

Wolfram Stets, Düsseldorf, Ursula Korz-Gottschalk, Duisburg, und Josef Vennemann, Olpe, sowie Gotthard Wolf, Düsseldorf

Einfluß von Kernformstoff und Kernschichten auf die Entstehung von Gasblasen in Gußstücken aus Kupfergußlegierungen

Ausgangssituation. Durchführung und Auswertung der Versuche: Untersuchung der Einzelkomponenten; Gasabgabemessungen; Gasdurchlässigkeitsprüfung; Gasdruckmessung; Gießversuche. Diskussion der Ergebnisse. Kriterien zur Gasblasenbildung: Zeitkriterium; Druckkriterium. Schlußfolgerungen für die Praxis.

Influence of core materials and core coatings on the occurrence of gas blisters in copper alloy castings

Initial situation. Implementation and evaluation of the tests: investigation of the individual components; measurements of gas evolutions; testing of gas permeability; measurement of gas pressure; casting tests. Discussion of results. Practical conclusions.

Ausgangssituation

Kupfer und Kupfergußlegierungen gehören seit langem zu den etablierten Gußwerkstoffen. Sie werden dann eingesetzt, wenn eine Kombination spezieller technischer Eigenschaften, z. B. Gießbarkeit, Korrosionsbeständigkeit, Zerspanbarkeit und Leitfähigkeit, gefordert wird. Haupteinsatzgebiete sind Armaturen, Pumpen und Gleitlager. Mit einem prozentualen Anteil von ca. 80 % gehören die Kupfer-Zink- und Kupfer-Zinn-Blei-Legierungen zu den Kupfergußlegierungen, die in der Industrie am häufigsten zum Einsatz kommen [1].

Der verbreitetste Vertreter aus der Gruppe der Kupfer-Zinn-Blei-Legierungen ist die Legierung CuSn5Zn5Pb5-C (alte Bezeichnung: G-CuSn 5 ZnPb bzw. Rg 5). Im Gegensatz zu Kupfer-Zink-Legierungen hat z. B. CuSn5Zn5Pb5-C mit ca. 150 K ein sehr breites Erstarrungsintervall [2, 3] (CuZn37Al1-C nur ca. 10 K). Aufgrund dieses großen Erstarrungsintervalls und des breiartigen Erstarrungstyps sind diese Legierungen für Gasporosität und Mikrolunke besonders anfällig [2, 3].

In den letzten Jahren wurden insbesondere auf dem Gebiet der Kernbinder und Kernüberzugstoffe (Schichten) die konventionellen Verfahren weiterentwickelt bzw. modifiziert, um z. B. durch Reduzierung der Bindergehalte, der Zugabe von Additiven oder Umstellung der Schlichteart (von Alkohol- auf Wasserbasis) eine Verbesserung der Gußqualität bzw. der Umweltverträglichkeit zu erreichen.

Obwohl durch diese Veränderungen typische Gußfehler wie Blattrippen und Penetration vermieden werden konnten, traten verstärkt Fehler wie Blasen und Poren auf.

Gasblasen in Gußstücken werden zum einen durch die in der gießfertigen Schmelze gelösten Gase, die bei der Erstarrung ausgeschieden werden, verursacht. Zum anderen können Gase während der Formfüllung und Erstarrung durch den Formstoff sowie durch die Sandkerne und deren Schichten in die Schmelze eingetragen werden [2].

Die Problematik der Entstehung von Gasporosität in Kupfergußlegierungen durch bereits während des Schmelzens gelöste Gase ist allgemein bekannt [2, 4, 5]. Bei diesen Gasen handelt es sich um Wasserstoff und Sauerstoff. Solche Poren entstehen während der Erstarrung der Schmelze durch die damit verbundene Verringerung der Gaslöslichkeit.

Durch die Umstellung von gas- und ölbeheizten Öfen auf elektrisch betriebene Schmelzöfen läßt sich diese Fehlerursache bereits deutlich einschränken [5]. Auch der Einfluß verunreinigter Einsatzmaterialien (Blockmetall, Kreislaufmaterial) auf den Gashaushalt von Kupfergußlegierungen ist bekannt.

Der Sauerstoffgehalt von Schmelzen aus Kupferlegierungen wird durch Desoxidation der Schmelze mit Phosphorkupfer reduziert. Die jeweils optimale Zugabemenge an CuP hängt dabei von den speziellen Schmelz- und Gießbedingungen ab.

Wasserstoff kann nur indirekt, d. h. nicht über chemisches Abbinden wie beim Desoxidieren entfernt werden. Da Sauerstoff und Wasserstoff in der Schmelze miteinander im Gleichgewicht stehen, wird zunächst ein höherer Ausgangssauerstoffgehalt eingestellt, um den Wasserstoff auszutreiben [6]. Das Sauerstoff-Wasserstoff-Gleichgewicht wird dabei zur Entgasung gezielt verschoben. Anschließend erfolgt dann die Desoxidationsbehandlung, um den Sauerstoffgehalt wieder abzusenken.

Der Einfluß von Formstoffen, insbesondere von Naßgußsand, auf die Entstehung von Gasporosität ist bei Eisen- und Stahlgießereien hinreichend bekannt [7]. Neben dem Wasser (Formstofffeuchte) haben u. a. auch der Anteil an Glanzkohlenstoffbildnern, der Kernaltsandzulauf und die Gasdurchlässigkeit des Sandes einen Einfluß [8]. Es gibt

Dr.-Ing. W. Stets, wissenschaftlicher Mitarbeiter, IfG Institut für Gießereitechnik GmbH, Düsseldorf; Dipl.-Ing. U. Korz-Gottschalk, Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, Fachbereich 8; Dipl.-Ing. J. Vennemann, seinerzeit Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, Fachbereich 8; Dr.-Ing. G. Wolf, Leiter des IfG Institut für Gießereitechnik GmbH, Düsseldorf.

verschiedene Untersuchungen, in denen durch Gasdruckmessungen versucht wurde, diesen Einfluß für Eisen- und Aluminiumgußwerkstoffe zu quantifizieren. Dabei wurden entweder Probekörper in eine Metallschmelze getaucht [9] oder Druckmessungen an der Unterseite von Gießformen durchgeführt [10, 11].

Arbeiten, in denen speziell die Vorgänge der Porenbildung durch Naßgußsand bei Kupfergußwerkstoffen untersucht wurden, sind nicht bekannt. Nach Ansicht von [2] wird das flüssige Metall durch alle Formstoffe begast. Solange die Schmelze niedrige Gasgehalte aufweist, können trotzdem fehlerfreie Gußstücke hergestellt werden. Der Einfluß des Formstoffes auf die Gasblasenentstehung dürfte gegenüber dem des Kernformstoffes geringer sein, da entstehende Gase bei ausreichender Gasdurchlässigkeit in der Regel nach außen abgeführt werden können. Bei Kernen, deren Oberfläche überwiegend von Schmelze bedeckt ist, sind die Verhältnisse jedoch anders.

Im Bereich der Kupfergußlegierungen werden die Kerne nach dem Hot-Box-, Maskenform- und zu einem großen Teil nach dem Cold-Box-Verfahren hergestellt. Das Sand-Kunstharz-Gemisch wird bei diesem Verfahren mit Hilfe basischer Katalysatoren (tertiärer Amine) ausgehärtet. Cold-Box-Mischungen kann als Additiv Holzmehl oder Eisenoxid zugegeben werden. Der Holzmehlzusatz vermindert die Neigung zu Sandausdehnungsfehlern (Blattrippen) und fördert den Zerfall des Kerns nach dem Gießen [12]. Nach [13] kann der dadurch verringerten Neigung zur Blattrippenbildung eine höhere Neigung zur Gasblasenbildung gegenüberstehen.

Intensiv wurde die Gasentstehung bei Kernen der unterschiedlichsten Bindersysteme in einem IfG-Forschungsprojekt untersucht [14]. Allerdings handelt es sich bei dem Gußwerkstoff um Gußeisen und nicht um Kupferguß. In Hinblick auf die Gasabgabe ergab sich danach folgende Reihung der Bindemittel (steigende Gasabgabe: Cold-Box, Furanharz, Hot-Box, Wasserglas, Maskenformstoff, Ölsand).

In [15] ist in einer Übersicht dargestellt, daß Gasblasenfehler durch den Bindergehalt, die Zugabe von Additiven und durch Schichten entstehen können. Quantitative Angaben werden nicht gemacht.

Bei der Prüfung im Rahmen von [16] wird eine Probe des Formstoffes in einem Röhrenofen erhitzt, so daß sich das Bindemittel zersetzt bzw. verbrennt, und die damit verbundene Druckerhöhung gemessen. Dies entspricht der gegenwärtig üblichen Gasabgabemessung bei Formstoffen und Bindemitteln. Bei dieser Art der Gasabgabemessung wird die Dynamik der Aufheißvorgänge beim Kontakt von Schmelze und Kern nicht berücksichtigt.

In einigen Arbeiten wurde die Gasentstehung in Kernen beim Kontakt mit einer Schmelze sehr eingehend untersucht. So wurden sowohl nach [17] als auch nach [18] nach demselben Prinzip zylindrische Probekörper aus verschiedenen Kernformstoffen in Gußeisenschmelzen getaucht. Es zeigte sich, daß der zeitabhängige Druckverlauf im Kern mehrere Maxima aufweist. Welches Maximum Gasblasen verursachen kann, hängt in erster Linie von der Wanddicke (Zeitpunkt bzw. Geschwindigkeit der Erstarrung) des Gußstückes ab. Die Höhe der Maxima nimmt mit abnehmender Sandkorngröße (geringere Gasdurchlässigkeit der Sande H31 → H32 → F34 → G36), steigendem Bindergehalt sowie dem Zusatz von Additiven zu. Cold-Box-Kerne zeigen den geringsten Gasdruck, Kerne aus Maskenformstoff den höchsten.

Höhere Qualitätsansprüche an die Gußoberfläche führen dazu, daß immer mehr Kerne geschichtet werden. Das trifft sowohl auf Cold-Box- als auch auf Hot-Box-Kerne, in einzelnen Fällen auch auf Kerne aus Maskenformstoff zu. Aus Gründen der Arbeitssicherheit und Umweltverträglichkeit werden immer häufiger die Alkoholschichten durch Wasserschichten abgelöst [19].

