



Volumendefizite von Gussstücken aus Aluminium-, Magnesium- und Zinkgusslegierungen

INHALT

1	Geltungsbereich	2
1.1	Allgemeines	2
1.2	Legierungen	2
1.3	Gießverfahren	2
2	Erläuterungen	2
2.1	Volumendefizite	2
2.1.1	Schwindungsporosität (Lunker)	2
2.1.2	Warmrisse	4
2.1.3	Gasporosität	4
2.2	Sonstige Fehlstellen	5
3	Mögliche Auswirkungen von Porosität	6
3.1	Statische Festigkeit	6
3.2	Dynamische Festigkeit	6
3.3	Allgemeine Dichtheit und Dichtflächen	7
3.4	Oberfläche und Wärmebehandlung	7
4	Beurteilung der Porosität von Gussstücken	7
4.1	Durchstrahlungsprüfung mit Bildverstärker (RT)	8
4.2	Ultraschallprüfung (UT)	9
4.3	Dichtheitsprüfung (LT)	9
4.4	Sichtprüfung (VT)	9
4.5	Dichteprüfung	9
4.6	Schliff- und Schnittprüfung	10
5	Porositätsbeurteilung mittels Schliff- und Schnittprüfung und quantitativer Bildanalyse	10
5.1	Bezugsflächen für die Porenklassen	11
5.2	Porositätsschlüssel	13
5.2.1	Definition und Anwendungsempfehlung der Parameter	13
5.2.2	Beispiele für Porositätsschlüssel	16
6	Eintragung in Zeichnungen	16
6.1	Kollektive Eintragung	16
6.2	Eintragungen für definierte Bereiche	17
7	Literaturhinweise, Normen, Richtlinien	18
Anhang 1	Beispiele für Gefüge mit unterschiedlichen Porenanteilen	20
Anhang 2	Beispiele für Bezugsflächen und Anordnung der Teilflächen/Messfelder	21
Anhang 3	Definition weiterer Fehlstellen	23



1 Geltungsbereich

1.1 Allgemeines

Diese BDG-Richtlinie gilt für Gussstücke aus Aluminium-, Magnesium- und Zinkgusslegierungen. Ziel dieser Richtlinie ist die Beschreibung von Anforderungen an die Gussqualität sowie deren einheitliche Eintragung in technische Unterlagen.

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

Porosität kann durch eine Zusammenarbeit von Konstrukteur und Gießer minimiert, aber nicht ausgeschlossen werden.

1.2 Legierungen

Der Geltungsbereich dieser Richtlinie beschränkt sich auf Gussstücke aus Aluminium-, Magnesium- und Zink-Gusslegierungen nach den einschlägigen Normen (DIN EN 1753 „Magnesium“, DIN EN 1706 „Aluminium“, DIN EN 12844 „Zink“).

1.3 Gießverfahren

Der Inhalt dieser BDG-Richtlinie bezieht sich auf

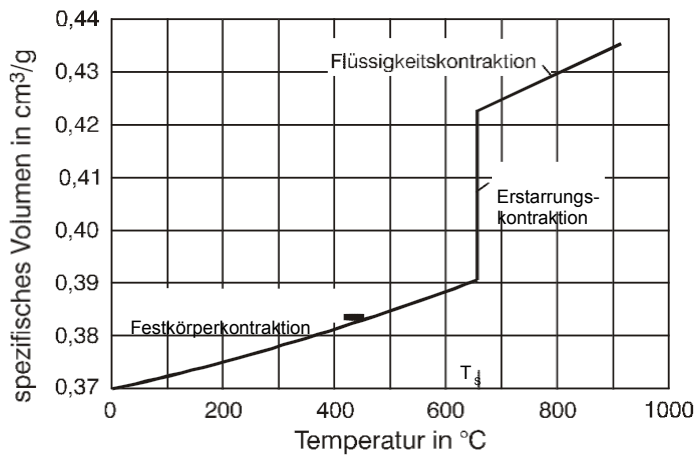
- > Druckgießverfahren einschließlich artverwandter Sondergießverfahren, (z. B. Squeeze-Casting oder Thixocasting),
- > Kokillengießverfahren und Varianten (z. B. Niederdruckkokillenguss) und
- > Sandgießverfahren und Varianten
- > Feingießverfahren.

2 Erläuterungen

2.1 Volumendefizite

2.1.1 Schwindungsporesität (Lunker)

Schwindungsporen, auch Lunker genannt, haben ihren Ursprung in den thermophysikalischen Eigenschaften der Gusswerkstoffe bei der Erstarrung.



