

Entlüftungssysteme für Vakuum Druckguss

Entlüftungsleistung und Betriebserfahrungen

J. Barz, B. Horstkamp, K. Möller

Einleitung

Die fortschreitende Technik und der wachsende Wettbewerb im allgemeinen Maschinenbau und in der Automobilindustrie führen zu immer höheren Qualitätsansprüchen an die Zulieferindustrie. Dies spiegelt sich auch in der Fertigung von Gussteilen aus Aluminium- und Magnesiumlegierungen wider. Eine wichtige Voraussetzung für die Herstellung von qualitativ hochwertigen Gussstücken ist, dass während des Gießens möglichst wenig Gase im Gefüge eingeschlossen werden [1]. Hieraus ergeben sich folgende Forderungen [2]: Zunächst muß gewährleistet sein, daß die eingesetzte Schmelze gasfrei ist. Des weiteren soll aus der Gießergarnitur möglichst keine Luft in das flüssige Metall eingewirbelt werden. Auch die im Gießlauf und Formhohlraum befindliche Luft muß beim Gießen vollständig entweichen können. Die erste Forderung muß durch eine einwandfreie Schmelzebehandlung erfüllt werden. Die zweite Forderung kann mitunter durch das Verhindern einer Überschlagwelle in der Gießkammer erfüllt werden. Die dritte Forderung verlangt nach fachgerechter Auslegung des notwendigen Entlüftungssystems. Neben der luftgefüll-

ten Kavität und der Reinheit des verwendeten Metalls sind auch zusätzliche Stoffe wie Kolbenschmier- und Formtrennmittel zu betrachten. Während des Gießprozesses können in der Phase der Formfüllung aus Resten an Kolbenschmier- und Formtrennmittel Reaktionsgase entstehen, die dann im einfließenden Metall eingeschlossen werden.

Die Formentlüftung muss also nicht nur auf das Entweichen der Luft aus der Kavität alleine, sondern auch auf das allgemeine „Entgasen“ des gesamten Formhohlraumes vor der Füllphase hinzielen. Für den Gießprozeß stehen die Möglichkeiten der Formentlüftung entweder durch Zwangsentlüftung oder durch unterstützendes Vakuum zur Verfügung. Bei der Zwangsentlüftung ist darauf zu achten, daß nicht durch vorzeitiges Zufrieren der Entlüftungskanäle die weitere Entlüftung verhindert wird. Die Zwangsentlüftung muss weiterhin so konzipiert sein, daß ein Durchschießen aus der Form vermieden

wird. Die vakuumunterstützten Prozesse erfordern entweder mechanische Ventile oder offene Vakuumsysteme, in denen das Metall, wie auch bei der Zwangsentlüftung, ausläuft und erstarrt, ohne das nachgeschaltete Vakuumsystem zu stören oder zu schädigen.

Die Anforderungen an die Gußqualität sind hoch, daher muß genau betrachtet werden, welche Art der Formentlüftung für ein Bauteil in Frage kommt. Bei dickwandigen Gussteilen reicht in vielen Fällen eine gut konzipierte Zwangsentlüftung zur Herstellung abnahmegeeigneter Gussstücke aus, sofern auch alle sonstigen Voraussetzungen für eine fachgerechte Fertigung erfüllt sind (Bild 1, linker Teil).

Dünnwandige Strukturteile und dickwandige Bauteile mit sehr komplexer und filigraner Bauteilgeometrie müssen oftmals besonderen Ansprüchen genügen. Dazu zählen Gasporenfreiheit, hohe Oberflächengüte und die Möglichkeiten der Weiterverarbeitung, wie zum Beispiel Wärmebehandlung

und Schweißen.

Bei Sicherheitsbauteilen werden weiterhin hohe Anforderungen an die Zähigkeit gestellt. Strukturbauteile sind aufgrund der geringen Wanddicke ($\leq 3\text{mm}$) und der häufig langen Fließwege sehr anspruchsvoll. In solchen Fällen reicht es nicht mehr aus, die Luft durch die Metallfront aus der Kavität zu schieben. Die Luft muß vor dem Auslösen des Schusses aus dem gesamten System abgeführt werden. Dazu dienen die Vakuumverfahren.

