

VDG - MERKBLATT

**Volumendefizite von Gußstücken aus
Nichteisenmetallen**

**P 201
Mai 2002**

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Geltungsbereich	2
1.1	Allgemeines	2
1.2	Legierungen	2
1.3	Gießverfahren	2
2	Erläuterungen	2
2.1	Porosität	2
2.1.1	Schwindungsporosität (Lunker)	2
2.1.2	Gasporosität	3
2.2	Sonstige Fehlstellen	3
3	Mögliche Auswirkungen von Porosität	3
3.1	Statische Festigkeit	3
3.2	Dynamische Festigkeit	4
3.3	Allgemeine Dichtheit und Dichtflächen	4
3.4	Oberfläche und Wärmebehandlung	4
4	Beurteilung der Porosität von Gußteilen	4
5	Beschreibung der Porosität	5
5.1	Porenklassen	5
5.1.1	Bezeichnung der Porenklassen	5
5.1.2	Bezugsflächen für die Porenklassen	6
5.1.3	Bestimmung der Porenklasse	7
5.1.4	Beispiele für Bezeichnungen der Porenklasse	7
5.2	Prüfmöglichkeiten	8
5.2.1	Durchstrahlungsprüfung mit Bildverstärker	8
5.2.2	Ultraschallprüfung	8
5.2.3	Dichtheitsprüfung	8
5.2.4	Sichtprüfung	9
5.2.5	Dichteprüfung	9
5.2.6	Schliff- und Schnittprüfung	9
6	Eintragungen in Zeichnungen	9
6.1	Kollektive Eintragung	9
6.2	Eintragungen für definierte Bereiche	9
7	Literaturhinweise, Normen, Richtlinien	10
Anhang 1	Definition weiterer Fehlstellen	12
Anhang 1.1	Kaltfließstellen	12
Anhang 1.2	Aufschweißungen (Klebstellen)	12
Anhang 1.3	Ziehriefen	12
Anhang 1.4	Grate	12
Anhang 1.5	Brandrisse	12
Anhang 1.6	Weitere Merkmale gegossener Bauteile	12
Anhang 2	Gefüge mit Beispielen der Porenklassen 0, 4, und 8	13
Anhang 3	Beispiele unterschiedlicher Porosität im allgemeinen und in Abhängigkeit der Bezugsflächen (informativ)	14

Von den Fachausschüssen "Druckguß" und "Leichtmetallguß" im VDG erstellte Richtlinie.

1 Geltungsbereich

1.1 Allgemeines

Dieses VDG-Merkblatt gilt für Gußstücke aus Nichteisenmetallen (NE-Metallen). Ziel dieses Merkblattes ist die Beschreibung von Anforderungen an die Gußqualität sowie deren einheitliche Eintragung in technische Unterlagen.

Der Geltungsbereich dieses Merkblattes ist auf innere und äußere Volumendefizite – Porosität – beschränkt. Sonstige Fehlstellen wie z.B. Einfallstellen, Kaltfließstellen, Aufschweißungen, Ziehriefen, Grate und Brandrisse, sind nicht Bestandteil dieses Merkblattes.

Porosität kann durch eine Zusammenarbeit von Konstrukteur und Gießer minimiert werden.

1.2 Legierungen

Der Geltungsbereich dieses Merkblattes beschränkt sich auf Gußstücke aus Aluminium-, Magnesium- und Zink-Basislegierungen nach den einschlägigen Normen (DIN EN 1753 „Magnesium“, DIN EN 1706 „Aluminium“, DIN EN 12844 „Zink“).

1.3 Gießverfahren

Der Inhalt dieses VDG-Merkblattes bezieht sich auf das Druckgießverfahren einschließlich artverwandter Sondergießverfahren, wie Squeeze-casting und Thixocasting sowie auf Sand- und Kokillengießverfahren und Varianten dieser Verfahren.

2 Erläuterungen

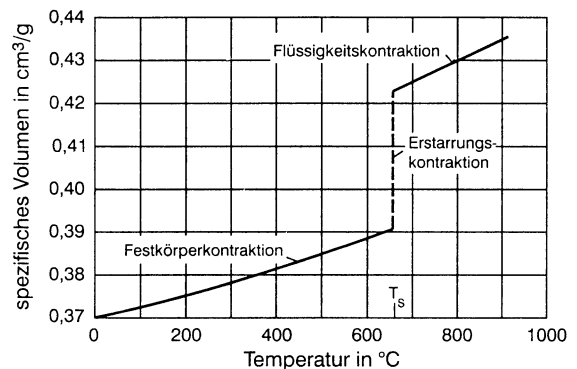
2.1 Porosität

2.1.1 Schwindungsporosität (Lunker)

Schwindungsporen, auch Lunker genannt, haben ihren Ursprung in den thermophysikalischen Eigenschaften der Gußwerkstoffe bei der Erstarrung. Die Herstellung lunkerfreier Gußteile ist nicht möglich.

Metallische Werkstoffe haben im flüssigen und im festen Aggregatzustand unterschiedliche Dichte und somit unterschiedliches spezifisches Volumen. Beim Übergang vom flüs-

sigen in den festen Zustand tritt ein Volumensprung auf (Bild 1). Dieser ist bei den gängigen Nichteisenmetallegerungen bei der Abkühlung negativ (Volumendefizite, Erstarrungskontraktion).



T_s = Schmelzpunkt

Bild 1 Temperaturabhängigkeit des spezifischen Volumens von Aluminium

Da in der Regel die Randschale und der Anguß eines Teiles früh erstarren, bildet sich im Innern des Gußteiles ein Volumendefizit. Dies ist die Ursache für Hohlräume im Gußteil. Durch geeignete erstarrungsgerechte Konstruktion – Vermeiden von Wanddickenunterschieden – des Gußteiles und optimale Auslegung des Gießsystems läßt sich dieses Volumendefizit minimieren.

Lunker weisen eine mehr oder minder stark zerklüftete, kavernenartige Form auf. Ist die Tragfähigkeit der Randschale geringer als die bei der Schwindung auftretenden Spannungen, kommt es zu Schwindungs- oder auch Warmrissen. Diese können, wie auch die Lunker, bei geeigneter Gußteilgestaltung und Formauslegung durch eine entsprechende Nachspeisung betroffener Bereiche ausgeheilt werden. Besonders warmrißanfällig sind Legierungen mit einem breiten Erstarrungsintervall.

Wenn Lunker und Poren mit dem normalsichtigen Auge festgestellt werden können, spricht man von **Makroporosität** andernfalls handelt es sich um **Mikroporosität**.

2.1.2 Gasporosität

Gasporen können folgende Entstehungsgründe haben:

- thermodynamische Ursachen
- strömungsmechanische Ursachen.

2.1.2.1 Thermodynamisch bedingte Gasporosität

Flüssige Metalle weisen in der Regel eine höhere Löslichkeit für elementare Gase auf als feste. Bei der Erstarrung kommt es deshalb zur Ausscheidung von Gasen und damit zur Bildung von Poren. Diese reichern sich im Bereich der Resterstarrung an.