T_s = Schmelzpunkt

Bild 1: Temperaturabhängigkeit des spezifischen Volumens von Rein-Aluminium

Die unter den Geltungsbereich der Richtlinie fallenden Werkstoffe haben beim Übergang vom flüssigen zum festen Aggregatzustand ein sprunghaft abnehmendes spezifisches Volumen (= Erstarrungskontraktion), siehe **Bild 1**.

Da in der Regel die Randschale und der Anguss eines Gussstücks früh erstarren, können sich im Inneren des Gussstücks Volumendefizite bilden. Durch geeignete erstarrungsgerechte Konstruktion des Gussstücks – Vermeiden von sprunghaften Wanddickenunterschieden – und eine optimale Auslegung des Gießsystems lässt sich dieses Volumendefizit minimieren.

Lunker weisen eine mehr oder minder stark zerklüftete, kavernenartige Form auf.

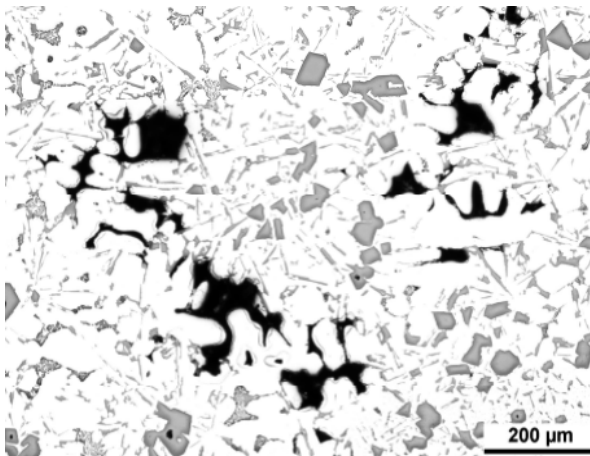


Bild 2: Typische Ausbildungsform der Schwindungsporosität

Die Herstellung vollständig lunkerfreier Gussstücke ist nicht möglich.

2.1.2 Warmrisse

Ist die Tragfähigkeit der Randschale geringer als die bei der Schwindung auftretenden Spannungen, kann es zu Warmrissen kommen. Die Warmrisse können, wie auch die Lunker, bei geeigneter Gussstückgestaltung und Formauslegung durch eine entsprechende Nachspeisung betroffener Bereiche ausgeheilt werden. Besonders warmrissanfällig sind Legierungen mit einem breiten Erstarrungsintervall.

2.1.3 Gasporosität

Gasporen können folgende Entstehungsgründe haben:

- > strömungsmechanische Ursachen (Einschließen von Luftblasen durch turbulente Formfüllung),
- > Verfahrens- und formstoffbedingte Ursachen (Gasabgabe durch Trennmittel, Kerne/ Formstoff, unzureichende Abführung von Gießgasen),
- > thermodynamische Ursachen (beim Abkühlen/ Erstarren Überschreiten der Löslichkeitsgrenze von Gasen in der Gusslegierung).

Ihr Aussehen unterscheidet sich von der schwindungsbedingten Porosität. Reine Gasporen sind, wenn sie bei ihrer Entstehung von Schmelze umschlossen sind, annähernd kreisrund ausgebildet und weisen einen glatten Porenrand auf.

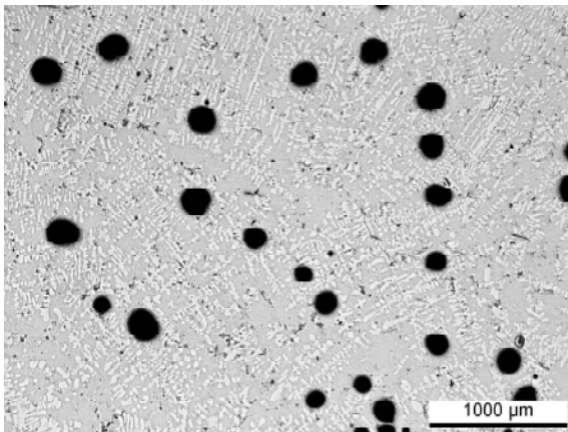


Bild 3: Typische Ausbildungsform von Gasporen

Die Herstellung vollständig gasporenfreier Gussstücke ist nicht möglich.