Das zu entlüftende Volumen ist die Summe der Volumina der Kavität (Gussteil und Gießsystem) und der Luft in der Füllkammer. Bei der Anbindung des Vakuumsystems an die Druckgussform können verschiedene Techniken zum Einsatz kommen (Bild 1, rechter Teil). Für die Evakuierung des gesamten Hohlraumes ist eine Entlüftszeit t_{Evak} notwendig.

Im Kaltkammer - Druckguss sind sowohl die konventionelle Dosierung über Rinne und Gießlöffel be-

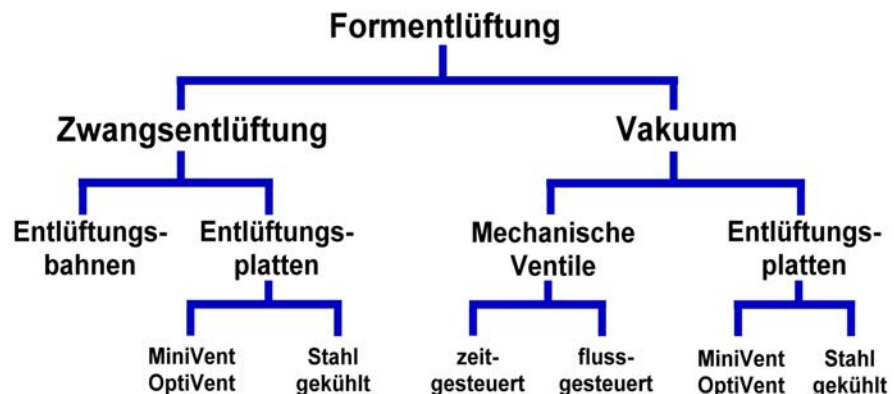


Bild 1. Überblick über die Möglichkeiten zur Formentlüftung

Dipl.-Ing. Jürgen Barz Schmelzmetall Deutschland GmbH;
Dipl.-Ing. Bernd Horstkamp InterGuss Gießereiprodukte GmbH;
Dipl.-Ing. Klaus Möller Volkswagen AG Werk Kassel BU Gießerei und Bearbeitung Technologie - Zentrum



Bild 2. Prüfstand zur Druckverlaufsmessung

kannt, als auch die Dosierung des Metalls aus dem Warmhalteofen mittels Vakuum. Beim konventionellen Verfahren kann die Evakuierung erst beginnen, nachdem der Gießkolben die Dosieröffnung der Füllkammer verschlossen hat. Beim Einsatz von zeitgesteuerten Ventilen muss beachtet werden, dass die Ventile vor dem Auftreffen der Metallfront geschlossen sind, da sonst Metall in das Vakuumssystem eindringen kann. Somit ist die Hauptentlüftungszeit an die erste Phase gekoppelt. Bei flussgesteuerten Ventilen werden die Ventile nach vollendeter Formfüllung durch die Metallfront geschlossen. Zu der Hauptentlüftungszeit der 1. Phase kommt bei diesen Ventilen noch die Zeit bis zur kompletten Formfüllung hinzu.

Eine weitere Möglichkeit der Evakuierung bietet der Vakuumdruckguss mit der Verwendung offener Entlüftungssysteme, die lediglich mit einer Steuerung zur Aufrechterhaltung des anliegenden Vakuums arbeiten. Diese offenen Entlüftungssysteme haben keine mechanischen Funktionsweisen, sondern das Prinzip beruht darauf, daß die Metallfront

nach Beendigung der Formfüllung im Entlüftungssystem ausläuft und erstarrt.