Im Zusammenhang mit dem zunehmenden Einsatz von Wasserschichten kommt es immer wieder zu Problemen mit Porosität in Gußstücken [20]. Gerade ungenügend getrocknete Wasserschichten können aufgrund der Wasserstoffempfindlichkeit von Kupfergußwerkstoffen das Auftreten von Porosität verursachen.

Schlichteüberzüge bieten keinen durchgreifenden Schutz vor stark gasenden Kernbindern [21]. Auch in dieser Arbeit wird angegeben, daß sich die Probleme bei der Anwendung von Wasserschichten verstärken. Hier kann die Entstehung von Porosität infolge der Feuchte in den Kernen durch Anwendung von Wasserschichten ein grundlegendes Problem sein. Der Trocknung von wasserschichteten Kernen im konventionell beheizten Ofen oder im Mikrowellenofen kommt daher eine zentrale Bedeutung zu.

Allgemeine Ausführungen zur Entstehung von Gasblasen im Zusammenhang mit Schichten werden in [22] gegeben. Aus den Überzugstoffen selbst können Gase freigesetzt werden. Dies hängt vom Gehalt an Kristallwasser und/oder Carbonaten ab. Die Abführung dieser Gase ist von der Gasdurchlässigkeit von Form und Kern abhängig. Als Grundvoraussetzung für die Entstehung von Gasblasen wird die Überschreitung des metallostatistischen Druckes in der Grenzfläche Kern/Schmelze angegeben.

Die Auswirkung von Schichten auf den Gasdruck im Inneren von Kernen wurde in [17, 18] untersucht. Demnach kann eine Schlichteschicht (z. B. auf der Basis verschiedener Silicate) das erste kurz nach dem Eintauchen des Probekörpers in Gußeisenschmelzen entstehende Gasdruckmaximum unterdrücken. Das zweite Maximum, das einen größeren Einfluß auf die Gasblasenentstehung haben soll, kann allerdings durch Schichten deutlich stärker werden.

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt begrenzte sich aufgrund einer Prioritätensetzung des begleitenden Arbeitskreises auf den Einfluß des Systems Kernformstoff-Schlichte auf die Entstehung von oberflächennahen Fehlern in Cu-Sn-Zn-(Pb)-Gußwerkstoffen. Insbesondere waren die Auswirkungen von Binderart und den Parametern für die Kerntrocknung sowie die Art der aufgetragenen Kernschichten zu prüfen. Auf der Grundlage dieser Arbeiten sollten Empfehlungen erarbeitet werden, die die Gießereien in die Lage versetzen, den Ausschuß durch Oberflächenfehler zu senken bzw. zu vermeiden.

Durchführung und Auswertung der Versuche

Zur Festlegung praxisnaher Versuchsparameter wurde eine Umfrage bei Gießereien durchgeführt, in der wesentliche Fertigungsbedingungen bei der Herstellung von Gußstücken aus der Kupfer-Zinn-Blei-Legierung CuSn5Zn5Pb5-C erfaßt wurden (**Tabelle 1**). An dieser Fragebogenaktion beteiligten sich sechs Gießereien. Aus den enthaltenen Angaben wurden die für die Versuchsdurchführung notwendigen Parameter herausgearbeitet und zusammengefaßt (**Tabelle 1**). **Tabelle 1** gibt weiterhin Auskunft über das Versuchsprogramm zur Herstellung der Probekörper und Kerne.

Tabelle 1. Fertigungsbedingungen und Versuchsparameter zur Herstellung von Gußstücken aus CuSn5Zn5Pb5-C sowie zur Durchführung der Versuchsreihen

Table 1. Production conditions and test parameters for the manufacture of CuSn5Zn5Pb5-C castings as well as implementation of the test series

Fragestellung zu den Fertigungsbedingungen	Parameter
Gußwanddicke	4, 8, 12 und 16 mm
Formverfahren	bentonitgebundener Naßgußsand; Verdichtung durch Pressen
Kernwanddicke (Durchm.)	10 mm
Kernsande	H32, H33, F33
Kernherstellungsverfahren	Cold-Box-, Hot-Box- und Maskenformverfahren
Zusätze Bindemittel in %	<i>Cold-Box-Verfahren:</i> Teil 1/Teil 2 = 0,5 %/0,5 %, 0,65 %/0,65 % und 0,8 %/0,8 % <i>Hot-Box-Verfahren:</i> Harz/Härter = 1,6 %/0,27 % und 2,0 %/0,34 % <i>Maskenformverfahren:</i> Binderanteil 3,5 %
Zugabe von Additiven in %	<i>Cold-Box-Verfahren:</i> Holzmehl 0,5 % <i>Hot-Box-Verfahren:</i> Eisenoxid 2,0 % Flügelmischer
Mischertyp	
Katalysator (Cold-Box)	DMEA; Gießversuche TEA
Schlichte	<i>Cold-Box- und Hot-Box-Verfahren:</i> Wasserschichten auf Magnesiumsilicat-Graphit-Basis und Aluminiumsilicat-Basis <i>Maskenformverfahren:</i> Pulverschlichte (Trockenschlichte)
Schlichteverfahren	Tauchen
Schlichtedicke	≈ 300 µm und ≈ 600 µm
Trocknungsverfahren	Lufttrocknung (RT, 72 h), Ofentrocknung (200 °C, 2 h), Mikrowellentrocknung (15 min)
Kernlagerzeiten	nach Kernschießen: 0 h, 1 h und 24 h nach Kernschichten: 0 h, 8 h und 24 h nach Kerntrocknung: 1 h und 24 h
Schmelzaggregat	Induktionstiegelofen
Schmelzebehandlung	Desoxidation mit Phosphorkupfer Abdeckmittel Granulat
Gießtemperatur	1160 °C
Gußfehler	überwiegend Gasblasen

Untersuchung der Einzelkomponenten

Sand. Zur Herstellung der Probekörper und Kerne wurden Quarzsande der Sorte H32, H33 und F33 verwendet (als mittlere Korngrößen wurden gemessen: 0,30 mm, 0,28 mm bzw. 0,22 mm).

Schichten. Die für die Versuche verwendeten Schichten lassen sich folgendermaßen charakterisieren (Herstellerangaben):

- Aluminiumsilicatschlichte (kurz: AISil): Wasserschlichte auf Aluminiumsilicatbasis mit Keramikanteil; Feststoff: 47 %; geringe Gasdurchlässigkeit;
- Magnesiumsilicatschlichte (kurz: MgSil): Magnesiumsilicat-Graphit-Basis; Feststoff: 33 %; mittlere Gasdurchlässigkeit;
- Pulverschlichte (kurz: Pul): anorganische Silicate und Oxide mit organischem Bindemittel; speziell für Maskenformstoff.

An der Trockensubstanz aller drei Schichten wurden Gasabgabemessungen bei 800 °C durchgeführt, von zwei Schichten auch Messungen des Glühverlustes. Die Entwicklung des spezifischen Gasvolumens in Abhängigkeit von der Zeit ist in **Bild 1** aufgeführt. Die niedrigsten Werte zeigt die Aluminiumsilicatschlichte. Der Glühverlust der Aluminiumsilicatschlichte betrug 6,8 %, der der Magnesiumsilicatschlichte 21,4 %.

Binder. An Sandmischungen aller drei Bindersysteme wurde thermogravimetrisch die Masseänderung einer Sandprobe mit Binder mit zunehmender Temperatur (bis 1000 °C) gemessen.

Die Abhängigkeit der Gasentwicklung des Bindemittels von der Temperatur hat Einfluß auf den Zeitpunkt der Gasblasenentstehung. In **Bild 2** ist die Masseänderung einer Hot-Box-Sandmischung (2,34 % Binder) dargestellt. Bei ca. 250 und 500 °C ist die Geschwindigkeit der Masseabnahme mit steigender Temperatur am größten, d. h., bei diesen Temperaturen ist die Gasentstehung am stärksten. Die Verdampfung des Lösemittels (Wasser) wurde bei dieser Prüfung nicht mit erfaßt.

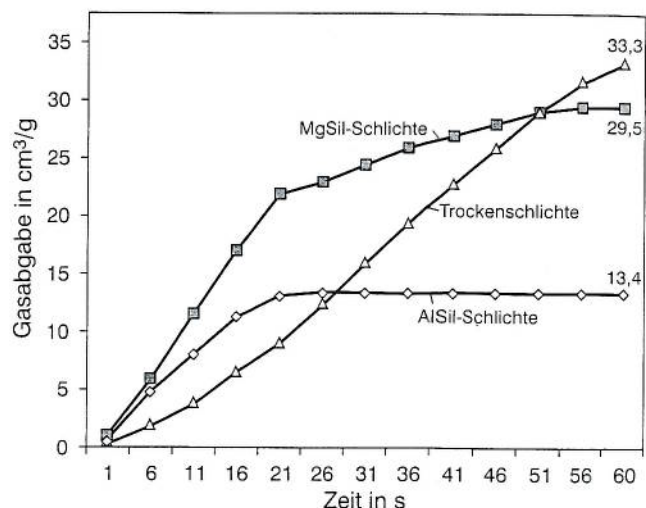


Bild 1. Gasabgabe der Trockensubstanz verschiedener Schichten

Figure 1. Gas evolution from the dry substance of various coatings

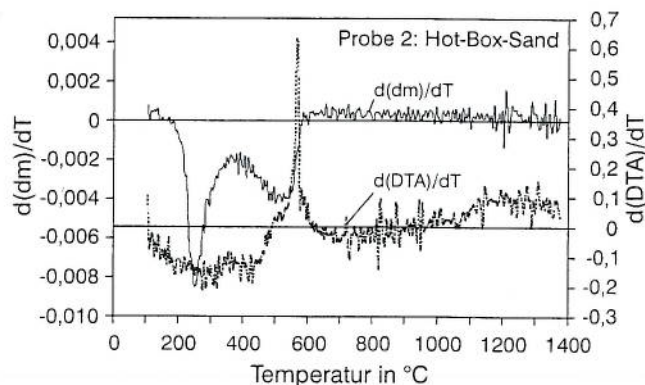


Bild 2. Massenänderung einer Hot-Box-Sandmischung in Abhängigkeit von der Temperatur

Figure 2. Change in mass of a hot-box sand mixture in relationship to temperature

Gasabgabemessungen

Durchführung. Das verbreitetste Verfahren zur Bestimmung der Gasfreisetzung von Formstoffen bei hohen Temperaturen ist die Messung (Volumen- oder Druckmessung) in einem Laborofen. Die Gasabgabe der geschichteten bzw. ungeschichteten Probekörper wurde in einem Prüfgerät – ein widerstandsbeheizter Röhrenofen und eine Einrichtung zur computergestützten Gasdruckerfassung – gemessen. Dazu wurde der zerriebene Kernformstoff (mit bzw. ohne Schlichte) auf 800 °C erhitzt und bei dieser Temperatur gehalten (Gesamtdauer Erhitzen + Halten ca. 60 s).

