärkungen zur Pleuellagerung eingegossen. Aufgrund der Tatsache, dass es bei der Kombination von Werkstoffen mit so extrem unterschiedlichen Wärmeausdehnungsverhalten unweigerlich zu z. T. hohen Spannungen kommt, die mitunter zu Bauteilverzug oder Versagen führen können, spielen auch hier intensive Simulations- und FEM-Berechnungen eine entscheidende Rolle zur erfolgreichen Umsetzung der Fertigungskonzepte. Dieser Thematik widmet sich G. Hartmann [13], der in seinem Beitrag beschreibt, wie mit Hilfe der Simulation z. B. ein sich einstellender Bauteilverzug bereits im Entwicklungsstadium quantifizierbar gemacht werden kann, sodass sich schon in der Konstruktionsphase geeignete Bearbeitungszugaben und -maßnahmen festlegen lassen. Beispielhaft hierfür sei auf Bild 9 verwiesen.

Während die lokal verstärkende Werkstoffkombination an Zylinderkurbelgehäusen mittlerweile bereits zum Stand der Technik zählt, wird von S. Scharf [14] die hybride Bauweise zur lokalen Verstärkung auch am hoch komplexen Bauteil Zylinderkopf thematisiert. Um die Diskrepanz zwi-

schen der Aufnahme der wachsenden Bauteilbelastungen einerseits und der weiteren Verfolgung des Leichtbaugedankens andererseits überwinden zu können, gibt der Artikel eine allgemeine Übersicht zu den an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg entwickelten Konzeptvarianten möglicher Werkstoffkombinationen. Der Autor untergliedert in seinem Beitrag nach einer detaillierten Beschreibung der am Bauteil wirkenden Belastungen den Zylinderkopf in verschiedene Funktionsbereiche, die sich im Wesentlichen in die Bereiche Brennraum, Kanäle und Pleuellager untergliedern lassen. Aufbauend auf dieser Differenzierung werden unterschiedliche Varianten und Lösungsansätze zur gezielten lokalen Werkstoffkombination aufgezeigt (Bild 10). Darauf aufbauend werden die einzelnen Konzepte und Untervarianten diskutiert und in Form eines Ablaufschemas klassifiziert (Bild 11). Dieses soll dem Konstrukteur und Entwickler als ein Rüstzeug zur Auswahl geeigneter Werkstoffkombinationen zur Verstärkung von Zylinderköpfen dienen. Nach einem kritischen Abwägen des Für und Wider der heterogenen Mischbauweise