Die Entlüftungsleistung des einem Waschbrett ähnelnden Entlüftungsblocks wird hauptsächlich durch das Spaltmaß-Blockbreite-Verhältnis bestimmt. Ein optimiertes Entlüftungssystem verwendet einen Kupfer-Wolfram Werkstoffverbund und besitzt ein genau dimensioniertes Spaltmaß-Blockbreite-Verhältnis.

Dadurch wird die für den Vakuumdruckguss entscheidende Absaugleistung maximiert.

Bestimmung der Entlüftungsleistung -Ergebnisse

Um die Leistungsfähigkeit von Entlüftungssystemen beurteilen zu können ist es notwendig den Druckverlauf in der Kavität während des Gießprozesses zu messen. Unter Produktionsbedingungen ist dies nur mit erheblichem Aufwand möglich. Es wurde deshalb ein Prüfstand gebaut mit dem der Ablauf der Evakuierung der Form simuliert werden kann.

Der Prüfstand (Bild 2) besteht aus dem Absaugzylinder (1) dessen Volumen stufenlos von 0 – 20 l ein-

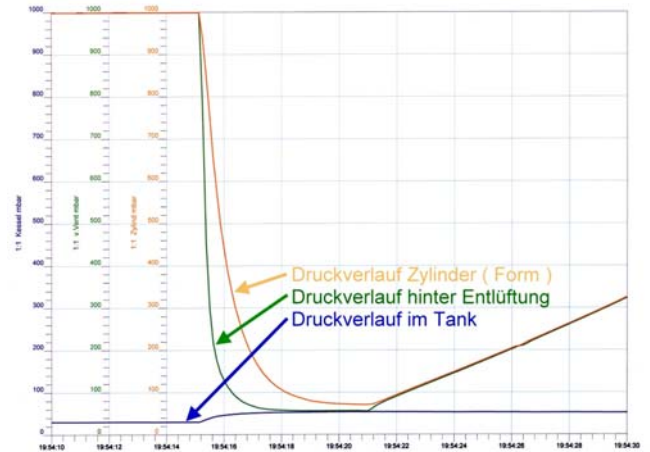


Bild 3. Gemessener Druckverlauf

stellbar ist, dem Adapter (2) zur Aufnahme der verschiedenen Entlüftungssysteme (OptiVent MiniVent, Ventile und Stahlentlüftungseinsätze), dem 500l Vakuutank (3), der Vakuumpumpe (4), pneumatisches Ventil (5) und der Steuer- und Aufzeichnungseinheit (6). Mittels 3 Drucksensoren wird der Druckverlauf im Absaugzylinder, zwischen Entlüftungseinheit und Vakuutank und im Tank gemessen (Bild 3).

Vor jeder Messung wurde der Druck im Tank auf 30mbar eingestellt. Danach wurde das pneumati-

sche Ventil geschaltet und dadurch die Verbindung zwischen Absaugzylinder und Vakuutank geöffnet und der Druckverlauf aufgezeichnet.

Dabei wurde untersucht welchen Einfluss das Kavitätvolumen (Absaugzylinder) sowie das Spaltmaß und der Absaugquerschnitt des Entlüftungsblockes auf die Absaugleistung haben. Bei allen Messungen zeigte sich, dass die Druckabbaugeschwindigkeit hinter der Entlüftungseinheit (Bild 4 Kurven 1a und b) deutlich höher ist als im Zylinder (Bild 4 Kurven 1b und 2b).