2.1.3.1 Thermodynamisch bedingte Gasporosität

Aluminium und Magnesium weisen mit fallender Temperatur eine abnehmende Löslichkeit für elementare Gase auf. Beim Abkühlen der Schmelze und der Erstarrung (beim Übergang flüssig-fest) kann daher die Löslichkeitsgrenze überschritten werden und es kann zur Ausscheidung von Gasen und damit zur Bildung von Gasporen kommen. Diese reichern sich häufig im Bereich der Resterstarrung an (Beispiel: Wasserstoffblasen in Aluminium).

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, sondern müssen sich in ihrer Form mit dem Dendritennetzwerk arrangieren. Die Abrundung der Kontur hängt vom Gasgehalt der Schmelze ab.

2.1.3.2 Strömungsmechanisch bedingte Gasporosität

Bei der Formfüllung kommt es bei einer turbulenten Metallströmung zum Einschluss von Gasen aus der Umgebungsluft. Strömungsmechanisch bedingte Gasporen weisen aufgrund der Grenzspannungsverhältnisse zwischen Gas und Schmelze in der Regel runde Formen auf.

2.1.3.3 Formstoffbedingte Gasporosität

Durch eine thermisch aktivierte Kontaktreaktion zwischen der Metallschmelze und dem Formstoff oder dem Formwerkstoff bzw. den Formhilfsstoffen wie Trennstoffe oder Schlichte können Gase freigesetzt werden, die in die Schmelze diffundieren und bei der Erstarrung eingeschlossen werden. Diese Gasporen weisen ebenfalls aufgrund der Grenzspannungsverhältnisse zwischen Gas und Schmelze in der Regel runde Formen auf. Im Sand- und Kokillenguss liegen diese Poren häufig dicht unter der Gussoberfläche.

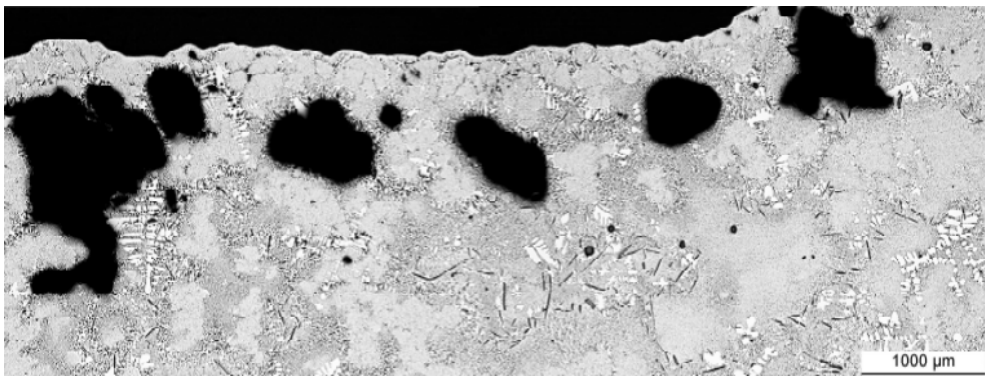


Bild 4: Formstoffbedingte Gasporosität

Anmerkung: Im Allgemeinen treten sowohl die schwindungsbedingte Porosität wie auch die Gasporosität gemeinsam auf. Die in Bild 2 dargestellten typischen Schwindungsporen enthalten in der Regel auch Gas. Die in den Bildern 3 und 4 dargestellten Gasporen werden in der Regel schwindungsbedingt vergrößert und verlieren dadurch häufig ihre kreisrunde Form.

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 Brandrissmuster, Sandeinschlüsse, usw.

Diese Fehlermerkmale werden im Anhang 3 definiert. Sie sind jedoch nicht Bestandteil dieser Richtlinie. Soweit möglich wird auf weitere Richtlinien und Normen, die diese Fehlstellen und deren Prüfmethode behandeln, hingewiesen.



3 Mögliche Auswirkungen von Porosität

Poren in Gussstücken 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 zyklischer 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 proportional zum Quotienten aus Kraft und Querschnittsfläche. 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 Querschnittsverringering 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 Festigkeit unter zyklischer Beanspruchung (Dynamische Festigkeit)

Die Festigkeit eines Bauteils unter zyklischer Beanspruchung wird neben dem Werkstoff in starkem Maße durch Kerbfaktoren bestimmt. Sowohl geometrische Konturen (z. B. kleine Kantenradien) als auch Inhomogenitäten durch Oxidhäute und nichtmetallische Einschlüsse oder ungünstig geformte Gefügebestandteile, z. B. intermetallische Phasen, 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 zu und
- > mit zunehmender Rundheit, größerem Radius und wachsendem Abstand der Poren von der Gussoberfläche ab.