Ergebnisse. Eine Auswahl von zeitabhängigen Gasabgaben verschiedener Kernproben zeigt **Bild 3**. Es ist zu erkennen, daß von den ungeschichteten Proben der Cold-Box-Kern die niedrigste (3,7 cm³/g), der Hot-Box-Kern die nächsthöhere (4,8 cm³/g) und der Kern aus Maskenformstoff die höchste Gasabgabe hat (7,2 cm³/g). Aluminiumsilicatschlichte führt bei den Cold-Box- und Hot-Box-Kernen zu einer moderaten Zunahme der Gasabgabe. Magnesiumsilicatschlichte erhöht demgegenüber die Gasabgabe des Cold-Box-Probekörpers erheblich (7,7 cm³/g). Die Gasabgabewerte aller Probekörper bewegen sich im Bereich der in **Bild 3** dargestellten Werte.

Die Abhängigkeit der Gesamtgasabgabe von Cold-Box-Probekörpern mit 1,6 % Bindergehalt von der Schlichteart und -trocknung zeigt **Bild 4**. Die luftgetrockneten Proben weisen eine höhere Gasabgabe auf als die im Mikrowellenofen getrockneten. Die im konventionellen Ofen getrockneten Proben haben die geringste Gasabgabe. Ähnliche Verhältnisse ergeben sich beim Vergleich der unterschiedlich getrockneten Hot-Box-Probekörper. Die Gasabgabemessungen an geschichteten Cold-Box-Probekörpern zeigen, daß die Proben mit Magnesiumsilicatschlichte eine höhere Gasabgabe aufweisen als diejenigen mit Aluminiumsilicatschlichte.

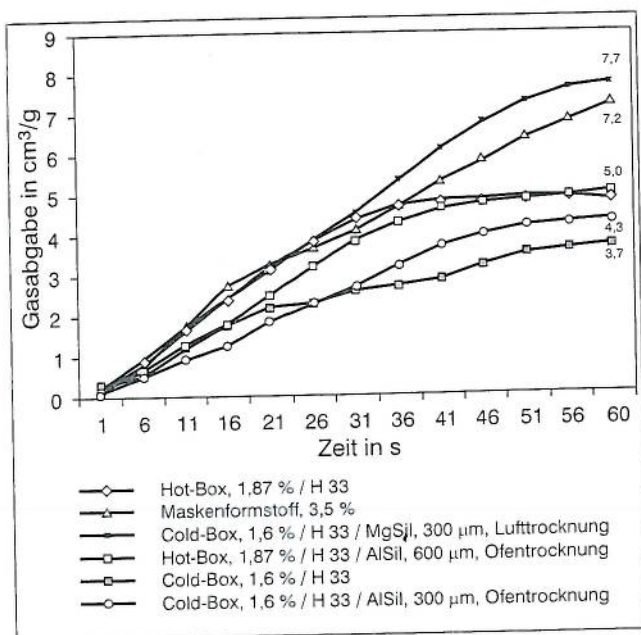


Bild 3. Gasabgabe verschiedener Probekörper aus Kernformstoffofen

Figure 3. Gas evolution from various samples of core materials

Gasdurchlässigkeitsmessung

Durchführung. Die Gasdurchlässigkeit von Kernen hat entscheidenden Einfluß darauf, ob beim Gießen entstehende Kerngase abgeführt werden können. Daher wurde für eine weitere Beurteilung aller zu untersuchenden Kernsandsysteme die Gasdurchlässigkeit in Anlehnung an VDG-Merkblatt P41 bestimmt.

Ergebnisse. Eine Zusammenfassung der ermittelten Gasdurchlässigkeitswerte für Cold-Box- und Hot-Box-Probekörper ist in **Bild 5** dargestellt. Wie die Versuchsergebnisse zeigen, hat der Formgrundstoff hinsichtlich seiner mittleren Korngröße (Sandsorten H32, H33 und F33) einen deutlichen Einfluß auf die Gasdurchlässigkeit. Die Bindermengenzugaben haben demgegenüber keinen Einfluß auf die Gasdurchlässigkeit (nicht im Bild dargestellt). Aus diesem Grund lassen sich die Bindersysteme unter Berücksichtigung der Versuchssandsorte miteinander vergleichen (**Bild 5**), auch wenn sie mit unterschiedlichen Binderanteilen hergestellt wurden.

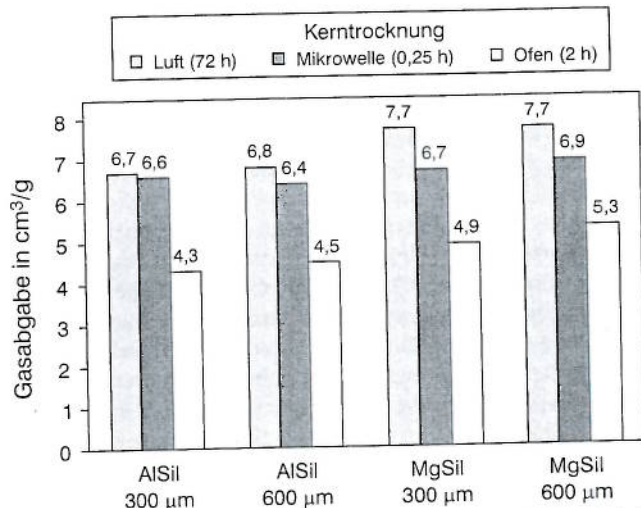


Bild 4. Gasabgabe von Cold-Box-Probekörpern in Abhängigkeit von Schlichteart und -trocknung

Figure 4. Gas evolution from cold-box samples in relationship to type of coating and drying

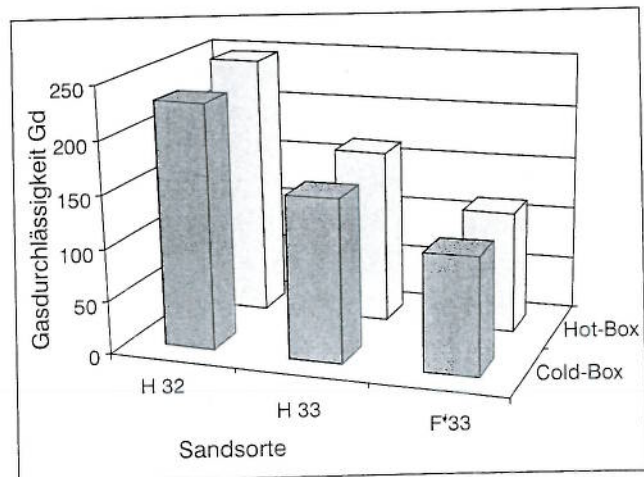


Bild 5. Gasdurchlässigkeit von Cold-Box- und Hot-Box-Probekörpern in Abhängigkeit von der Sandsorte

Figure 5. Gas permeability of cold-box and hot-box samples in relationship to types of sand

Das Aufbringen von Magnesiumsilicatschichte (geringe Gasdurchlässigkeit) auf Hot-Box-Probekörper (Binderanteil 1,87 %; Sandsorte H33) verringert die Gasdurchlässigkeit von 164 Einheiten auf ca. 4. Die Aluminiumsilicatschichte mit nach Herstellerangaben mittlerer Gasdurchlässigkeit ergab bei den Hot-Box-Probekörpern mit 10 einen etwas höheren Wert.

Die Gasdurchlässigkeitszahl der Probekörper aus Maskenformstoff liegt aufgrund der niedrigeren Korngröße deutlich unter der aus anderen Bindersystemen hergestellter Probekörper. Die Mittelwert lag bei 68. Das Schichten der Kerne aus Maskenformstoff mit der Pulverschichte minderte den Wert nur geringfügig auf etwa 57.

Gasdruckmessung

Durchführung. Die Messung der Gasabgabe von Kernprobekörpern nach dem herkömmlichen Verfahren ergab relativ niedrige Werte in einem engen Wertebereich. Aus diesem Grund wurden mit Kernprobekörpern verschiedener Zustände Tauchversuche in Anlehnung an [17] durchgeführt. Bei diesen Versuchen wurden zylindrische Probekörper aus Kernformstoff (geschichtet und ungeschichtet) in eine Schmelze aus CuSn5Zn5Pb5-C mit einer Temperatur von 1100 °C getaucht. Die dafür konstruierte und gebaute Tauchvorrichtung zeigt **Bild 6**. Der Probekörper ($l = 225 \text{ mm}$, $d = 30 \text{ mm}$) – in **Bild 6** über dem Ofen – wurde pneumatisch mit einer konstanten Geschwindigkeit (ca. 200 mm/s) in die Schmelze getaucht. In den Probekörper ist ein Stahlröhrchen eingeformt, dessen Öffnung sich im Formstoff ca. 15 mm über dem Probekörperende befindet. Durch dieses Stahlröhrchen werden die im Kern infolge der Erhitzung entstehenden Kerngase abgeleitet und wird der Gasdruck mit Hilfe einer Druckmeßzelle erfaßt.