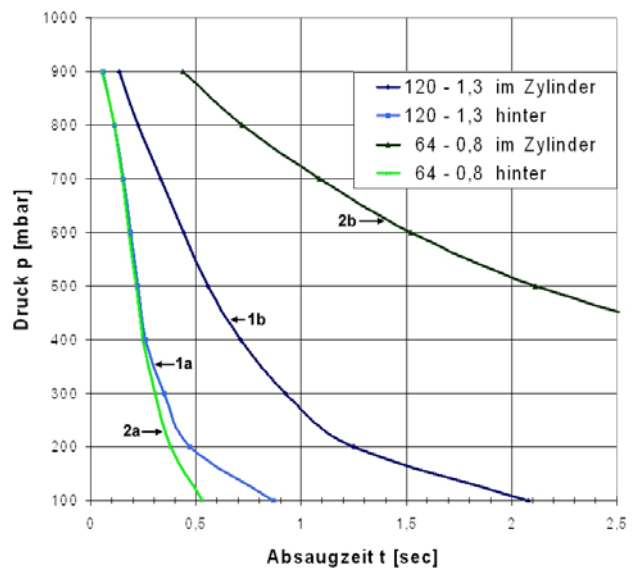


Bild 4. Druckverlauf im Zylinder und zwischen Entlüftungseinheit und Tank (hinter) Kurven 1a und 1b Strömungswiderstand niedrig Kurven 2a und 2b Strömungswiderstand hoch

Ursache ist der Strömungswiderstand der Entlüftungseinheit. Mit zunehmendem Strömungswiderstand der Entlüftungseinheit wird die Differenz zwischen dem Druckverlauf „vor“ (Zylinder) und „hinter“ der Entlüftungseinheit immer ausgeprägter. Eine Korrelation zwischen den Druckverlaufskurven „vor“ und „hinter“ konnte nicht gefunden werden. Da die Messstelle „hinter“ dem üblichen Messanschluss an der Form entspricht, müssen in der Gießerei indirekte Methoden zur Bestimmung des Druckverlaufs in der Form angewendet werden (z. B. Bestimmung der abgesaugten Luftmenge durch Auswertung des Druckverlaufs im Tank oder durch Messung der Strömungsgeschwindigkeit in der Absaugleitung).

Die notwendige Absaugzeit zur Erreichung eines bestimmten Druckes im Zylinder steigt bei jedem Absaugquerschnitt linear mit dem Absaugvolumen (Bild 5). Die Steigung der Geraden ist ein Maß für den Strömungswiderstand des Entlüftungseinsetzes. Dabei bedeuten niedrigere Steigungen höhere Entlüftungsleistungen. Aus den Bildern 5 und 6 ist zu erkennen, dass

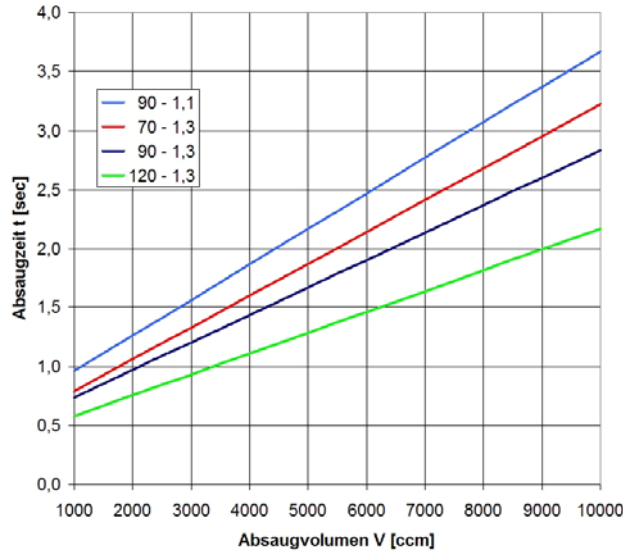


Bild 5. Notwendige Absaugzeit zur Erreichung eines Druckes von 200mbar im Absaugzylinder für verschiedene Absaugquerschnitte