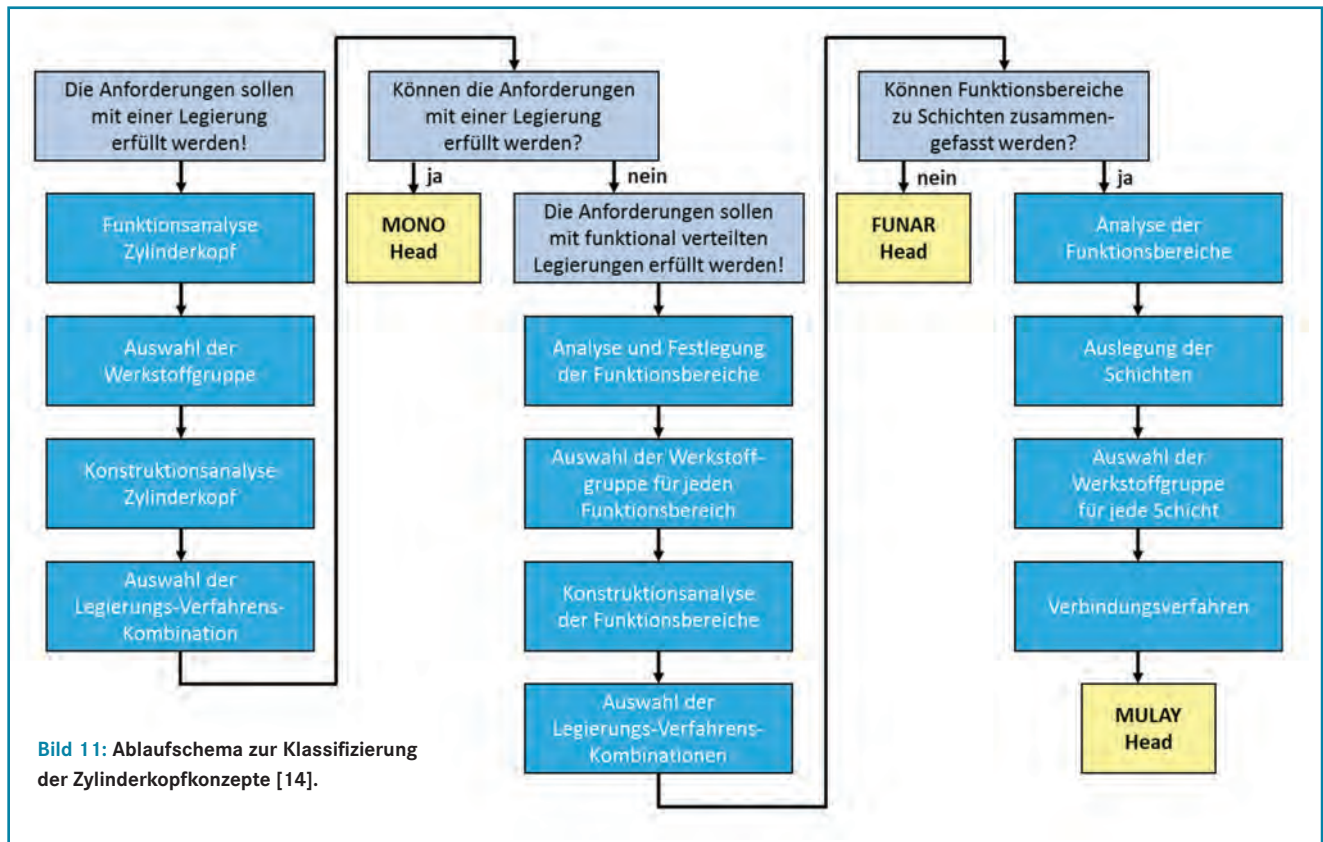


Bild 11: Ablaufschema zur Klassifizierung der Zylinderkopfkonzepte [14].

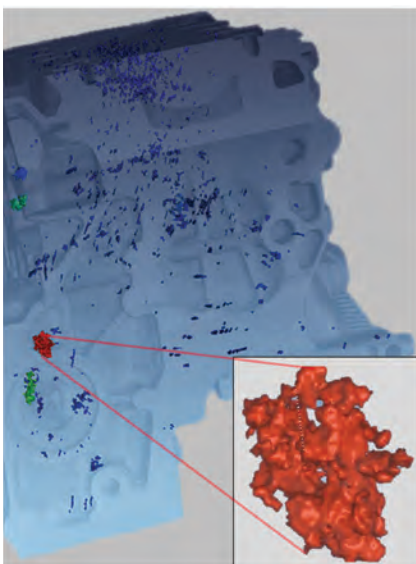


Bild 12: Porosität in einem gegossenen Al-Zylinderkurbelgehäuse [18].

wird zusammenfassend eingeschätzt, dass eine hybride Bauweise bei der Fertigung künftiger Zylinderköpfe eine sehr interessante Alternative zu den aktuellen homogenen Werkstoffkonzepten darstellt. Potentiale werden dabei sowohl in Bezug auf die mechanischen Bauteileigenschaften und daraus resultierend auf das Masse-Leistungs-Verhältnis, als auch hinsichtlich der Fertigungskosten gesehen.

Um jedoch diese Potentiale auch tatsächlich nutzen zu können, ist neben der fertigungstechnischen Realisierung einer geeigneten Werkstoffanbindung sowie einer

optimalen Einstellung der Interfaceschicht auch die Prüfung der Werkstoffübergänge unabdingbar. Die rasante Entwicklung im Bereich der Bauteilprüfverfahren könnte hierbei die entscheidende Unterstützung geben.

Innovative Entwicklungen zur Qualitätssicherung und Bauteilprüfung.

Speziell die aus der Medizintechnik bekannte Computertomographie (CT) konnte sich in den vergangenen zwei Jahren aufgrund einer gezielten Technologieentwicklung und den daraus resultierend deutlich verkürzten Scanzeiten zu einem der vielversprechendsten Verfahren für die zerstörungsfreie Bauteilprüfung entwickeln. Moderne Anlagen, die mittlerweile unter der Bezeichnung „Inline-CT“ bekannt sind, ermöglichen computertomographische Prüfungen kompletter Bauteilchargen und damit eine Qualitätssicherung in bisher ungeahntem Ausmaß.

So wird in [15] berichtet, dass z. B. im BMW Werk, Landshut, alle gegossenen Bauteile für den BMW M3 DTM, der in der Deutschen Tourenwagenmeisterschaft startet und dessen Motor eine komplette Saison halten muss, mit Hilfe der Computertomographie zerstörungsfrei geprüft werden. So lässt sich mit Hilfe eines Prüfverfahrens zuverlässig feststellen, ob zum Beispiel in schwer zugänglichen Hohlräumen die Messdaten mit den Konstruktionsdaten übereinstimmen oder ob Formstoffanhaftung oder

Fehlstellen im Werkstoff vorhanden sind.

Die wachsende Bedeutung des CT als modernes Analyseverfahren zur Beurteilung von Al-Gussgefügen wurde auch anhand der zahlreichen Beiträge auf den gießereitechnischen Tagungen und Messen deutlich. So berichteten A. Kugel u. a. [16] in ihrem Beitrag auf der Großen Gießereitechnischen Tagung in Salzburg, dass nur unter Zuhilfenahme neuer Analyseverfahren die noch unbekanntesten Störgrößen auf das Gussgefüge und damit die mechanischen Eigenschaften quantitativ und qualitativ ermittelt werden können. Um den immer exakteren Forderungen nach Einengung der Streuung bei den mechanischen Eigenschaften und dem Qualitätsnachweis mittels statistischer Verfahren zu entsprechen, kommt nach [16] auch in der Borbet Austria GmbH der Computertomograph als Analyseverfahren zur Serienprüfung der im Niederdruck-Kokillengießverfahren hergestellten Aluminiumräder zum Einsatz.