3.3 Allgemeine Dichtheit und Dichtflächen

Haben Gasporen, Lunker und Warmrisse eine Verbindung zur Gushaut (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 zu Beeinträchtigungen von eingesetzten Dichtungen führen.

3.4 Oberfläche und Wärmebehandlung

Porosität an oder nahe unter 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 Gussstücken kommt es aufgrund der erhöhten Temperatur zu einer Verringerung der Festigkeit des Werkstoffs. Infolgedessen können insbesondere gasgefüllte Poren aufgrund des mit zunehmender Temperatur steigenden Innendrucks zu Deformationen bzw. Blasenbildung an der Gussstückoberfläche führen. Dies gilt insbesondere für druckgegossene Bauteile (siehe Kapitel 2.1.3.2). Mit Hilfe einer Zwangsentlüftung oder Vakuumanwendung der Druckgießform lässt sich beim Druckgießen die Blasenbildung minimieren.

4 Beurteilung der Porosität von Gussstücken

Das Maß an Porosität hängt vom Werkstoff, vom Fertigungsverfahren, von der verfahrensgerechten Gestaltung des Bauteiles selbst ab. Der Grad zulässiger Porosität wird von seiner Funktion bestimmt.

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 ein dem menschlichen Auge entsprechendes Auflösungsvermögen aufweist (wie z. B. das Röntgen), bestimmt werden können. Dies sind Poren mit einer minimalen Ausdehnung von rund 0,5 mm und mehr.

Unter **Mikroporosität** versteht man Poren, deren Form und Größe mit dem normalsichtigen menschlichen Auge nicht zuverlässig zu beurteilen sind. Sie reicht bis zu einer Ausdehnung von 0,5 mm Durchmesser. Die minimal erfassbare Porengröße richtet sich nach dem Auflösungsvermögen des verwendeten Hilfsmittels.

Anforderungen bezüglich der Porosität sollen sich an den Bauteilbelastungen (statische Festigkeit, Dauerfestigkeit, Druckdichtigkeit und Funktion bearbeiteter Flächen, Beschaffenheit von rohen Gussflächen) orientieren. Die Beurteilungskriterien und -maßstäbe hierfür sind zwischen Hersteller und Abnehmer vor der Auftragserteilung festzulegen. Es kann sinnvoll sein, an einem Bauteil Porositätskriterien festzulegen, die sich eingeschränkt auf besonders definierte Bezugsflächen beziehen, siehe Kapitel 5.1. Die Arbeiten [12] bis [19] sind beim Festlegen von Beurteilungskriterien und -maßstäben eine gute Unterstützung.



Zur Beurteilung der Porosität von Gussstücken gibt es unterschiedliche Prüfmöglichkeiten. Die Prüfmethode sollte in Verbindung mit der Festlegung von Beurteilungskriterien unter Berücksichtigung der Bauteilanforderungen zwischen Hersteller und Abnehmer erfolgen [1]. Die Analyse lässt sich nur von geschultem Fachpersonal durchführen und ist mit Kosten verbunden. Quantitative Aussagen zur Porosität lassen sich mit der Schliff- und Schnittprüfung (Kap. 4.6) erzielen. Alle anderen aufgeführten Methoden liefern in der Regel nur qualitative Aussagen zur Porosität. **Tabelle 1** gibt einen Überblick über die mit den nachstehend aufgeführten Prüfmethoden erreichbaren Aussagen zu verschiedenen Porositätsmerkmalen.

Bestimmungsmethode / Messgröße	visuelle Prüfung (an bearbeiteten Funktionsflächen)	Durchstrahlungsprüfung 2D (Röntgen)	Durchstrahlungsprüfung 3D (CT-Röntgen)	Ultraschallprüfung	Dichtheitsprüfung	Dichteprüfung	Schliff- und Schnittprüfung (qualitativ)	Schliff- und Schnittprüfung (quantitative Bildanalyse)
Poranteil global [%]	-	-	X	O	-	O	-	-
Poranteil in der Bezugsfläche [%]	O	O	X	-	-	-	O	X
Porendurchmesser/ -länge [o]	O	O	X	-	-	-	O	X
unberücksichtigte Poren [U]	X	O	X	-	-	-	X	X
Anzahl zugelassener Poren [Z]	X	O	X	-	-	-	X	X
Abstand benachbarter Poren [A]	O	-	O	-	-	-	O	X
Poranhäufung [H]	O	-	O	-	-	-	O	X
Dichte des Gussteils	-	-	-	-	-	X	-	-
minimale auswertbare Porengröße	≥ 0,5 mm	5-6% der durchleuchteten Wandstärke	3-5% der durchleuchteten Wandstärke	keine Aussage	keine Aussage	keine Aussage	Auflösung des Mikroskops (< 0,1 mm)	Auflösung des Mikroskops (< 0,1 mm)
Art der Prüfung	Stichprobe/ 100%-Prüfung	Stichprobe/ 100%-Prüfung	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe/ 100%-Prüfung	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe
	mittel-hoch	mittel-hoch	hoch	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch