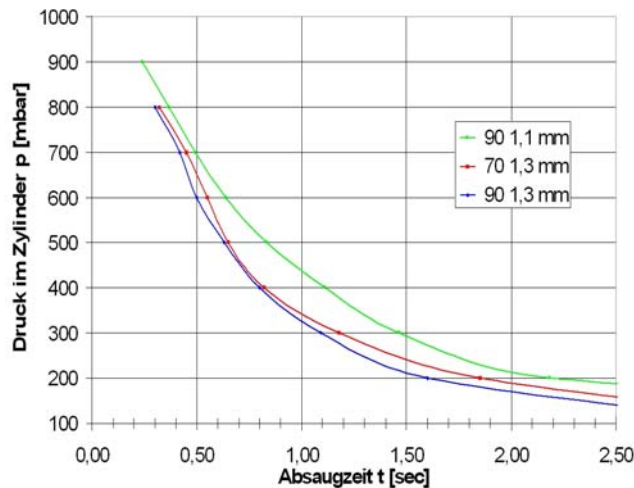


Bild 6. Druckverlauf für Absaugbreite 70 mm und 90 mm Spaltmass 1,1 mm und 1,3 mm, Absaugvolumen 5000 ccm

eine Vergrößerung des Spaltmaßes die Entlüftungsleistung wesentlich stärker erhöht als eine Verbreiterung. Bei Kenntnis der Absaugkennlinien (Bild 5) ist es möglich aus den Gieß- und Formparametern die zur Erreichung eines geforderten Kavitätsdrucks notwendige Entlüftungseinheit zu bestimmen (Bild 7).

OptiVent – MiniVent Entlüftungseinsetze

Wie in der Einleitung schon erwähnt, haben offene Entlüftungseinsetze nicht nur die Aufgabe, eine optimale Entlüftung bzw. eine effiziente Evakuierung der Kavität zu ermöglichen; sie müssen auch die Erstarrung d.h. das Einfrieren des Metalls innerhalb des Entlüftungseinsetzes gewährleisten. Welchen Einfluss das Spaltmaß auf den Strömungswiderstand und damit auf die Entlüftungsleistung hat wurde oben aufgezeigt. Bei der Entwicklung der hier vorgestellten Entlüftungseinsetze wurde diesen Anforderungen an Entlüftungseinsetze besondere Beachtung geschenkt. Aus diesem Grunde wird ein hochwärmeleitfähiger Hovadur® Werkstoff von Schmelzmetall mit einem im vorderen Bereich des OptiVent platziereten verschleißbeständigen Einsatz aus Wolfram kombiniert. Hierdurch erreicht man eine sehr effiziente Wärmeabfuhr und damit ein schnelles Einfrieren des Metalls und eine der Formstandzeit entsprechende Lebensdauer der Entlüftungseinsetze OptiVent und MiniVent. Trotz kompakter Baulänge können so Spaltmaße von 1,3 mm realisiert werden. Im weiteren wurde dem Wunsch der Kunden entsprochen, ohne Kühlung und ohne Auswerfer und da-

notwendiger Entlüftungsquerschnitt Vakuum

S Start Vakuum s_{sv} mm

S Start 2. Phase $s_{s2,ph}$ mm

Geschwindigkeit 1. Phase $v_{1,ph}$ m/s

Pressrestdicke d_{PR} mm

Kolbdurchmesser K_D mm

Aktive Kammerlänge K_{akt} mm

Anzahl OptiVent

berechnen

Berechneter Kavitätsenddruck

OV V100	> 200mbar
OV V120	> 200mbar
OV V130	> 200mbar
OV V140	100 - 200mbar
OV V150	100 - 200mbar

Absaugzeit bei einem geforderten Kavitätsenddruck

Absaugzeit t_A s

Absaugvolumen V_A cm³

$s = (s_{s2,ph} - s_{sv}) / (v_{1,ph} * 1000)$
 $K_{akt} = 0,785 * (K_{akt} * s_{sv} - d_{PR}) / 1000$

Bild 7. Berechnungsprogramm zur Festlegung des geeigneten Entlüftungssystem zur Erreichung eines bestimmten Druckes in der Form