Bereits in der letzten Jahresübersicht 2011 wurde der Trend zur Inline-Computertomographie beschrieben. So konnten sowohl auf der Gifa 2011 als auch auf der Euroguss 2012 die Systeme der jeweiligen Hersteller betrachtet werden. Somit kann in den hardwaretechnischen Auslegungen der Inline-CT Systeme vom Stand der Technik ausgegangen werden.

Der Beschreibung der Einsatzfelder des Computertomographen als neue zerstörungsfreie Werkstoffprüfung widmen sich auch E. Ambos u. a. [17]. Im Beitrag wer-

den Möglichkeiten zur Beurteilungen der Oberflächenabweichungen des CT-Datensatzes gegenüber einem CAD-Modell beschrieben. Darüber hinaus beschreiben die Autoren die Detektion von Poren in produktionstypischen Taktzeiten.

Neben der konkreten Weiterentwicklung der Anlagentechnologie gilt es jedoch auch, neue Bewertungskriterien dieser dreidimensionalen Porositäten hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die statischen und dynamischen Festigkeiten festzulegen. Dieser Thematik widmen sich H. Stroppe, M. Sonsino und R. Bähr [18] in ihrem Beitrag „Einfluss von Poren und Kerben auf die Ermüdungsfestigkeit von Aluminiumussteilen“. Im Beitrag wird deutlich herausgestellt, dass die Gebrauchseigenschaften von Gussbauteilen durch Porosität signifikant beeinträchtigt werden. Zur Beurteilung des Einflusses von Ungängen wird ein Berechnungsmodell vorgestellt, welches den Einfluss von Poren und Kerben auf das Schwingfestigkeitsverhalten von Al-Legierungen beschreibt. Darüber hinaus wird aufgezeigt, dass in weiterführenden Untersuchungen u. a. an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg weitere analytische Modelle genutzt werden, um im Zusammenspiel mit der fokussierten Betrachtung von dreidimensionalen Poren hinsichtlich Form,

Lage und Verteilung den Einfluss auf die Bauteilfestigkeit zu untersuchen (Bild 12).

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die Computertomographie aufgrund der technologischen Entwicklung zum gegenwärtigen Zeitpunkt als ein extrem vielseitiges und zuverlässiges Prüfverfahren gesehen wird, mit dem Bauteile künftig zu 100 % zerstörungsfrei geprüft werden könnten, wodurch eine deutlich verbesserte Qualitätssicherung zu erwarten ist.

Literatur:

- [1] Großer Leichtbau-Report: Die Leichtigkeit des Seins. <http://www.auto-motor-und-sport.de/testbericht/grosser-leichtbau-report-die-leichtigkeit-des-seins-3991347.html> (Stand: 14.06.2012).
- [2] MTZ 72 (2011) H. 2, S. 88-95.
- [3] Giesserei 98 (2011) H. 2, S. 26-35.
- [4] ATZ extra (2011) September, S. 36-43.
- [5] MTZ 73 (2012) H. 6, S. 476-482.
- [6] ISO 50001. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin Juni 2011.
- [7] Giesserei 98 (2011) H. 6, S. 60-66.
- [8] Giesserei 98 (2011) H. 10, S. 18-22.
- [9] Giesserei 99 (2012) H. 5, S. 30-39.
- [10] Legierungsmodifikation für thermisch belastete Aluminium-Bauteile. Vortrag, gehalten auf der Großen Gießereitechnischen

Weitere Informationen:

Die in den Jahresübersichten zitierten Veröffentlichungen sind gegen Kostenerstattung erhältlich beim BDG-Informationszentrum GIESSEREI Postfach 10 51 44, D-40042 Düsseldorf Tel.: +49 (0) 211/68 71-252, Fax: -361 E-Mail: infozentrum@bdguss.de

Tagung vom 26. und 27. April 2012 in Salzburg.

[11] Die Rolle von Begleitelementen in Al-Gusslegierungen. Untersuchungen in interdisziplinärer Arbeit zwischen Universitäten und Industrie. Vortrag, gehalten auf der Großen Gießereitechnischen Tagung vom 26. und 27. April 2012 in Salzburg.

[12] MTZ 72 (2011) H. 10, S. 728-734.

[13] Giesserei 99 (2012) H. 3, S. 24-27.

[14] MTZ 73 (2012) H. 4, S. 300-309.

[15] Giesserei 99 (2012) H. 3, S. 10-11.

[16] Betrachtung moderner Analyseverfahren zur Beurteilung von Al-Mikrogefügen. Vortrag, gehalten auf der Großen Gießereitechnischen Tagung vom 26. und 27. April 2012 in Salzburg.

[17] Giesserei-Erfahrungsaustausch 56 (2012) H. 3+4, S. 6-11.

[18] Giesserei 98 (2011) H. 8, S. 20-25.