Bei Legierungen mit einem ausgeprägten Erstarrungsintervall findet die Gasausscheidung bevorzugt zwischen den Dendritenarmen statt. Hierdurch bedingt, weisen Gasporen, die durch die Ausscheidung hervorgerufen werden, in der Regel keine runden Konturen auf. Die Abrundung der Kontur hängt von dem Gasgehalt der Schmelze ab.

2.1.2.2 Strömungsmechanisch bedingte Gasporosität

Bei der Formfüllung kommt es durch die Metallströmung zum Einschluß von Gasen. Es handelt sich um Gase aus der Umgebungsluft und um solche Gase, die durch thermische Kontaktreaktion zwischen der Metallschmelze und dem Formstoff oder dem Formwerkstoff bzw. den Formhilfsstoffen wie Trennstoffe, Schlichte usw. entstehen. Strömungsmechanisch bedingte Gasporen weisen aufgrund der Grenzspannungsverhältnisse zwischen Gas und Schmelze in der Regel runde Formen auf.

Anmerkung:

Im allgemeinen treten beide Formen, Lunkenung und Gasporosität, gemeinsam auf.

2.2 Sonstige Fehlstellen

Neben der Porosität gibt es noch weitere Fehlstellen, welche die Qualität eines Gußstückes beeinflussen können, wie Kaltfließstellen, Aufschweißungen, Ziehriefen, Grate und Brandrisse.

Diese Fehlermerkmale werden in diesem Merkblatt erwähnt und im Anhang 1 definiert. Sie sind jedoch nicht Bestandteil

dieses Merkblattes. Soweit möglich, wird auf weitere Richtlinien und Normen, die diese Fehlstellen und deren Prüfmethode behandeln, hingewiesen.

3 Mögliche Auswirkungen von Porosität

Poren in Gußteilen können je nach Art und Beschaffenheit des Bauteils sowie nach Art der Beanspruchung Auswirkungen auf die Festigkeit, die Druckdichtheit und die Oberflächenbeschaffenheit bzw. das Aussehen des Bauteils haben.

Bei technischen Bauteilen ist insbesondere die Auswirkung der Porosität auf die Bauteilfestigkeit zu beachten. Gleiche Porosität kann bei statischer und dynamischer Beanspruchung des Bauteils unterschiedliche Auswirkungen haben.

Sowohl bei statischer als auch bei dynamischer Beanspruchung sollten Angriffspunkte, Höhe der Beanspruchung und Bereiche mit höchster Spannungskonzentration bekannt sein, um beanspruchungsgerechte Porenklassen auswählen zu können.

3.1 Statische Festigkeit

Bei der Beanspruchung eines Bauteils durch eine äußere Kraft entsteht im belasteten Bauteilquerschnitt eine Spannung. Diese ist zum Quotienten aus Kraft und Querschnittsfläche proportional. Wird der Querschnitt durch Poren verringert (geschwächt), nimmt die Spannung zu. Sobald die resultierende Spannung die Elastizitätsgrenze des Werkstoffs überschreitet, kommt es zu bleibenden Verformungen, die zum Bruch führen können. Zusätzlich zur Spannungserhöhung durch die Querschnittsverringern kommt es, abhängig von der Porengeometrie, zu einer Kerbwirkung. Bei statischen Belastungen ist in erster Linie die Querschnittschwächung und somit der flächenbezogene Porenanteil als kritisch zu bewerten.

Bei der Biege- und Torsionsbeanspruchung ist die Lage der Porosität, bezogen auf die neutrale Faser, zu beachten. Insbesondere bei schwindungsbedingten Poren liegt die Porosität im Bereich der Materialanhäufung und

somit in der Nähe der neutralen Faser. Dadurch kann die Festigkeitsabnahme im Gesamtquerschnitt in guter Näherung auch proportional zum Flächenanteil der Porosität angesehen werden.

3.2 Dynamische Festigkeit

Bei der dynamischen Festigkeit eines Bauteils spielen außer dem Werkstoff selbst in erster Linie Kerbfaktoren eine Rolle. Sowohl geometrische Konturen als auch Inhomogenität durch Oxidhäute, Einschlüsse, Gefügebestandteile, intermetallische Verbindungen etc. und Gußfehler können Kerben darstellen, deren Kerbfaktoren größer sein können als die von Poren.

Poren haben in Abhängigkeit von ihrer Form, der Lage zur Gußoberfläche und der Anordnung zueinander unterschiedliche Kerbwirkungen. Die Kerbwirkung nimmt

- mit dem Flächenanteil der Porosität und mit dem Porendurchmesser zu und
- mit zunehmender Rundheit und wachsendem Abstand der Poren von der Gußoberfläche ab.

Untersuchungen bezüglich der Dauerfestigkeit von Aluminiumgußlegierungen haben bei Zunahme der Porosität von Porenklasse 0 auf Porenklasse 8 eine Abnahme der Dauerfestigkeit um ca. 15 bis 20 % ergeben [1 bis 11] Dies entspricht dem Bild in Anhang 2 [12]

3.3 Allgemeine Dichtheit und Dichtflächen

Haben Gasporen, Lunker und Warmrisse eine Verbindung zur Gußhaut (offene Poren, Einfallstellen) oder werden sie bei der mechanischen Bearbeitung der Teile angeschnitten, kann es in Abhängigkeit von der Porenverteilung zu Undichtheit der Bauteile und Dichtflächen kommen. In Verbindung mit einer Forderung nach Druckdichtheit sind besonders Warmrisse und netzartig miteinander verbundene Lunker als kritisch zu bewerten.

Poren können in Abhängigkeit von ihrer Form und Größe zu Beschädigungen und/oder Beeinträchtigung von eingesetzten Dichtungen führen.

3.4 Oberfläche und Wärmebehandlung

Porosität an der Oberfläche kann bei Bauteilen, die oberflächenbeschichtet, galvanisch behandelt oder wärmebehandelt werden, zu einem Auftreten von Unstetigkeitsstellen bzw. Oberflächenblasen führen. Während der Wärmebehandlung (Glühbehandlung, thermische Trocknung von Lacken usw.) von Gußteilen kommt es aufgrund der erhöhten Temperatur zu einer Verringerung der Festigkeit des Werkstoffs. Infolgedessen können insbesondere gasgefüllte Poren aufgrund des vorhandenen Innendrucks zu Deformation bzw. Blasenbildung führen. Dies gilt insbesondere für druckgegossene Bauteile (siehe Punkt 2.1.2.2). Mit Hilfe einer Zwangsentlüftung der Druckgießform läßt sich auch beim Druckgießen die Blasenbildung weitgehend unterbinden.

4 Beurteilung der Porosität von Gußteilen

Das Maß an Porosität hängt vom Werkstoff, vom Fertigungsverfahren, von der verfahrensgerechten Gestaltung des Bauteiles selbst, von seiner Funktion und vom Grad der zulässigen Porosität ab. Allgemein kann gesagt werden, daß **eine Verschärfung der Anforderung hinsichtlich geringerer Porosität zu einem erhöhten Fertigungs- und Prüfaufwand und somit zu einer Erhöhung der Kosten** führt.

Zwischen **Makroporosität** und **Mikroporosität** wird unterschieden:

Unter den Begriff **Makroporosität** fallen alle Poren, deren Größe und Form mit dem normalsichtigen menschlichen Auge oder einem Hilfsmittel, das eine dem menschlichen Auge entsprechende Auflösungsvermögen aufweist (wie z. B. das Röntgen), bestimmt werden können. Dies sind Poren mit einer minimalen Ausdehnung von 0,5 mm und mehr.