Bild 8. OptiVent Vakuumtyp

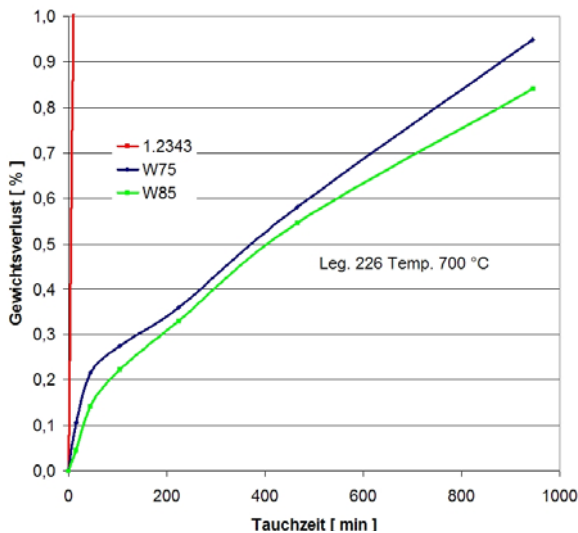


Bild 9. Gewichtsverlust im flüssigen Aluminium



Bild 10. Links „mit“, rechts „ohne“ Verschleissersatz aus Wolfram

mit ohne bewegliche Komponenten im Entlüftungseinsatz arbeiten zu können. Ein einfaches Handling und deutlich reduzierte Wartungskosten sind die Vorteile hieraus.

Bewusst wurde der vorere Verschleißersatz aus Wolfram gewählt. Zum einen hat die hier verwendete Legierung eine vierfach höhere Wärmeleitfähigkeit verglichen mit Werkzeugstahl und trägt damit zu einer optimierten Wärmeabfuhr bei. Zum anderen ist der Gewichtsverlust in flüssigem Aluminium sehr viel geringer als bei Stahl (Bild 9).

Wesentliche Konstruktionsmerkmale dieser Entlüftungseinsätze sind die strömungsoptimierte Geometrie und der Verschleißersatz aus einer Wolframlegierung. Sie sind so konzipiert, das seitliches Austreten von flüssigem Metall verhindert wird. Wie sich der Verschleißersatz aus der Wolframlegierung in der Praxis tatsächlich auswirkt zeigt Bild 10.

Deutlich zeigt sich der Unterschied im Verschleiß eines Entlüftungseinsatzes mit und ohne Verschleißersatz. Der wesentlich höhere Verschleiß ohne Verschleißersatz bewirkt eine mechanische „Ver-zahnung“ des Metalls mit der Oberfläche des Entlüftungseinsatzes und erschwert damit nicht nur die Entformung sondern limitiert auch sehr deutlich die Lebensdauer der Entlüftungseinsätze.

Betriebserfahrungen

Die Volkswagen AG besitzt in ihrem Werk Kassel in Baunatal die größte Leichtmetall-Druckgießerei Europas. In dieser Druckgießerei werden mit insgesamt 61 Druckgußmaschinen bis zu 45.000 Tonnen Aluminium-

legierungen und bis zu 8000 Tonnen Magnesiumlegierungen pro Jahr vergossen. Die Bauteile, die gegossen werden, sind Getriebegehäuse, Kupplungsgehäuse, Zylinderkurbelgehäuse, Lagertraversen und Strukturteile. Zu der Business Unit Gießerei Kassel gehört das im Jahre 2000 gegründete Technologie-Zentrum. Schwerpunkte des Technologie-Zentrums sind Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur optimierten Fertigung hochwertiger Gußbauteile sowie die Serienproduktion von Strukturbauteilen für den Volkswagen Phaeton, den Audi A8 und Audi TT. Neben Druckguß, eigener Wärmebehandlung und mechanischer Bearbeitung gehören zur weiteren Ausstattung die Metallographie, Computertomographie und Numerische Simulation.