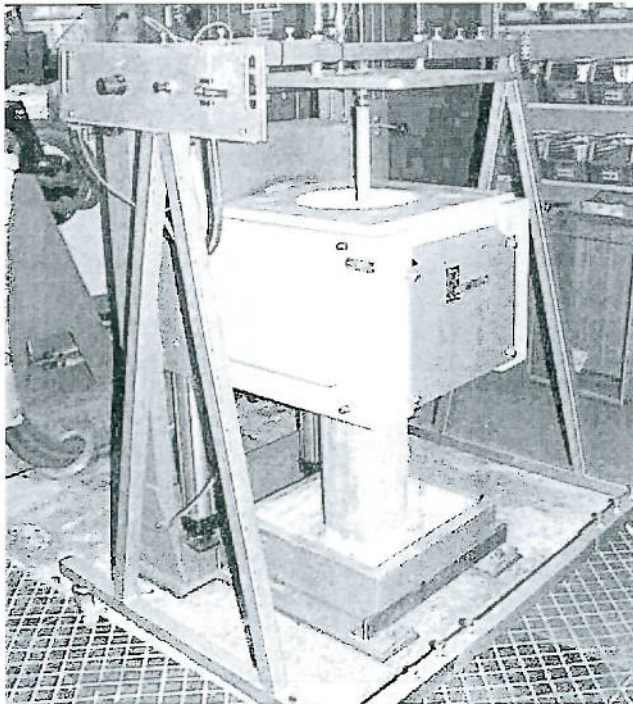


Bild 6. Tauchvorrichtung mit Induktionsofen
Figure 6. Immersion equipment with induction furnace

Ergebnisse. In **Bild 7** ist die Entwicklung des Gasdruckes in Abhängigkeit von der Tauchzeit für einige mit verschiedenen Bindemitteln hergestellte Probekörper dargestellt. Deutlich ist zu erkennen, daß der Probekörper aus Maskenformstoff den höchsten Gasdruck entwickelt, was hauptsächlich auf den hohen Bindemittelgehalt von 3,5 %, aber auch auf die niedrige Gasdurchlässigkeit zurückzuführen ist. Den geringsten Gasdruck entwickelt der Cold-Box-Probekörper.

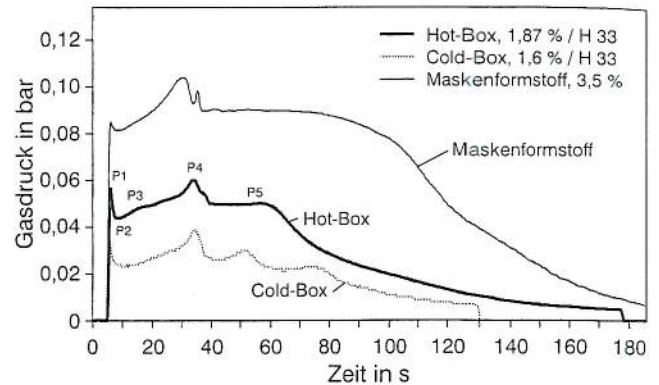


Bild 7. Druckverlauf in Tauchproben verschiedener Bindersysteme

Figure 7. Pressure curve in immersion samples of various binder systems

Der Gasdruck entwickelt sich für die ausgewählte Form der Probekörper bei Maskenformstoff auf Werte bis zu 104 mbar. Gemeinsames Merkmal aller Gasdruckverläufe ist, daß es direkt nach Eintauchen des Probekörpers zu einem steilen Druckanstieg und einem ersten Maximum (Punkt P1) kommt. Der Gasdruck geht nach diesem Maximum wieder zurück (P2). Anschließend kommt es zu einem erneuten stetigen Druckanstieg bis hin zu einem weiteren Maximum (P4). Vor und nach diesem in der Regel höchsten Maximum P4 kann es zur Bildung weiterer niedrigerer Maxima kommen (Punkte P3 und P5). Die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Gasdruckverläufe wurden unter Nutzung der Punkte P1 und P4 ausgewertet.

Bei einem Hot-Box-Probekörper wurde während eines Tauchversuches der Temperaturverlauf gemessen. Im Bereich von 15 bis 30 s nach dem Eintauchen lag die Temperatur bei ca. 100 °C konstant, d. h., hier verdampfte das im Hot-Box-Binder enthaltene Wasser. Das Ende dieses Temperaturbereiches (ca. 30 bis 35 s) entspricht dem Zeitpunkt des Maximums P4 (**Bild 7**).

Um das Gasbildungsvermögen des Bindemittels unabhängig vom Bindemittelgehalt zu ermitteln, wurden Probekörper aus Cold-Box- und Hot-Box-Kernsand mit jeweils gleichem Bindemittelgehalt hergestellt, auch wenn diese Gehalte teilweise nicht praxisüblich sind. **Bild 8** zeigt den Vergleich der verschiedenen Maxima P1 und P4. Es ist deutlich zu erkennen, daß sowohl beim niedrigeren (1,60 %) als auch beim höheren (2,34 %) Binderanteil die Gasabgabe des Hot-Box-Probekörpers höher ist als die des Cold-Box-Probekörpers.

Der Vergleich der Gasdrücke von Probekörpern mit verschiedenen Bindergehalten zeigt, daß der Gasdruck (bei gleicher Sandsorte) mit zunehmendem Bindergehalt (Cold-Box: 1,0 → 1,6 %; Hot-Box: 1,87 → 2,34 %) in beiden Maxima ansteigt. **Bild 9** zeigt diesen Sachverhalt. Bei den Hot-Box-Probekörpern ist dieser Unterschied geringer.

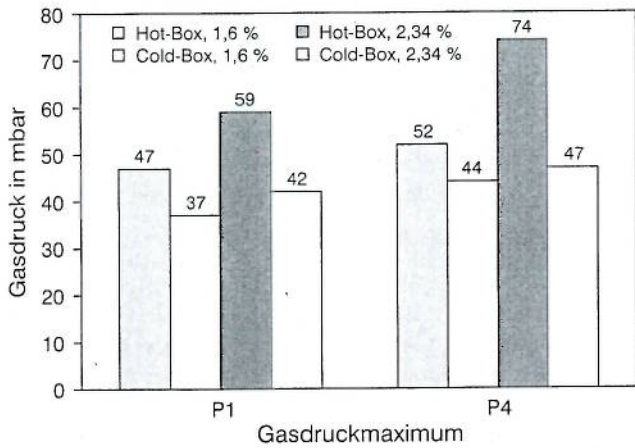


Bild 8. Vergleich der Gasdruckmaxima P1 und P4 von Hot-Box- und Cold-Box-Tauchproben mit vergleichbaren Bindergehalten

Figure 8. Comparison of maximum gas pressures P1 and P4 of hot-box and cold-box immersion samples with comparable binder contents

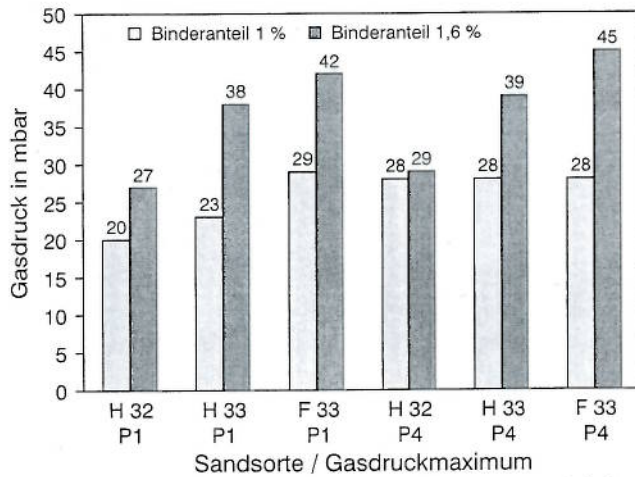


Bild 9. Vergleich der Druckmaxima P1 und P4 von ungeschichteten Hot-Box- und Cold-Box-Tauchproben für verschiedene Sandsorten (H32, H33, F33) und Binderanteile (1,0 % bzw. 1,6 %)

Figure 9. Comparison of maximum odours P1 and P4 of uncoated hot-box and cold-box immersion samples for various types of sand (H32, H33, F33) and binder percentages (1.0 and 1.6 %)

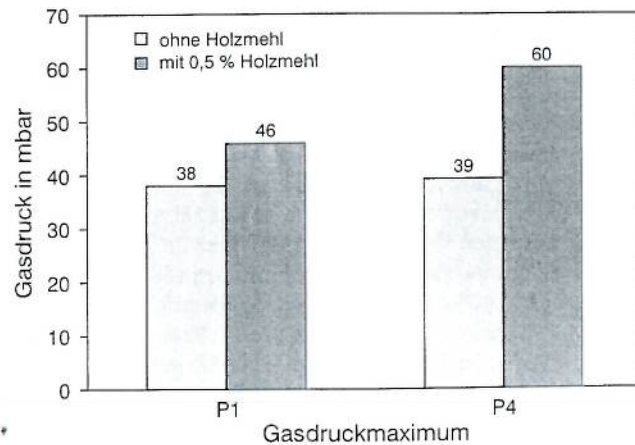


Bild 10. Vergleich der Druckmaxima P1 und P4 von ungeschichteten Cold-Box-Tauchproben (Binderanteil 1,6 %, H33) mit und ohne Holzmehlzugabe

Figure 10. Comparison of maximum odours P1 and P4 of uncoated cold-box immersion samples (1.6 % binder, H33) with and without addition of wood flour

Mit abnehmender mittlerer Korngröße und dementsprechend abnehmender Gasdurchlässigkeit der Sandsorten H32, H33 und F33 nimmt der Gasdruck in der Tauchprobe ebenfalls zu (Bild 9). Die Ursache dürfte hauptsächlich darin liegen, daß sich der entwickelnde Gasdruck über den nicht in der Schmelze befindlichen Teil des Probekörpers bei geringerer Gasdurchlässigkeit langsamer abbaut.

Der Zusatz von Additiven zum Kernsand führt in unterschiedlichem Maße zu einer Erhöhung des Gasdruckes. Bei Eisenoxidzusatz (2 %) zu Hot-Box-Kernen kommt es vor allem zur Zunahme des ersten Maximums P1. Durch Zugabe von 0,5 % Holzmehl zur Cold-Box-Sandmischung wurden die beiden Maxima P1 und P4 erhöht (Bild 10).

Die Druckverläufe einer ungeschichteten Cold-Box-Tauchprobe und von mit Aluminiumsilicat bzw. Magnesiumsilicat geschichteten Cold-Box-Tauchproben ist in Bild 11 dargestellt. Es ist zu erkennen, daß bei beiden geschichteten Tauchproben zu jedem Zeitpunkt der Gasentwicklung ein höherer Druck vorliegt. Dies gilt insbesondere für Magnesiumsilicatschichte. Der Auftrag von Magnesiumsilicatschichte führt bei Cold-Box-Tauchproben z. B. im Maximum P4 fast zu einer Verdreifachung des Druckes. Die Dichte der Schichte hat keinen Einfluß auf die Höhe des Gasdruckes.