Unter **Mikroporosität** versteht man Poren, deren Form und Größe mit dem unbewaffneten Auge nicht zuverlässig zu beurteilen ist. Sie reicht bis zu einer maximalen Ausdehnung von 0,5 mm Durchmesser. Die minimal erfaß-

bare Porengröße richtet sich nach dem Auflösungsvermögen des verwendeten Hilfsmittels.

Eine Anforderung bezüglich Porosität muß sich an den Bauteilanforderungen (statische Festigkeit, Dauerfestigkeit, Druckdichtigkeit und Funktion bearbeiteter Flächen, Beschaffenheit von rohen Gußoberflächen) orientieren. **Die Beurteilungskriterien und -maßstäbe hierfür sind zwischen Hersteller und Abnehmer vor der Auftragsvergabe festzulegen.** An einem Bauteil ist es sinnvoll, unterschiedliche, bereichsspezifische Kriterien festzulegen (siehe Punkt 5.1). Die Arbeiten [12 bis 19] sind beim Festlegen von Beurteilungskriterien und -maßstäben eine gute Unterstützung.

5 Beschreibung der Porosität

5.1 Porenklassen

Zur Beschreibung aller Anforderungen, die bezüglich Porosität an ein Bauteil gestellt werden, können für Teilbereiche unterschiedliche Porenklassen festgelegt werden. Erfahrungsgemäß ist es schwierig komplexe Bauteile in einer Porenklasse zu fertigen.

5.1.1 Bezeichnung der Porenklassen

Die Bezeichnung der Porenklassen setzt sich aus folgenden Parametern zusammen:

Beanspruchungsart:

Der Parameter **Beanspruchungsart** kann die Bezeichnung

- S** für vorwiegend statisch beanspruchte Bauteile
- D** für vorwiegend dynamisch beanspruchte Bauteile
- F** für Bauteile mit besonderen Anforderungen an Funktionsflächen
- G** für Bauteile mit nicht näher spezifizierten Anforderungen annehmen

Porosität:

Der Parameter **Porosität** für die vereinbarten Flächen gibt bei den Beanspruchungsarten G, S und D die maximal zulässige Porosität in Prozent, bei der Beanspruchungsart F die maximal zulässige Anzahl definierter Poren, bezogen auf eine Bezugsfläche an. Dabei ist die Bezugsfläche immer quadratisch, drei-

eckig (gleichschenkelig) oder kreisrund und ihre Form abhängig von der jeweiligen Bauteilgeometrie (Bild 2 und Punkt 5.1.2).

Durchmesser:

Die Angabe des Parameters **Durchmesser** ist optional. Er gibt den maximal zulässigen Vergleichsdurchmesser von Einzelporen an. Alternativ können sich Hersteller und Kunde auf die mittlere Länge bzw. den mittleren Durchmesser der Poren oder auf den Äquivalentdurchmesser einigen (der Vergleichsdurchmesser ist der kleinste porenumschreibende Durchmesser; der äquivalente Durchmesser ist der Durchmesser eines flächengleichen Kreises.)

Zusatz:

Die Angabe der Parameter Zusatz 1 bis Zusatz n ist optional. Sie können einzeln oder in einer Mehrfachkombination vorgenommen werden und dabei folgende Werte annehmen:

An Abstand benachbarter Poren. Dieser Parameter gibt den Mindestrandabstand zwischen zwei benachbarten Poren an. Der Mindestrandabstand ist der Durchmesser der kleineren zweier benachbarter Poren multipliziert mit dem Faktor **n** in mm. ($A = \text{Abstand}$). Faktor **n** ist zwischen Hersteller und Abnehmer zu vereinbaren.

M Mitte der Bauteilwandung. Dieser Parameter kann nur in Verbindung mit dem Parameter **Durchmesser** verwendet werden. Porennester sind nur in der Mitte (**M**) der Bauteilwandung zulässig. Porennester sind Anhäufungen von Einzelporen. Notwendige Bedingung für das Vorhandensein von Porennestern ist:

- Der Durchmesser eines Porennestes ist größer als die maximal zulässige Größe für Einzelporen.
- Der Abstand zwischen benachbarten Poren ist kleiner als der Durchmesser der kleinsten dieser Poren.

C Materialanhäufung. Dieser Parameter kann nur in Verbindung mit dem Parameter **Durchmesser** verwendet werden. Porennester sind nur in Materialanhäufungen und Knotenpunkten (Wärmezentren = **C**) zulässig.

R Kernbereich der Bauteilwandung. Der Parameter R ist nur für die Porenklassen D10 bis D30 zulässig. (Z. B. D10: vorwiegend dynamisch beansprucht mit einer maximal zulässigen Porosität von 10 %.) Die angegebene Porositätsklasse gilt nur für den Kernbereich (**R**) der Bauteilwandung (inneres Drittel der betrachteten Wanddicke). In den beiden äußeren Dritteln ist die Porositätsklasse D4 einzuhalten.

Pn Porengröße. Dieser Parameter kann nur in Verbindung mit dem Parameter Durchmesser verwendet werden. Die maximal zulässige Porengröße (definiert durch den Parameter Durchmesser) gilt nur für den Kernbereich der Bauteilwandung (inneres Drittel der betrachteten Wanddicke). In den beiden äußeren Dritteln ist die maximal zulässige Porengröße (**P**) von Einzelporen auf einen Durchmesser von n mm begrenzt. Bei der Porenklasse F gibt n den Durchmesser an, bis zu dem Poren unberücksichtigt bleiben.

Darstellung:

**(Beanspruchungsart)(Porosität)/
[Durchmesser]/[Zusatz 1]/ [...] / Zusatz n]**
z. B. S5/2/C oder F4/3/A0,5/P0,8

Zur hinreichenden Beschreibung der zulässigen Porenklasse sind mindestens die Parameter in runden Klammern anzugeben. Die Parameter in den eckigen Klammern sind optional.

5.1.2 Bezugsflächen für die Porenklassen

Wird ein beliebiger ebener Schnitt durch das Bauteil gelegt – bei der Porenklasse F wird die Funktionsfläche betrachtet –, ergibt sich eine Fläche, die sich in quadratische, dreieckige (z. B. gleichschenklige) oder kreisrunde Teilbereiche unterteilen läßt. Die jeweiligen Bezugsflächen dieser Teilbereiche sind so zu wählen, daß sie eine maximale Fläche abdecken und sich möglichst der Außenkontur der Teilbereiche anpassen (Bild 2)¹. Im Bereich um Bohrungen und Gewinde ist die Bezugsfläche die größte Kreisringfläche um die Bohrung/das Gewinde, wenn die

¹ Nach Absprache zwischen Hersteller und Kunde sind rechteckige Bezugsflächen möglich.

Bohrung/das Gewinde im rechten Winkel zur Längsachse geschnitten wird. In diesem Falle wird die Dicke des Kreisringes wie eine gängige Wanddicke behandelt.