In der Volkswagen-Gießerei in Kassel werden Bauteile nach dem Vakuum-Druckgussprozess hergestellt. Dabei sind mehrere Techniken als Einzellösung und in Kombination im Einsatz. Bis 2004 waren im Technologie-Zentrum mechanische zeitgesteuerte und durch die Metallfront flußgesteuerte Vakuumventile an den Vacural-DGM im Einsatz. Der hohe Wartungsaufwand der mechanischen Bauteile, die damit verbundenen hohen Kosten für Ersatzteile und lange Maschinenstillstandszeiten waren Anlaß zur Überprüfung und Optimierung der vorhandenen Entlüftungssysteme und zur Sondierung des Marktes nach Alternativen. Eine Alternative war der Einsatz von offenen Entlüftungssystemen. Aufgrund der optimierten Auslegung hinsichtlich Werkstoff und Entlüftungsleistung wurde das Kupfer-Wolfram-Entlüf-

tungssystem der Firma. InterGuss an einer Vacural-DGM getestet. Die besonders hohen Qualitätsanforderungen an die im Technologie-Zentrum hergestellten Strukturteile, insbesondere mechanische Eigenschaften, Oberflächengüte und Möglichkeiten der Weiterverarbeitung übertrugen sich auf die Forderungen an das Vakuumsystem.

Im April 2004 wurden im Technologie-Zentrum die ersten beiden „Waschbretter“ aus Kupfer-Wolfram für die Fertigung der Strukturbauteile in Betrieb genommen. Der Einbau erfolgte unter der Mitarbeit des Entwicklers innerhalb einer Schicht. Die Blöcke sind speziell so konstruiert, daß keine baulichen Änderungen an den Formrahmen notwendig sind. Das Tuschiehen sicherte die Einhaltung des vorgegebenen Spaltmaßes ab, welches für die Entlüftungsleistung entscheidend

ist. Während der Inbetriebnahme wurden im laufenden Prozess Druckabfallkurven aufgezeichnet, die den Aufbau, das Bestehen und den Wiederabfall des Vakuums in der Kavität sichtbar machten. Das Spaltmaß wurde regelmäßig überprüft, auftretende Abweichungen wurden ausgeglichen. Störungen konnten anhand der Druckabfallkurven erkannt, analysiert und behoben werden. Um dem Anlagenführer einen genauen Überblick über die sich gegenseitig beeinflussenden Störungsursachen zu vermitteln, wurden speziell für das Vacural-Verfahren Flussdiagramme entworfen. Der Anlagenführer wird konsequent zu den möglichen Störungsursachen geführt.

Der Serienbetrieb erfolgte direkt nach der Inbetriebnahme. Der Einsatz der neuen Entlüftungssysteme spiegelte sich sowohl in der Produktivität, als auch auf in

der Qualität der Bauteile wider. Durch Wegfall jeglicher Arbeiten an mechanischen Ventilbauteilen hat sich der Wartungsaufwand auf das regelmäßige Reinigen der Entlüftungsblöcke nach Schichtende minimiert. Die erhebliche Reduzierung von Maschinenstillstandszeiten führte zu einer deutlichen Steigerung des Nutzwertes. Hinsichtlich der Qualität wirkt sich die maximierte Absaugleistung besonders positiv auf die Schweißbarkeit der Bauteile aus. Aufgrund der guten Erfahrungen wurden weitere baugleiche Systeme in Betrieb genommen. Die Inbetriebnahme sowie die Anpassungen der Systeme an wechselnde Randbedingungen wurden ohne großen zeitlichen Aufwand durchgeführt. Die bisherigen Standzeiten der laufenden Systeme liegen bei mehreren 10.000 Schuß.

Ausblicke und Zusammenfassung

Aus den bisher gewonnenen Erkenntnissen ist besonders im Druckguß dünnwandiger Bauteile das Gießen mit Vakuumunterstützung zwingend notwendig. Nur so kann gewährleistet werden, daß die hohen Qualitätsanforderungen an diese Bauteile eingehalten werden. Um dieser Forderung nachzukommen, hat sich im Technologie-Zentrum der VW-Gießerei Kassel die Verwendung von offenen Entlüftungssystemen etabliert. Durch ihren Einsatz konnten Produktivität, Nutzgrad der DGM sowie Qualität und Schweißbarkeit der Bauteile erheblich verbessert werden.