Bei Hot-Box-Tauchproben, die mit Aluminiumsilicat geschichtet wurden, ist ein anderer Druckverlauf zu beobachten (Bild 12). Das Anfangsmaximum P1 ist bei der geschichteten Tauchprobe niedriger als bei der ungeschichteten. Der Druck in der geschichteten Tauchprobe nimmt mit fortschreitender Tauchzeit zu und erreicht zeitverzögert nahezu den Wert von P4 der ungeschichteten Probe.

Der Einfluß der Trocknungsart auf den Gasdruck von geschichteten Hot-Box- und Cold-Box-Tauchproben ist ähnlich wie bei der Gasabgabeprobe. Es ist erkennbar, daß nach der Ofentrocknung in der Regel ein geringerer Gasdruck zu verzeichnen ist als nach der Mikrowellentrocknung.

Aus dem Vergleich verschiedener Gasdruckverläufe wird ersichtlich, daß die Anwesenheit einer Schichtschicht auf der Tauchprobe zu einer gewissen Verzögerung

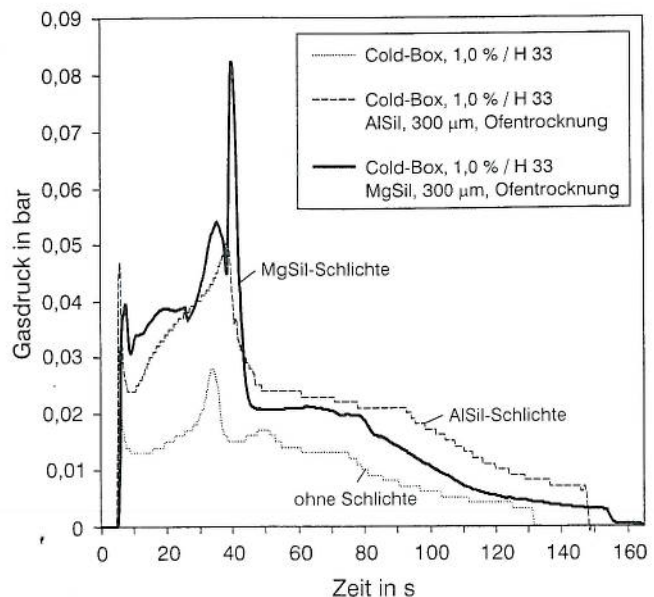


Bild 11. Druckverlauf in geschichteten und ungeschichteten Cold-Box-Tauchproben

Figure 11. Pressure curve in coated and uncoated cold-box immersion samples

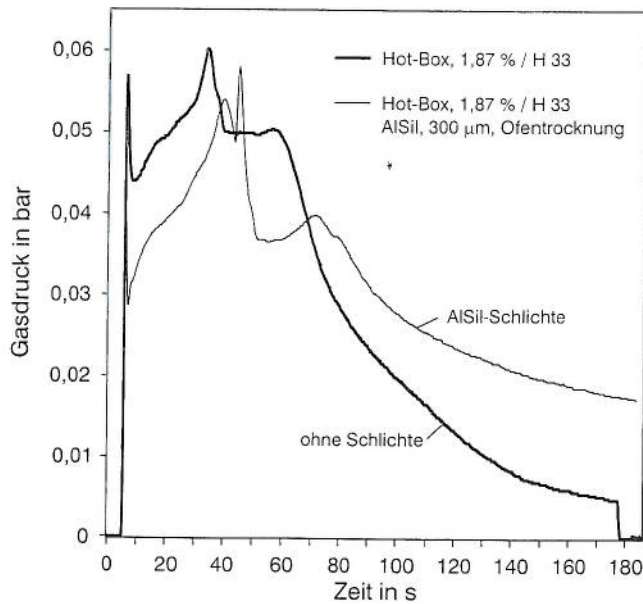


Bild 12. Druckverlauf in geschichteten und ungeschichteten Hot-Box-Tauchproben

Figure 12. Pressure curve in coated and uncoated hot-box immersion samples

der Gasentwicklung führt. Die Gasdruckmaxima P1 und P4 treten bei geschichteten Cold-Box- und Hot-Box-Tauchproben im Vergleich zu ungeschichteten um 5 bis 9 s verzögert auf.

Gießversuche

Durchführung. Für die Untersuchung der Entstehung von Gasblasen unter Gießbedingungen wurden hohlzylindrische Gußproben (Innendurchmesser 10 mm (Kerndurchmesser), Probenlänge 130 mm) mit verschiedenen Wanddicken (4, 8, 12 bzw. 16 mm) hergestellt. In Bild 13 ist die simulierte Temperaturverteilung einer halben Gußtraube mit Einguß, Anschnittsystem und 16-mm-Gußproben bei der Abkühlung dargestellt.

Die Formen wurden aus bentonitgebundenem Formsand hergestellt. Das Schmelzen der Kupfergußlegierung erfolgte

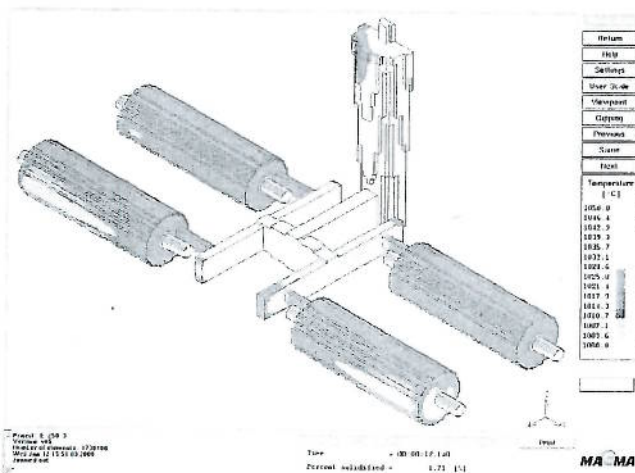


Bild 13. Simuliertes Temperaturfeld einer Gußtraube mit 16-mm-Gußproben, 12 s nach Ende der Formfüllung (halbierte Darstellung)

Figure 13. Simulated temperature field of a casting cluster with 16 mm cast samples 12 s after the end of mould filling (halved outline)

in einem Induktionstiegelofen, das Gießen über eine Gießeinrichtung mit Stopfen. Die Gießtemperatur betrug 1160 °C. Bei der Herstellung der Kerne wurde ausschließlich mit der Sandsorte H33, ohne Additive, mit einer Schlichteschichtdicke von ca. 300 µm und mit Ofen- oder Mikrowellentrocknung gearbeitet. Die Proben wurden mit Hilfe der Röntgendurchstrahlungsprüfung auf Gasblasen untersucht.

Ergebnisse. In Bild 14 ist das Durchstrahlungsbild von mit Cold-Box- und Hot-Box-Kernen hergestellten 16-mm-Proben mit und ohne Gasblasen dargestellt. Bild 15 zeigt das zugehörige Diagramm der Auswertung aller 16-mm-Proben (Cold-Box-, Hot-Box- und Maskenkerne) mit dem Anteil verschiedener Fehlerarten in Abhängigkeit von den Kernherstellungsbedingungen.

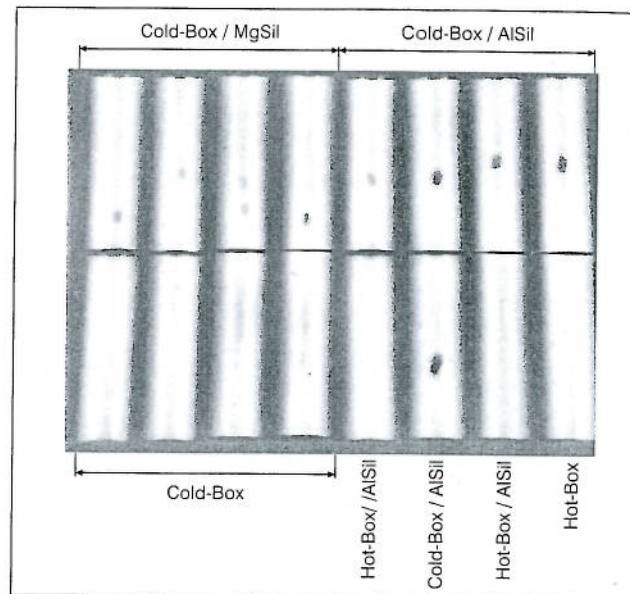


Bild 14. Durchstrahlungsbild von 16-mm-Gußproben parallel zur Teilungsebene (Cold-Box- und Hot-Box-Kerne mit 1,6 bzw. 2,34 % Binder; geschichtete Kerne mikrowellentrocknet)

Figure 14. Radiography of 16 mm cast samples parallel to the parting line (cold-box and hot-box cores with 1.6 and 2.34 % binder; coated cores with microwave drying)

Die Auswertung der Gußproben aller Gießversuche ergibt, daß die Proben, die mit ungeschichteten Cold-Box-Kernen hergestellt wurden, fehlerfrei sind. Mit gewissen Einschränkungen (12-mm-, 8-mm-Probe) gilt dies auch für die ungeschichteten Hot-Box-Kerne. Bei den 16-mm-Proben (Bild 15) wurden auch mit mit AISil geschichteten Hot-Box-Kernen fehlerfreie Gußproben hergestellt. Ein Unterschied zwischen den mit Magnesiumsilicat und Aluminiumsilicat geschichteten Cold-Box-Kernen wie bei den Tauchversuchen (MgSil-geschichtete Tauchproben mit deutlich stärkerer Gasentwicklung) ist hinsichtlich der Fehlergröße und -anzahl kaum festzustellen.

Die Hot-Box-Kerne, geschichtet oder ungeschichtet, haben gegenüber den geschichteten Cold-Box-Kernen einen relativ niedrigen Fehleranteil. Bei den 16-mm-Proben traten bei den Hot-Box-Kernen keine Gasblasen auf (Bild 15). Die höchsten Fehleranteile weisen die Gußproben auf, die mit geschichteten und ungeschichteten Kernen aus Maskenformstoff hergestellt wurden (Bild 15).