Darüber hinaus besteht für die Porenklassen D1 bis einschließlich D4 folgende notwendige Bedingung:

Innerhalb der jeweiligen Bezugsfläche darf (zusätzlich zur Einhaltung der klassenspezifischen Porosität) in keiner Teilfläche der Bezugsfläche (Teilfläche mit beliebiger Lage innerhalb der Bezugsfläche, Abmessung der Teilfläche = 3 mm x 4 mm), der Anteil der Flächenporosität mehr als 4 % betragen. Diese Vorgehensweise entfällt, wenn die Größe der Bezugsfläche hierfür nicht ausreicht.

Die Porenklassen D1 bis D4 sollten nur für besonders kritische Bauteilbereiche in Ausnahmefällen angewandt werden (siehe auch Punkt 5.2).

Für alle anderen Bereiche sind die Porenklassen D5 und größer zu empfehlen.

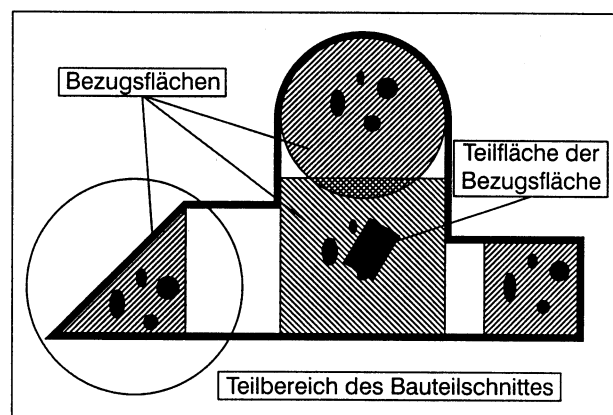


Bild 2 Schnitt durch ein Bauteil mit Poren und den jeweiligen Bezugsflächen zur Bestimmung der Porosität (siehe auch Beispiele in Anhang 3)

5.1.3 Bestimmung der Porenklasse

Das Festlegen von Porositätsklassen nach diesem Merkblatt zieht Prüfpflichten nach sich, deren Kostenaufwand zu bewerten ist.

5.1.3.1 Porenklasse S (bei statistischer Beanspruchung)

Sowohl die Probenvorbereitung als auch das verwendete optische Auflösungsvermögen zur Prüfung der Porosität der Porenklassen S müssen zwischen Gießer und Abnehmer vereinbart werden. Die getroffenen Vereinbarungen sollten vorzugsweise in den entsprechenden Bauteilzeichnungen oder in einer Prüfnorm fixiert werden. Im Zweifelsfalle ist Porosität der Klasse S an einer planen Oberfläche mit einer gemittelten Rauhtiefe von mindestens $R_z 25$ und einem Auflösungsvermögen, das dem unbewaffneten menschlichen Auge entspricht, auszuwerten.

5.1.3.2 Porenklasse D (bei dynamischer Beanspruchung)

Wenn zwischen Gießer und Abnehmer nichts anderes vereinbart wurde, wird die Porosität bei einer Porositätsvorschrift der Klasse D immer an einem metallographischen Schliff mit einer Vergrößerung 25 : 1 oder auch 20 : 1 unter dem Mikroskop ausgewertet.

Die Porositätsklassen D1 bis D4 werden ausschließlich an einem metallographischen Schliff bei einer Vergrößerung von 25 : 1 oder auch 20 : 1 ausgewertet.

Wird kein besonderer Prüfquerschnitt in der Bauteilzeichnung festgelegt, gilt die Angabe für alle Querschnittsbereiche des jeweiligen Bauteiles.

5.1.3.3 Porenklasse F (besondere Anforderungen an Funktionsflächen)

Die Porosität dieser Porenklasse wird, wenn zwischen Hersteller und Kunde nichts anderes vereinbart wurde, an den fertig bearbeiteten Funktionsflächen mit dem unbewaffneten menschlichen Auge ausgewertet.

5.1.3.4 Porenklasse G (Bauteile ohne näher spezifizierte Anforderungen)

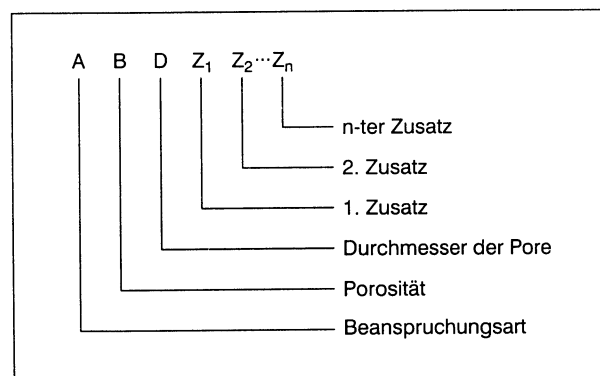
Die Porosität dieser Porenklasse wird, wenn zwischen Hersteller und Kunde nichts anderes vereinbart wurde, durch Röntgen auf einer Anlage mit einem Brennfleck ≤ 1 mm ausgewertet. Dabei wird das erzeugte Durchstrahlungsbild wie eine zweidimensionale Schnitt-

fläche eines Bauteiles bewertet und gem. 5.1.2 in Bezugsflächen eingeteilt.

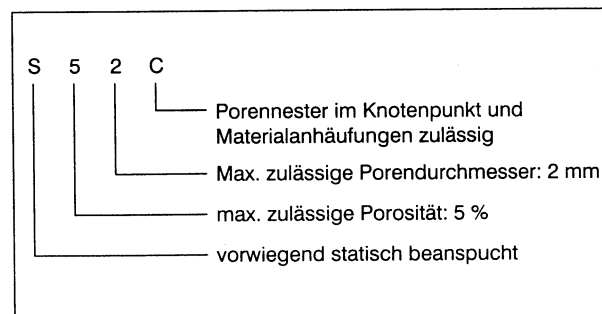
Wenn zwischen Hersteller und Kunde nichts anders vereinbart, dürfen die so gewählten Bezugsflächen eine Größe von max. 5 cm^2 - unter Einhaltung des Abbildungsverhältnisses Röntgenbild/Gußteil = 1 : 1 - nicht überschreiten. Bei hiervon abweichenden Abbildungsverhältnissen ist die maximal zulässige Bezugsflächengröße entsprechend anzupassen.

5.1.4 Beispiele für Bezeichnungen der Porenklasse

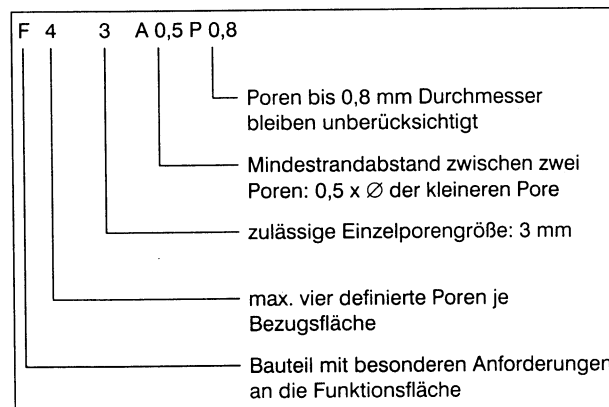
Beispiel 1: allgemeine Bezeichnung



Beispiel 2: Bezeichnung S5/2/C



Beispiel 3: Bauteil mit besonderen Anforderungen F4/3/a 0,5/P 0,8



Für ein Gußteil ist in die Zeichnung die allgemeine Porositätsvorschrift S5/2/C eingetragen. Für eine der drei Funktionsflächen an diesem Gußteil gilt außerdem gemäß Zeichnung der Zusatz F4/3/A0,5/P0,8. Diese Vorschrift bedeutet:

Für das gesamte, statisch beanspruchte Bauteil gilt eine maximal zulässige Porosität $\leq 5\%$. Im Bauteil sind Einzelporen mit einem Durchmesser bis max. 2 mm zulässig. Porenester sind nur in Materialanhäufungen und Knotenpunkten (Wärmezentren) zulässig (Beispiel 2).

In der speziellen Funktionsfläche sind maximal 4 definierte Poren je Bezugsfläche zulässig. Die maximal zulässige Einzelporengröße beträgt 3 mm Durchmesser, Mindestrandabstand der Poren untereinander $0,5 \times$ Durchmesser der kleinste zweier benachbarter Poren. Einzelporen bis zu einem Durchmesser von 0,8 mm bleiben unberücksichtigt (Beispiel 3).

5.2 Prüfmöglichkeiten

Zur Beurteilung der Porosität von Gußteilen gibt es unterschiedliche Prüfmöglichkeiten. **Die Prüfmethode sollte in Verbindung mit der Festlegung von Beurteilungskriterien unter Berücksichtigung der Bauteilanforderungen zwischen Hersteller und Abnehmer erfolgen. [1]**

5.2.1 Durchstrahlungsprüfung mit Bildverstärker (RT)

Bei der Durchstrahlungsprüfung (Röntgenprüfung) [2, 3, 4, 5] handelt es sich um eine zerstörungsfreie Prüfung. Das Auflösungsvermögen des Prüfverfahrens ist abhängig von den zu prüfenden Wanddicken, dem Durchstrahlungsweg und -winkel sowie der Gußteilgeometrie. Bei der Röntgenprüfung wird eine zweidimensionale Projektion des Gußteils erzeugt. Hieraus resultieren Probleme bei der Lokalisierung und Identifikation von Poren. Das maximale Auflösungsvermögen herkömmlicher in Gießereien verwendeter Röntgenanlagen beträgt ca. 0,5 mm.

5.2.2 Ultraschallprüfung (UT)

Bei der Ultraschallprüfung handelt es sich um eine zerstörungsfreie Prüfung [6]. Das Auflösungsvermögen ist abhängig von der Gußteilkontur der zu prüfenden Wanddicken sowie dem Schallweg und -winkel. Bei der Ultraschallprüfung wird eine eindimensionale Projektion des Gußteils erzeugt. Eine Gesamtübersicht über ein Bauteil kann nur durch ein Scannen des gesamten Bauteils erzeugt werden. Bei der Ultraschallprüfung können sowohl bei der Ankopplung des Schwingers als auch bei der Auswertung der reflektierten Signale (Bestimmung von Porengröße, -anzahl und -lage) Komplikationen auftreten. Deshalb ist dieses Verfahren zur Porositätsbestimmung nur in Sonderfällen anwendbar.

5.2.3 Dichtheitsprüfung (LT)

Bei der Dichtheitsprüfung handelt es sich um eine zerstörungsfreie Prüfung [7, 8]. Sie wird angewendet, wenn die Druckdichtheit eines Gußteils gefordert ist. Die Dichtheitsprüfung ist nur dann sinnvoll, wenn besondere Anforderungen an die Dichtheit eines Bauteils vorliegen.

5.2.4 Sichtprüfung (VT)

Bei der Sichtprüfung handelt es sich um eine zerstörungsfreie Prüfung. Ihr Auflösungsvermögen ist von den verwendeten Prüfmitteln (z. B. Lupe) abhängig [10]. Die Sichtprüfung erfolgt an der Rohkontur des Gußteils oder an bearbeiteten Flächen. Eine Quantifizierung der allgemeinen Porosität ist mit diesem Verfahren nicht möglich.

Für die Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren

- RT (Radiographic Testing)
- UT (Ultrasonic Testing)
- LT (Leak Testing)
- VT (Visual Testing)

ist speziell qualifiziertes Personal erforderlich.

5.2.5 Dichteprüfung

Bei der Dichteprüfung handelt es sich um eine zerstörungsfreie Prüfung. Dieses Verfahren ermöglicht nur eine Aussage über den Anteil von Volumenporosität im gesamten Bauteil.

Porengröße und -lage lassen sich nur für Segmente durch Schneiden der Gußteile (Zerstörung) ermitteln. Da die Dichteprüfung im allgemeinen nach dem archimedischen Prinzip mit Wasser durchgeführt wird, ist es mit diesem Verfahren nicht möglich, offene Poren zu quantifizieren. Die Dichteprüfung ist allgemein als Hilfsmittel zur Fertigungsoptimierung geeignet.

5.2.6 Schliff- und Schnittprüfung

Die Schliff- und Schnittprüfung sind zerstörende Prüfungen. Sie sind ausschließlich als Stichprobe möglich. Die Beurteilung erfolgt an einem Sägeschnitt, einer grobgeschliffenen Fläche, einer gefrästen oder gedrehten Fläche oder an einem polierten Schliff. Das Auflösungsvermögen des Verfahrens ist von der Oberflächenbeschaffenheit der betrachteten Fläche und den zur Betrachtung verwendeten Hilfsmitteln abhängig. Die Schliff- und Schnittprüfung ermöglicht lediglich die Beurteilung der Porosität in der jeweiligen Schnittebene. Deshalb ist die Prüfung nur für erhöhte Anforderungen in kritischen Bauteilbereichen geeignet.

Die Schliffprüfung ist das Verfahren mit der größten Aussagefähigkeit in bezug auf kritische Bauteilbereiche ist, da es die genauesten Informationen über die Ursachen und die Entstehung von Porosität sowie weitere Gefügeeinflüsse liefert.

Diese Prüfmethode ist ein sehr aufwendiges und damit kostenintensives Prüfverfahren, das eine besondere Sorgfalt bei der Durchführung erfordert [20, 21].

Zu beachten ist, daß Poren bei der Herstellung der Proben durch Schleifen, Schneiden und auch Polieren zugeschmiert werden können. Dies kann zu Fehldeutungen führen.

6. Eintragung in Zeichnungen

In Zeichnungen sind entsprechend Punkt 5.1 entweder für das gesamte Bauteil oder für festgelegte Bereiche Porenklassenfestlegungen vorzunehmen.