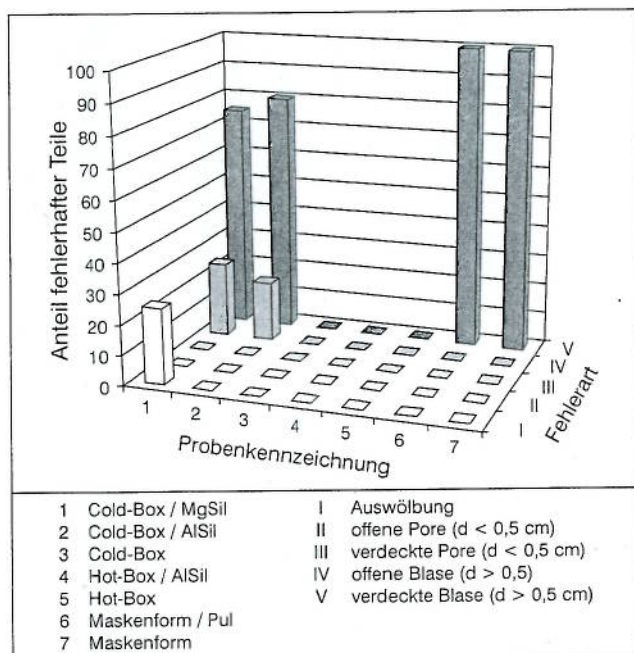


Bild 15. Fehlereinteilung der 16-mm-Gußproben (Cold-Box- und Hot-Box-Kerne mit 1,6 bzw. 2,34 % Binder; geschichtete Kerne, mikrowellengetrocknet/ Maskenformstoffkerne)

Figure 15. Classification of defects in the 16 mm cast samples (cold-box and hot-box cores with 1.6 and 2.34 % binder; coated cores, microwave dried/shell moulded cores)

Diskussion

Alle Untersuchungen haben ergeben, daß Probekörper bzw. Kerne, die aus Maskenformstoff hergestellt wurden, im Vergleich zu ungeschichteten Cold-Box- und Hot-Box-Probekörpern bzw. -Kernen die stärkste Gasentwicklung aufweisen. Eine Ursache dafür ist der mit Abstand höchste Binderanteil (3,5 %) sowie die niedrigste Gasdurchlässigkeit (68 Einheiten). Die niedrige Gasdurchlässigkeit verzögert den Abbau des Gasdruckes im Kern über die Kernmarken. Kerne aus Maskenformstoff verfügen daher über ein hohes Potential zur Gasblasenbildung in Gußstücken.

Der Vergleich des Gasdruckes von Tauchproben mit vergleichbaren Gehalten an Cold-Box- und Hot-Box-Bindern (jeweils 1,60 % und 2,34 %) zeigt, daß ungeschichtete Hot-Box-Kerne eine stärkere Gasentwicklung aufweisen als ungeschichtete Cold-Box-Kerne und somit ein höheres Potential zur Gasblasenbildung bieten. Die Ursache für die höhere Gasabgabe des Hot-Box-Binders dürfte im höheren Anteil vergasbarer Bestandteile (Wasseranteil 20 bis 30 %) liegen.

Bei allen Untersuchungen von Cold-Box- und Hot-Box-Probekörpern konnte der zu erwartende Sachverhalt festgestellt werden, daß die Gasentwicklung (Gasabgabe und Gasdruck) mit ansteigendem Bindergehalt (Cold-Box-Zugabemenge: 1,0 %, 1,3 %, 1,6 %; Hot-Box-Zugabemenge: 1,87 %, 2,34 %, 2,50 %) zunimmt, d. h., die Wahrscheinlichkeit der Gasblasenbildung nimmt zu.

Die Gasentwicklung der Kerne wird von der Sandkörnung (mittlere Korngröße) nicht beeinflusst. Allerdings bestimmt die mittlere Korngröße die Gasdurchlässigkeit und entscheidet damit, ob das entstehende Gas schneller oder langsamer über die Kernmarken abgeführt wird.

Sowohl in den Cold-Box- als auch in den Hot-Box-Tauchproben nimmt der Gasdruck in den Kernen in der

Regel mit abnehmender mittlerer Korngröße (H32 → 0,30 mm; H33 → 0,28 mm; F33 → 0,22 mm) zu, d. h., das Gas wird langsamer durch den Probekörper abgeführt. Die Auswahl einer größeren Sandsorte verringert dementsprechend die Wahrscheinlichkeit der Gasfehlerbildung.

Die Gasentwicklung in Cold-Box-Kernen wird durch Holzmehlzusatz deutlich verstärkt. Die Ursache für die Druckerhöhung gegenüber der Mischung ohne Additiv ist die Verbrennung bzw. Verkokung des Holzmehlzusatzes und seines Imprägniermittels. Hinsichtlich der Gasfehlerbildung ist ein Zusatz von Holzmehl daher als ungünstig einzustufen.

Die angewendeten Schichten (auf Magnesiumsilicat- und Aluminiumsilicatbasis) haben auf die Gasentwicklung der Probekörper bzw. Kerne unterschiedliche Auswirkungen. Der Einfluß der Schichteschichten auf die Gasentwicklung in Abhängigkeit von Zeit bzw. von Aufheizung ist bei den verschiedenen Bindersystemen unterschiedlich. Geschichtete Cold-Box-Probekörper weisen gegenüber den ungeschichteten immer eine höhere Gasentwicklung auf. Das bedeutet, daß bei Verwendung der in dieser Arbeit untersuchten Schichten die Gefahr der Entstehung von Gasblasen zunimmt. Diese höhere Gasentwicklung kann nicht ausschließlich mit der Trägerflüssigkeit (Wasser) der Schichte zusammenhängen, da sie auch noch nach einer Ofentrocknung bei 200 °C zu beobachten ist.

Eine Erklärung dafür ist, daß sich der Gasentwicklung der Probekörper die der Trockensubstanz der Schichte überlagert und zu einem zusätzlichen Druckaufbau führt. Die Gasabgabe der Aluminiumsilicatschichte beträgt 13,4 cm³/g. Die deutlich höhere Gasabgabe der Magnesiumsilicatschichte (29,5 cm³/g) erklärt die Beobachtung, daß die Probekörper mit Magnesiumsilicatschichte im Vergleich zu solchen mit Aluminiumsilicatschichte eine deutlich höhere Gasentwicklung aufweisen.

Die sehr hohe Gasabgabe der Magnesiumsilicatschichte wird durch den Grundstoff Magnesiumsilicat verursacht. Magnesiumsilicat (z. B. Talk) enthält Kristallwasser, das bei ca. 800 °C freigesetzt wird. Je nach Herkunft kann Talk auch Carbonate enthalten, die sich bei hohen Temperaturen zersetzen [23] und somit auch zur Gasentwicklung beitragen.

Einen nachweisbaren Einfluß auf die Gasentwicklung von geschichteten Probekörpern hat die Trocknungsart. Bei mit Aluminiumsilicat geschichteten Cold-Box-Probekörpern ist die Gasentwicklung nach Lufttrocknung bei Raumtemperatur stärker als nach Mikrowellentrocknung. Nach Ofentrocknung bei 200 °C ist die Gasentwicklung am geringsten. Ebenso verhält es sich mit Hot-Box-Probekörpern, die mit Aluminiumsilicat geschichtet wurden. Bei mit Magnesiumsilicat geschichteten Probekörpern ist dieser Unterschied nicht so deutlich.

Die Ursache für die im Vergleich zur Ofentrocknung bei 200 °C etwas geringere Wirksamkeit der Mikrowellentrocknung könnte darin liegen, daß die Kerne bei der Mikrowellentrocknung nur Temperaturen um 50 °C erreichen. Bei diesen Temperaturen werden die auf die Mikrowellen nicht ansprechenden organischen Lösemittel des Bindemittels nur unvollständig ausgetrieben.

Kriterien zur Gasblasenbildung

Mit Hilfe der Kenntnis der Temperatur im Kern, bei der die größte Gasentstehung stattfindet, ist eine Vorhersage

des Zeitpunktes des größten Gasdruckes in realen Kernen möglich. Bei Hot-Box-Kernen beträgt diese Temperatur 100 °C. Sie liegt im inneren Bereich der angewendeten Tauchproben zwischen 15 und 30 s nach Tauchbeginn vor. Eine Vorausbestimmung des Zeitintervalls, innerhalb dessen in einem beliebigen Kern diese 100 °C vorliegen, ist mit Hilfe der Gieß- und Erstarrungssimulation möglich.

Neben dem Zeitpunkt sind aber auch die Höhe des Druckmaximums sowie der metallostatistische Druck und der Erstarrungsbeginn der Schmelze für die Entstehung von Gasblasen maßgeblich.

In **Bild 16** ist der Druckverlauf im Kern sowie in der umgebenden Schmelze in Abhängigkeit von der Zeit gemeinsam qualitativ dargestellt. Der Verlauf des metallostatistischen Druckes der Schmelze (Höhe oberhalb des Kernes) ist für eine dicke Gußwand und eine dünne Gußwand dargestellt. Der anfängliche höhere Druck (p_m'), der durch den Einguß verursacht wird, wirkt nur, solange der Anschnitt flüssig ist. Danach ist nur die Wandhöhe über dem Kern (h) für den metallostatistischen Druck (p_m) an der Oberseite des Kernes maßgeblich.

Mit Beginn der Erstarrung zum Zeitpunkt t_{TL} nimmt der Widerstand der Schmelze gegenüber einer Blasenbildung zu. Mit zunehmendem Anteil an kristallisiertem Feststoff in der Schmelze wird das Eindringen einer Gasblase in die Schmelze schwerer. Dieser Sachverhalt ist in **Bild 16** mit einer scheinbaren Druckerhöhung der Schmelze kenntlich gemacht.

Der Gasdruckverlauf im Kern ist in **Bild 16** für einen dünneren und einen dickeren Kern dargestellt. Hier sind nur die Gasdruckmaxima P_1 und P_4 (vgl. **Bild 7**), p_{P_1} bzw. p_{P_4} , berücksichtigt. Aus dieser Darstellung lassen sich zwei Kriterien für die kernsandbedingte Entstehung von Gasblasen in Gußstücken herleiten.

Zeitkriterium

Kern. Das für die Blasenentstehung verantwortliche Gasdruckmaximum p_{P_4} wird im Falle von Hot-Box-Kernen im letzten Abschnitt der Wasserverdampfung, d. h. zum Ende des 100-°C-Plateaus, zum Zeitpunkt t_{P_4} erreicht.