6.1 Kollektive Eintragung

Entsprechend dieser Richtlinie sind für die in Punkt 5.1.1 definierten Beanspruchungsarten **S**, **D** und **G** kollektive Angaben der maximal zulässigen Porosität in % möglich. Für die Porenklassen D1 bis D4 sind keine kollektiven Eintragungen erlaubt. Eine kollektive Zeichnungseintragung hat in der Nähe des Zeichnungsschriftfeldes zu erfolgen, wobei die Angaben der Beanspruchungsart und der maximal zulässigen Porosität obligatorisch sind: Porosität nach VDG-Merkblatt P201 (siehe Punkt 5.1.4):

$A / B [/ D / Z_1 / \dots / Z_n]$

Beispiel (siehe Punkt 5.1.4, Beispiel 2):

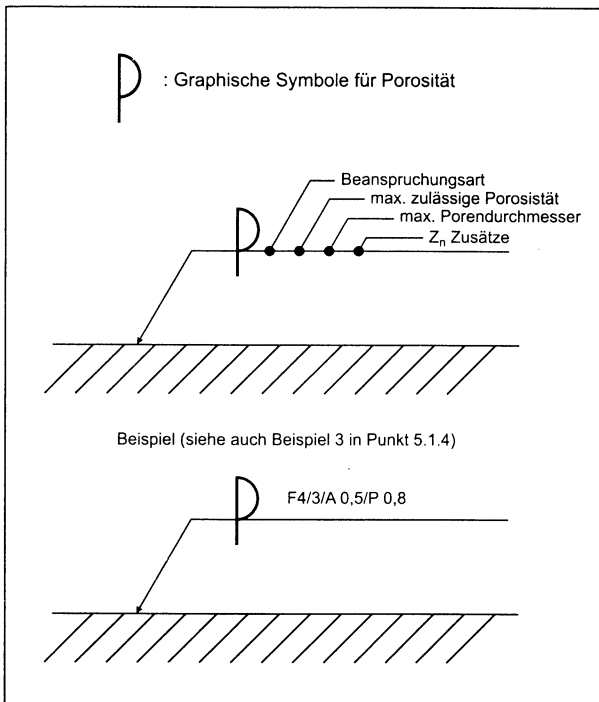
Porosität: VDG-P201 S/5/2/C.

Eine kollektive Eintragung soll nur für die im Gußstück am häufigsten vorkommende Porosität angegeben werden.

6.2 Eintragungen für definierte Bereiche

Eintragungen für definierte Bereiche sind dann erforderlich, wenn die Beanspruchungsart oder eine Funktionsfläche es erfordert. Für die Porenklassen **D1** bis **D4** und die Beanspruchungsart **F** sind Eintragungen für definierte Bereiche erforderlich (siehe Punkte 5.1.1 und 5.1.2).

Gemäß dieser Richtlinie hat die Eintragung mit örtlichem Bezug zu erfolgen:



In die Nähe des Schriftfeldes der Zeichnung ist auf das VDG-Merkblatt P201 gegebenenfalls mit einer kollektiven Eintragung nach 6.1 hinzuweisen.

7. Literaturhinweise, Normen, Richtlinien

- [1] DIN EN 1559-1
Technische Lieferbedingungen – Teil 1: Allgemeines.
DIN EN 1559-4
Technische Lieferbedingungen – Teil 4: Zusätzliche Anforderungen an Gußstücke aus Aluminiumlegierungen.
DIN EN 1559-5
Technische Lieferbedingungen – Teil 5: Zusätzliche Anforderungen an Gußstücke aus Magnesiumlegierungen.
DIN EN 1559-6
Technische Lieferbedingungen – Teil 6: Zusätzliche Anforderungen an Gußstücke aus Zinklegierungen.
- [2] DIN EN 444
Zerstörungsfreie Prüfung, Grundlagen für die Durchstrahlungsprüfung von metallischen Werkstoffen mit Röntgen- und Gammastrahlen.
- [3] DIN EN 12681
Gießereiwesen – Durchstrahlungsprüfung.
- [4] ASTM E 155-95
Standard Reference Radiographs for Inspection of Aluminium and Magnesium castings.
- [5] ASTM E 505
Standard Reference Radiographs for Inspection of Aluminium and Magnesium Die Casting.
- [6] DIN EN 583-1
Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung – Teil 1: Allgemeine Grundsätze.
- [7] DIN EN 1593
Zerstörungsfreie Prüfung – Dichtheitsprüfung – Blasenprüfverfahren.
- [8] DIN EN 1779
Zerstörungsfreie Prüfung – Dichtheitsprüfung – Kriterien zur Auswahl von Prüfmethode und –verfahren.
- [9] ISO 10049
Gußteile aus Aluminiumlegierungen; visuelles Verfahren zur Beurteilung der Porosität.
- [10] ISO 3058
Zerstörungsfreie Prüfung – Hilfsmittel für die visuelle Prüfung (Sichtprüfung) – Auswahl von schwach vergrößernden Linsen.
- [11] ISO 10135
Technische Zeichnungen – Vereinfachte Darstellung von Formpress-, Guß- und Schmiedeteilen.
- [12] Sonsino, C. M.; Dietrich, K.: Einfluß der Porosität auf das Schwingfestigkeitsverhalten von Aluminium-Gußwerkstoffen. Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit (LBF) Darmstadt, AiF-Forschungsvorhaben Nr. 5899 (1990).

- [13] Ermittlung der Reißfähigkeit von Aluminium-Gußwerkstoffen an Kleinproben unter besonderer Berücksichtigung einer vergleichenden Auswertung unterschiedlicher fließbruchmechanischen Konzepte. Abschlußbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 6048, Institut für Werkstofftechnik, Gießereikunde der TU Berlin, Berlin 1987.
- [14] Einfluß der Porosität bei Aluminiumgußlegierungen auf die Schwingfestigkeit unter Biegebelastung auf die Reißentstehung und den Reißfortschritt. Abschlußbericht des AiF-Vorhabens Nr. 8977, Darmstadt 1997.
- [15] Hück, M.; Naundorf, H.; Schütz, W.: Bruchmechanische Untersuchungen und Reißfortschrittmessungen an lunkerbehafteten, bauteilähnlichen Proben aus GK- AlSi12 . Z. Werkstofftechnik 14 (1983) S. 325-329.
- [16] Schindelbacher, G.: Einfluß unterschiedlicher Porosität auf die mechanischen Eigenschaften der Legierung GD- AlSi9Cu3 . Giesserei Praxis (1993) Nr. 19, S. 381-392.
- [17] Sonsino, C. M.; Ziese, J.: Schwingfestigkeit von Aluminiumlegierungen in verschiedenen Porositätszuständen und Aussagen zum Bauteilverhalten. VDI-Werkstofftagung 91, München, 4./5. März 1991.
- [18] Ostermann, H.: Schwingfestigkeit gekerbter Flachstäbe aus Aluminiumlegierungen.
- [19] Dieterich, K.: Schwingfestigkeit von höchstfestem Aluminiumguß. Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit (LBF) Darmstadt, LBF-Bericht Nr. 7543 (Mai 1999).
- [20] Pries, H.: Einsatz der quantitativen Bildanalyse zur Bestimmung der Porengehalte in Aluminium-Druckgußteilen. Vortrag auf dem 1. Internationalen Deutschen Druckgußtag in Neuss am 13. April 2001.
- [21] Pries, H.; Helmke, E.: Einsatz der quantitativen Bildanalyse zur Bestimmung der Porengehalte in Aluminiumdruckgußteilen.
- [22] Mertz, Klein, Badwidamann: Druckgußfehler-Katalog Aluminium.
- [23] Schumacher, F.; Widmaier, T.: Druckgußfehler-Katalog Zink.
- [24] Rudat, M.: Druckguß Fehlerkatalog Magnesium.

Die AiF-Forschungsvorhaben sind beim VDG-Informationszentrum und die Druckguss Fehlerkataloge beim Steinbeis Transferzentrum Arbeitsgemeinschaft Metallguss an der Fachhochschule Aalen zu beziehen.