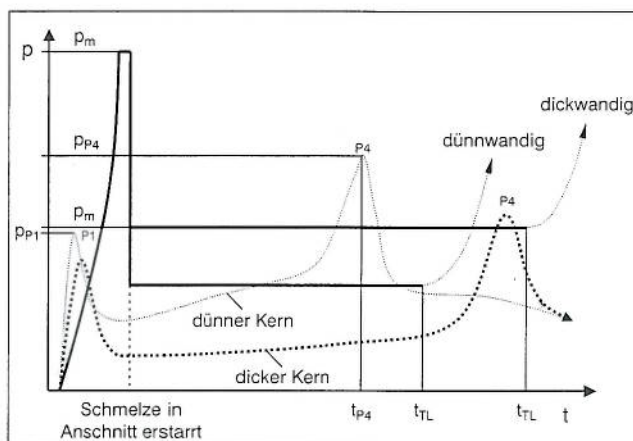


Bild 16. Druckverlauf in Abhängigkeit von der Zeit in der Schmelze (dünnwandiges/dickwandiges Gußstück) und im Kern (dünnere/dicker Querschnitt)

Figure 16. Pressure curve in relationship to time in the melt (thin wall/thick wall castings) and in the core (thinner/thicker cross-section)

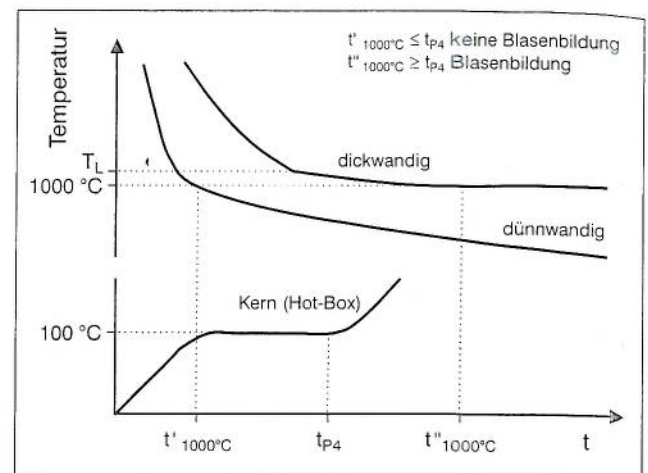


Bild 17. Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Zeit in der Schmelze (dünnwandiges/dickwandiges Gußstück) und im Kern.

Figure 17. Temperature curve in relationship to time in the melt (thin wall/thick wall casting) and in the core

Schmelze. Das Eindringen einer Gasblase aus dem Kern in die Schmelze wird nach Beginn der Erstarrung (Erreichen der Liquidustemperatur T_L zum Zeitpunkt t_{TL} ; für CuSn5Zn5Pb5-C 1030 °C) zunehmend schwerer. Es kann angenommen werden, daß bei einer Temperatur von 1000 °C ca. 50 % der Schmelze erstarrt sind. Es wird weiterhin angenommen, daß nach Erreichen dieser Temperatur, nach der Zeit $t_{1000°C}$, das Eindringen einer Gasblase in die breiartig erstarrende Legierung kaum noch möglich ist.

Aus den oben aufgeführten Darlegungen läßt sich das erste Kriterium zur Gasblasenbildung aufstellen:

$$t_{P_4} \leq t_{1000°C}$$

In **Bild 17** sind die Abkühlungskurven von Schmelzen in Gußstücken verschiedener Wanddicke sowie die Aufheizkurve in der Mitte eines Hot-Box-Kernes dargestellt. Sie verdeutlichen die zeitlichen Bedingungen $t_{P_4} < t'_{1000°C}$ (Blasenbildung) für ein dickwandiges und $t_{P_4} > t'_{1000°C}$ (keine Blasenbildung) für ein dünnwandiges Gußstück.

Entsprechend den in **Bild 16** qualitativ dargestellten Druckverhältnissen kann es z. B. in einem dünnwandigem Gußstück mit einem dicken Kern nicht zu Blasenbildung kommen.

Die rechnerische Gieß- und Erstarrungssimulation erlaubt die Vorhersage des Zeit-Temperatur-Verhaltens an jeder Stelle des Gußstückes, der Gießform und des Kernes vor, während und nach der Erstarrung. Mit Hilfe derartiger Programme ist es daher möglich, die Erfüllung des Zeitkriteriums für die Gasblasenbildung zu überprüfen.

Druckkriterium

Kern. Für die Vorhersage des Druckverlaufes in Kernen liegen im Gegensatz zum Temperaturverlauf keine Berechnungsgrundlagen bzw. Modelle vor. Das gilt insbesondere für die Höhe des Maximums p_{P_4} . Der Verlauf der Druckkurve in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur bzw. die Höhe von p_{P_4} wird durch folgende gleichzeitig ablaufenden Vorgänge des Druckaufbaus (Gasentwicklung) und Druckabbaus (Gasableitung) im Kern bestimmt:

- Binderverbrennung/-pyrolyse
Wärme- und Volumeneffekte
- Verdampfung von Lösemitteln
Wärme- und Volumeneffekte
- Rekondensation
Wärme- und Volumeneffekte
- Wärmetransport
- Gas- und Kondensattransport

Der sich durch diese Vorgänge entwickelnde Gasdruck wird durch folgende Eigenschaften des Kerns direkt beeinflusst:

$$p_{P4} = f$$

(Gasentwicklung: Binderart, Binderanteil, Additiv, Schlichte, Kerntrocknungsart;

Gasableitung: Kernmarkenquerschnitt, Kernentlüftung, Gasdurchlässigkeit, Kerngeometrie)

Eine realitätsnahe numerische Beschreibung der Gasbildung und -ableitung in einem Kern in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur dürfte aufgrund dieser parallel ablaufenden und sich überlagernden Vorgänge in naher Zukunft nicht zu erwarten sein.

Schmelze. Die Druckverhältnisse im flüssigen Metall werden durch die Höhe h der Schmelze über dem Kern sowie durch die Dichte der Schmelze ρ bestimmt (der Einfluß der Eingußhöhe auf den metallostatistischen Druck wird wegen des zeitigen Erstarrens der schmalen Anschnitte nicht berücksichtigt):

$$p_m = h \cdot \rho$$

Aus den obigen Darlegungen zu den Druckverhältnissen sowie aus **Bild 16** läßt sich das zweite Kriterium zur Gasblasenbildung aufstellen. Der Druck im Maximum P_4 muß in Anlehnung an die Kriterien der Pinholebildung nach [7] größer sein als der metallostatistische Druck p_m , zuzüglich dem Druck, der zur Überwindung des Einflusses der Oberflächenspannung der Schmelze notwendig ist:

$$p_m + 2 \cdot \sigma / r < P_{P4}$$

σ = Oberflächenspannung der Schmelze

r = Radius der Gasblase

Schlußfolgerungen für die Praxis

Zusammenfassend lassen sich hinsichtlich der Verursachung von Gasblasen durch Kerne folgende Schlußfolgerungen ziehen:

- Mit zunehmender Korngröße des Sandes verringert sich die Neigung zur Gasblasenbildung (F33 \rightarrow H33 \rightarrow H32).
- Zunehmende Binderanteile erhöhen die Gefahr der Gasblasenbildung.
- Maskenformstoff hat die höchste Gasentwicklung. Ein Pulverschlichteüberzug auf dem Kern hat dabei keinen Einfluß.
- Bei ungeschichteten Cold-Box-Kernen besteht im Vergleich zu Hot-Box-Kernen und Kernen aus Maskenformstoff die geringste Wahrscheinlichkeit der Gasblasenbildung.

- Schichten können einen erheblichen Anteil an eigener Gasentwicklung aus ihrer Trockensubstanz aufweisen (insbesondere Magnesiumsilicatschlichte). Ein Teil dieses Gases wird beim Kontakt mit dem Flüssigmetall spontan freigesetzt.
- Geschichtete Cold-Box-Kerne führen zu einem deutlich höheren Gasdruck und dadurch eher zu Gasblasen. Dies kann insbesondere bei Schichten auf Magnesiumsilicatbasis auftreten.
- Die Schichtedicke hat keinen signifikanten Einfluß auf die Gasentwicklung der Kerne.
- Holzmehl als Additiv in Cold-Box-Kernen erhöht die Gasentwicklung.
- Eisenoxid in Hot-Box-Kernen kann bei dünnwandigen Gußstücken die Bildung von Gasblasen begünstigen. Mit einer Schlichteschicht (Aluminiumsilicatschlichte) läßt sich diese Gefahr verringern.
- Die Ofentrocknung von geschichteten Kernen ist hinsichtlich der anschließenden verbliebenen Gasentwicklung am wirkungsvollsten (gefolgt von Mikrowellen- und Lufttrocknung).

Aus den Untersuchungsergebnissen läßt sich schließen, daß hinsichtlich der Vermeidung von Gasblasen die Verwendung von ungeschichteten Cold-Box-Kernen mit möglichst niedrigem Bindergehalt (z. B. 1,0 %) und möglichst grobem Sand (Sorte H33 oder gröber) empfehlenswert ist. Werden höhere Anforderungen an die Oberflächenqualität (Rauheit) gestellt, ist bei Cold-Box-Kernen der Verwendung einer Kernschlichte eine feinere Sandsorte (z. B. F33) vorzuziehen. Falls die Kerne zur Verbesserung der Oberflächenqualität trotzdem geschichtet werden müssen, ist statt einer Magnesiumsilicatschlichte eine Aluminiumsilicatschlichte anzuwenden.

Bei Hot-Box-Kernen stellen mit Aluminiumsilicatschlichte überzogene und ofengetrocknete Kerne mit geringem Bindergehalt (z. B. 1,9 %) sowie mit grobem Kernsand (z. B. H32) in bezug auf die Neigung zur Gasblasenbildung und die Minimierung der Oberflächenrauheit einen akzeptablen Kompromiß dar.

Die Einflußfaktoren im Hinblick auf die Bildung von Gasblasen in Gußstücken sind sehr vielfältig (**Bild 18**). Um die Vielschichtigkeit der Einflüsse auf die Entstehung von Gasblasen in Gußstücken zu verdeutlichen und die erzielten Ergebnisse systematisch dem Nutzer zur Verfügung zu stellen, wurde ein rechnergestütztes Informationssystem erarbeitet.

Das Informationssystem ermöglicht es, beim Auftreten von Gasblasen in Gußstücken die Fertigungsbedingungen in der Gießerei zielgerichtet und schnell mit den Versuchsbedingungen und den damit erzielten Ergebnissen zu vergleichen. Es kann somit eingeschätzt werden, ob die vorliegenden Fertigungsbedingungen das Auftreten von Gasblasen begünstigen. Auf dieser Grundlage lassen sich schnell Abhilfemaßnahmen festlegen.