Anhang 1

Definition weiterer Fehlstellen

A 1.1 Kaltfließstellen

Kaltfließstellen sind Muster, die die Grenze verschiedener Formfüllströme auf der Gußstückoberfläche darstellen.

A 1.2 Aufschweißungen (Klebestellen)

Aufschweißungen sind Vertiefungen an der Gußteilerfläche, die durch Herausreißen einer oder mehrerer dünner Schichten, die mit der Oberfläche verschweißt sind, entstanden sind. Aufschweißungen treten oft an den Stellen auf, die während der Formfüllung besonders stark aufgeheizt werden.

A 1.3 Ziehriefen

Ziehriefen sind örtliche Werkstoffabträge, die wie Riefen und Kratzer an der Gußteilerfläche parallel zur Ausformrichtung aussehen und die beim Entformen und Ziehen der Kerne durch das Reiben der Werkstoffe aneinander entstehen.

A 1.4 Grate

Bei Graten wird unterschieden in Gießgrate und Grate, die bei mechanischer Bearbeitung,

wie z. B. Stanzen, Fräsen, Bohren usw. durch Verformung des bearbeiteten Werkstoffes entstehen. Beim Gießgrat handelt es sich um am Gußstück anhaftende dünnwandige Werkstoffanhäufungen und Metallreste, die beim Gießen durch das Eindringen der Schmelze in die Formteilung oder in Paßfugen von Formeinsätzen oder Kernen entstehen.

A 1.5 Brandrisse

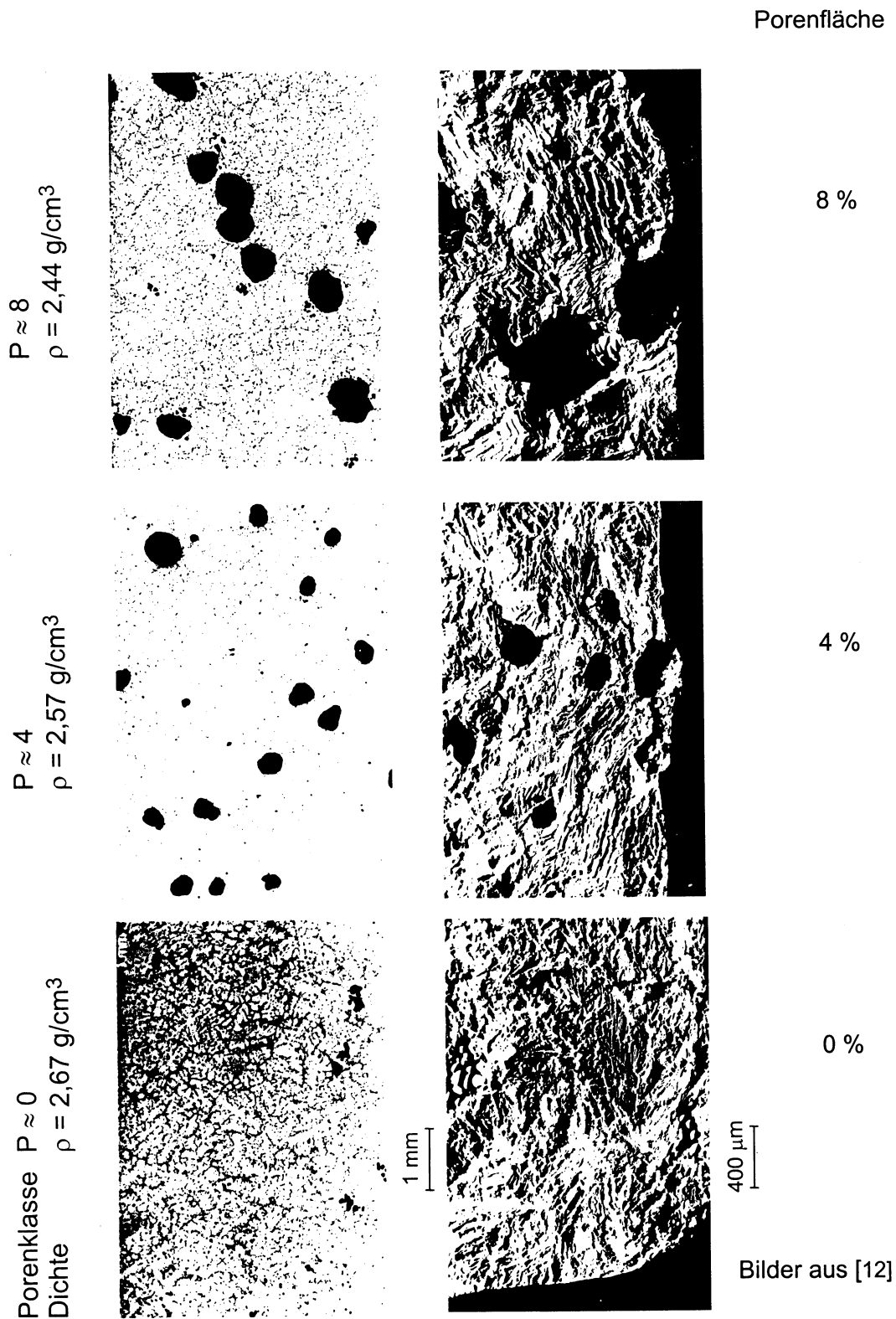
Brandrisse haben eine spinnwebartige erhabene Struktur an der Gußteilerfläche. Ihre Ursache liegt in einer dauerhaften Schädigung der Druckgießform durch Risse. Diese entstehen besonders in Bereichen hoher Temperaturwechselbeanspruchung während des Gießprozesses.

A 1.6 Weitere Merkmale gegossener Bauteile

Maßabweichung, unvollständige Formfüllung, Volumenschwankungen, Verzug, Einschlüsse, Auswerfermarken, Fließlinien, Einfallstellen, "Lakes", Gewaltrisse und gefleckte Oberfläche sind weitere Merkmale von Gußteilen.

In diesem Zusammenhang wird auf die entsprechende Literatur [22 bis 24] verwiesen.

Anhang 2 Gefüge mit Beispielen der Porenklassen 0, 4, und 8



Bilder aus [12]

Bild A.2.1 Gefüge- und Bruchbilder im Anrißbereich der Gußlegierung G-AlSi7Mg0,6 wa [12]

Anhang 3

Beispiele unterschiedlicher Porosität im allgemeinen und in Abhängigkeit der Bezugsflächen (informativ)

Die Schliffe entstammen Bauteilen, an die unterschiedliche Anforderungen gestellt werden. Diese Bauteile haben den in den An-

wendungen an sie gestellten Anforderungen genügt.

Für die Bilder A.3.1 bis A.3.4 ist die Porosität über den gesamten Bereich angegeben.

Die Bilder A.3.5 und A.3.6 enthalten Bezugsflächen mit Porositätsangaben analog zu Bild 2. In einigen Bildern sind mögliche Bezugsflächen eingezeichnet.

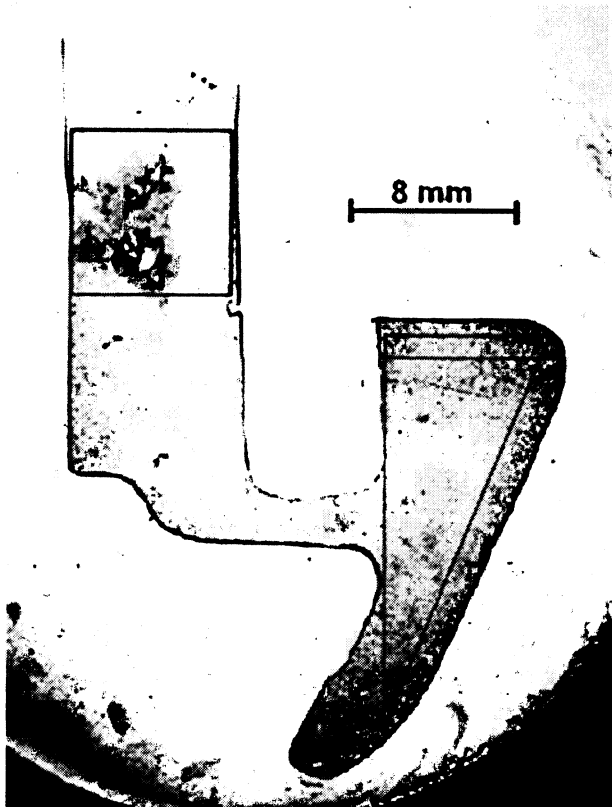


Bild A.3.1 Aluminium-Druckguß,
Porosität 3 %

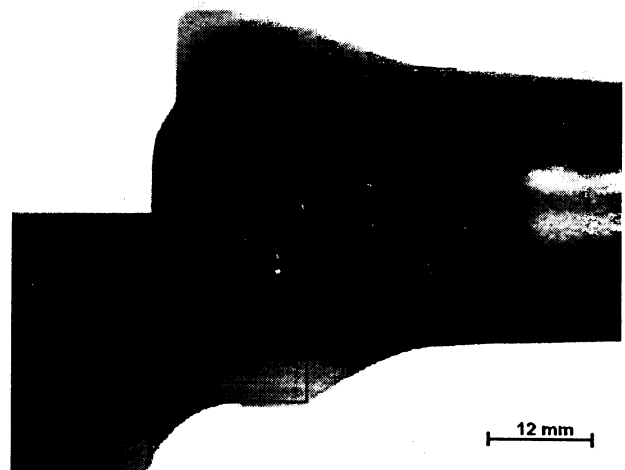


Bild A.3.2 Aluminium-Druckguß, runde
Gasporen, Porosität 1 %

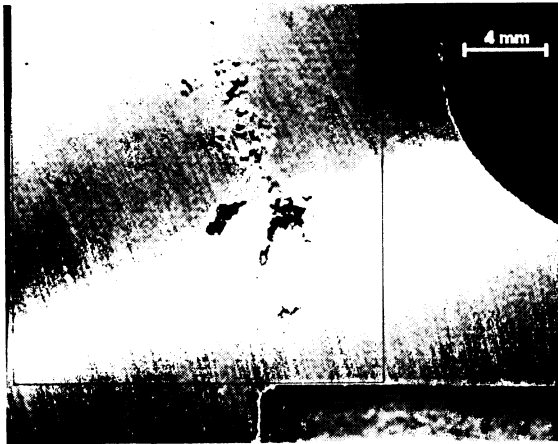
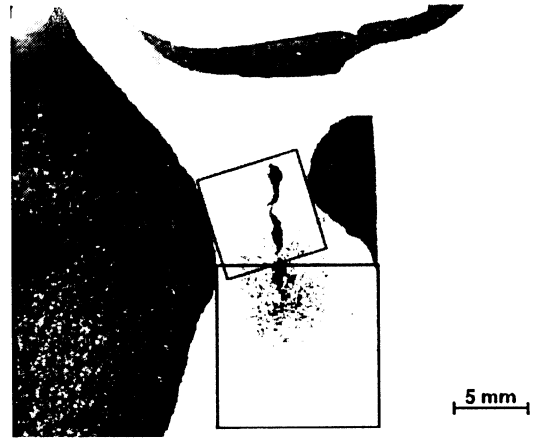


Bild A.3.3 Aluminium-Druckguß, gefräste Probe, Schwindungsporosität, Porosität 2 % (Lunker im Knotenbereich)



Porosität kleines Quadrat: 9 %
Porosität großes Quadrat: 4 %

Bild A.3.5 Bezugsflächen für die Porositätsbestimmung (siehe Pkt. 5.1.2) Knotenbereich

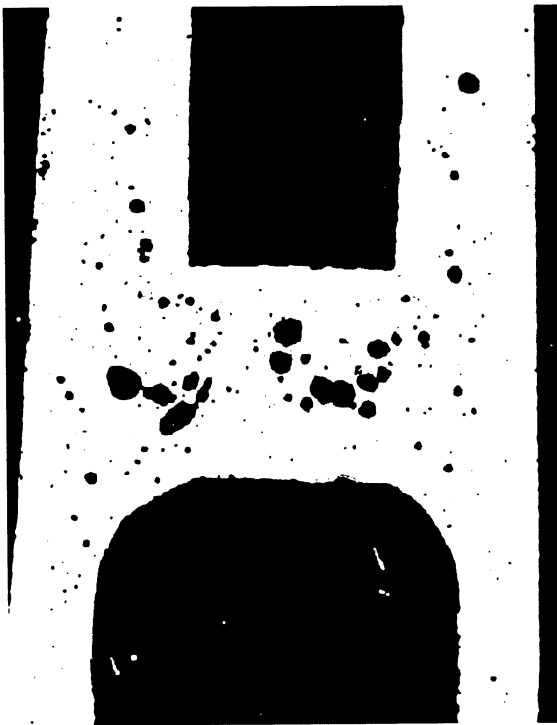


Bild A.3.4 Zink-Druckguß, Porosität 7 %



Porosität kleines Quadrat: 1 %
Porosität großes Quadrat: 12 %
Porosität gestricheltes Quadrat: ca. 30 %

³Anmerkung zu Bild A.3.6:

Das gestrichelte Quadrat verdeutlicht die Notwendigkeit ein Meßfeld klein genug zu wählen, um den relevanten Bereich zu erfassen, aber gleichzeitig so groß wie möglich, damit sich die Porenverteilung herausmittelt.

Bild A.3.6³ Bezugsflächen für die Porositätsbestimmung (siehe Pkt. 5.1.2) (vgl. Bild A.3.4)

Es ist vorgesehen, die Ausprägungsformen der Porosität, wie sie beim NE-Metallguß vorkommen kann, in einem Beispielkatalog darzustellen. Dieser Beispielkatalog enthält Bilder, die entsprechend dieses Merkblattes in die verschiedenen Porositätsklassen eingeordnet werden können. Die Anwender dieses Merkblattes werden gebeten, Bildbeispiele mit

Maßstab, Porositätsangaben, Anforderungen an das Bauteil der Geschäftsstelle der

VDG-Fachgruppe 2 NE-Metallguß,
Sohnstraße 70, 40237 Düsseldorf,
E-Mail: Lothar.Wenk@vdg.de

zur Verfügung zu stellen.