* * *

Die vorliegenden Untersuchungen wurden mit Unterstützung durch den Verein Deutscher Giessereifachleute vom Bundesministerium für Wirtschaft in Bonn über die AiF Ar-

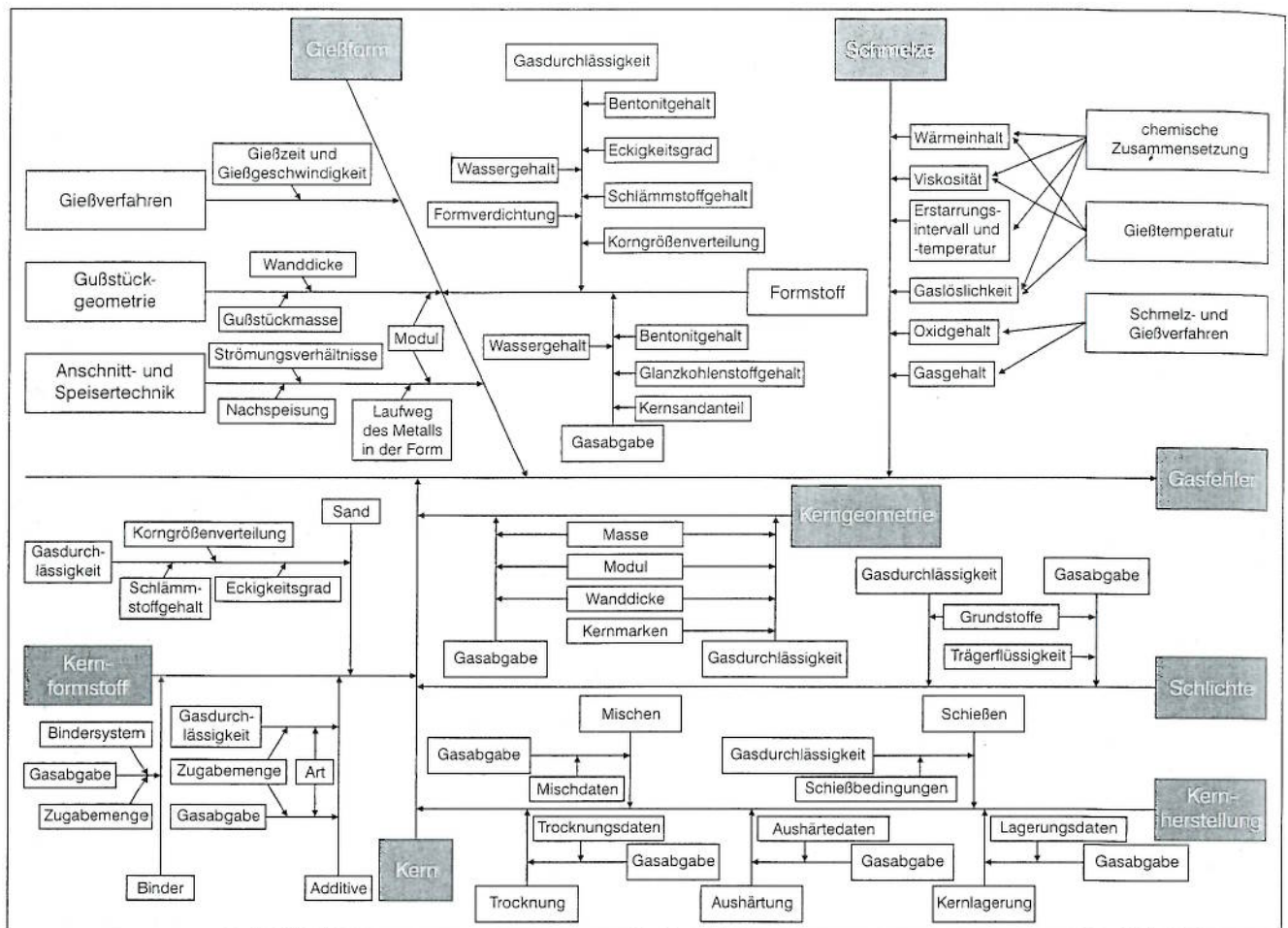


Bild 18. Ursache-Wirkung-Diagramm (nach Ishikawa) für die Entstehung von Gasfehlern in Gußstücken

Figure 18. Cause-effect diagram (according to Ishikawa) for the occurrence of gas defects in castings

beitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e. V., Köln, bezuschußt (AiF-Forschungsvorhaben Nr. 11318 N). Hierfür sei an dieser Stelle gedankt. Weiterhin sei an dieser Stelle dem VDG-Fachausschuß Kupfergußwerkstoffe, dem VDG-Arbeitskreis Oberflächennahe Fehler in Gußstücken aus Kupfergußlegierungen sowie den beteiligten Gießereien gedankt, die dieses Forschungsprojekt ermöglicht bzw. begleitet haben.

Zusammenfassung

Auf der Grundlage einer Datenerfassung in verschiedenen Gießereien wurde festgestellt, daß Gasfehler in Gußstücken aus CuSn5Zn5Pb5-C hauptsächlich durch Kerne verursacht werden. Es handelt sich bei diesen Fehlern um Gasblasen, die sowohl im Gußstückinnern als auch in der Nähe der Oberfläche auftreten.

Zur Untersuchung des Einflußkomplexes Kern/Kernüberzug (Schlichte) wurden verschiedene Arten von Probekörpern und Kernen aus Cold-Box- und Hot-Box-Sand sowie aus Maskenformstoff hergestellt. Es wurden dabei die Fertigungsparameter Sandsorte, Binderanteil, Additiv, Schlichteart und -dicke, Schlichtetrocknung, Kernlagerzeit und Gußstückwanddicke variiert. Diese Proben und Kerne wurden in verschiedenen Laborversuchen (Gasabgabemessung, Gasdurchlässigkeitsmessung, Gasdruckmessung) sowie in Gießversuchen untersucht. Schwerpunkt war dabei die Beurteilung der Gasentwicklung in Abhängigkeit von

diesen Parametern und die Auswirkung auf die Möglichkeit der Gasblasenbildung in Gußstücken aus CuSn5Zn5Pb5-C.

Es hat sich gezeigt, daß mit abnehmender Sandkorngröße, zunehmendem Binderanteil und Additivzusatz die Gefahr der Gasblasenbildung in Gußstücken zunimmt. Maskenformstoff hat im Vergleich zu anderen Bindersystemen die höchste Gasentwicklung. Schichten, insbesondere auf Magnesiumsilicatbasis, können zu einem erheblichen Anteil an der Gasentwicklung beitragen und daher die Gasblasenbildung begünstigen. Geschichtete Cold-Box-Kerne haben ein höheres Gasblasenbildungspotential als ungeschichtete Kerne. Die Ofentrocknung von geschichteten Kernen ist im Vergleich zur Mikrowellen- und Lufttrocknung am wirkungsvollsten.

Mit der Kenntnis der temperaturabhängigen Vorgänge im Kern (z. B. Gasdruckentwicklung durch Verdampfung von Lösemitteln/Wasser) und der Kriterien zur Gasblasenbildung kann die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Gasblasen in Gußstücken abgeschätzt werden. Dabei ist die Anwendung der rechnergestützten Gieß- und Erstarrungssimulation zur Berechnung der Aufheizung des Kernes und der Erstarrung der Schmelze notwendig.

Schrifttum

- [1] Guß aus Kupfer und Kupferlegierungen. Technische Richtlinien-GDM, VDG, DKI. Düsseldorf 1982.
- [2] Brunhuber, E: Guß aus Kupferlegierungen. Fachverlag Schiele & Schön. Berlin 1986.

- [3] Kupfer-Zinn-, Kupfer-Zinn-Zinn- und Kupfer-Blei-Zinn-Gußlegierungen. DKI Informationsdruck. Berlin 1990.
- [4] Starr, C.: Foundry Trade Journal 145 (1971) Nr. 9, S. 335-344.
- [5] Gavin, S. A.: Foundry Trade Journal 167 (1993) Nr. 10/24, S. 732-735.
- [6] Smith, L.: Giesserei-Praxis (1990) Nr. 11, S. 175-181.
- [7] Baier, J.; Köppen, M.: Handbuch der Gußfehler. IKO Erbslöh. Marl 1994.
- [8] Hasse, S.: Guß- und Gefügefehler. Verlag Schiele & Schön. Berlin 1999.
- [9] Dietert, H. W.; Fairfield, H. H.; Brewster, F. S.: Transactions of the American Foundrymen's Society (1948) S. 528-535.
- [10] Roesch, K.: Giesserei 40 (1953) Nr. 22, S. 581-585.
- [11] Ivanov, D. P.; Kuzovkov, V. K.; Medvedev, Ya. I.: Russian Castings Production (1968) S. 110-113.
- [12] Bindernagel, I.: Formstoffe und Formverfahren in der Gießereitechnik. Giesserei-Verlag. Düsseldorf 1983.
- [13] Smith, R. M., Traeger, W. R.: Giesserei-Praxis 18 (1990) S. 291-299.
- [14] IfG-Forschungsbericht E-169: Gesteuerte Gasabgabe harzgebundener Kerne unter Gießbedingungen. Abschlußbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 5603. Düsseldorf 1985.
- [15] Becker, U.: Giesserei-Erfahrungsaustausch (1993) Nr. 2, S. 57-58.
- [16] Ornst, J.: Kernbedingte Gasblasen in Gußstücken. In: 28. Internationaler Giesserei-Kongress. Wien 1961.
- [17] Levelink, H. G.; Julien, F. P. M. A.; De Man, H. C. J.: Giesserei 67 (1980) Nr. 5, S. 109-115.
- [18] Bartsch, D.; Linke, T.; Seeger, K.: In: CIATF Technical Forum, Düsseldorf 1999. Vortr. Nr. 11.
- [19] Giesserei 81 (1994) Nr. 11, S. 324-328.
- [20] Koch, C.: Giesserei 85 (1998) Nr. 12, S. 100-102.
- [21] Boenisch, D., Lotz, W.: Giesserei 72 (1985) Nr. 4, S. 83-88.
- [22] VDG-Seminar: Schichten von Sandformen und Kernen. Düsseldorf 1997.
- [23] Rudolph, S.: Giesserei-Praxis (1994) Nr. 8, S. 165-178.