quantitative Messwerte	X
qualitative Messwerte	O
keine Messwerte	-

Tabelle 1: Überblick Prüfmethoden/ Messgrößen zur Porositätsbestimmung

4.1 Durchstrahlungsprüfung mit Bildverstärker (RT)

Bei der Durchstrahlungsprüfung (Röntgenprüfung) [2, 3, 4, 5, 25] handelt es sich um eine zerstörungsfreie Prüfung. Das Auflösungsvermögen des Prüfverfahrens ist abhängig von den zu prüfenden Wanddicken, dem Durchstrahlungsweg und -winkel sowie der Gussstückgeometrie. Bei der Röntgenprüfung wird eine zweidimensionale Projektion des Gussstücks erzeugt. Hieraus resultieren Einschränkungen bei der Lokalisierung und Identifikation von Poren. Das maximale Auflösungsvermögen herkömmlicher in Gießereien verwandter Röntgenanlagen ist abhängig von der zu durchstrahlenden Wanddicke und liegt bei einer Auflösung von ca. 5 – 6% der durchstrahlten Wanddicke. Defekte von ca. 0,5 mm Größe liegen an der untersten Auflösungsgrenze.



Quantitative Aussagen über den Porenanteil in einem Gussstück sind mit der Durchstrahlungsprüfung nur stark eingeschränkt möglich. Wenn bestimmte Gussstückqualitäten zwischen Gießer und Abnehmer vereinbart werden, wird häufig mit Grenzmustern gearbeitet.

CT-Röntgen (Computer-Tomographie): Das CT-Röntgen erlaubt eine präzisere Beurteilung von Poren in definierten Gussstückabschnitten oder auch ganzen Gussstücken. Das CT-Röntgen erfordert besondere Anlagen. Abhängig von der Anzahl an zu röntgenden Querschnittsbereichen ist der Kosten- und Zeitaufwand erheblich höher als bei der normalen Röntgenprüfung.

4.2 Ultraschallprüfung (UT)

Bei der Ultraschallprüfung handelt es sich um eine zerstörungsfreie Prüfung [6]. Das Auflösungsvermögen ist abhängig von der Gussstückkontur, der zu prüfenden Wanddicke, der Gefügestruktur sowie dem Schallweg und -winkel. Bei der Ultraschallprüfung wird eine eindimensionale Projektion des Gussstücks 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. Grundsätzlich sind Kalibrierproben erforderlich, um die Signale der Ultraschallprüfung bewerten zu können.

4.3 Dichtheitsprüfung (LT)

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

4.4 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 Gussstücks oder an bearbeiteten Flächen. Eine Quantifizierung der allgemeinen Porosität ist mit diesem Verfahren nicht möglich.

4.5 Dichteprüfung

Bei der Dichteprüfung handelt es sich um eine zerstörungsfreie Prüfung. Dieses Verfahren ermöglicht nur eine Aussage über den Anteil von Volumenporosität für das gesamte Bauteil. Werden Gussstücke geschnitten (zerstörende Prüfung!) ist auch eine segmentweise Ermittlung der Volumenporosität möglich. Da die Dichteprüfung im Allgemeinen nach dem archimedischen Prinzip mit Wasser durchgeführt wird, ist es mit diesem Verfahren nicht möglich, offene Volumendefizite zu quantifizieren. Bei der segmentweisen Prüfung können Volumendefizite durch den Schnitt offengelegt werden, die dadurch mit der Dichteprüfung nicht mehr erfasst werden. Die Dichteprüfung ist allgemein als Hilfsmittel zur Fertigungsoptimierung geeignet.



4.6 Schliffe- und Schnittprüfung

Die Schliffprüfung ist das Verfahren mit der größten Aussagefähigkeit in Bezug auf Porositäten in kritischen Bauteilbereichen. An metallografisch präparierten Schliffen lassen sich umfangreiche Informationen über die Ursachen und die Entstehung von Porosität ablesen. Über die Porositätsbeurteilung hinaus können mit dieser Methode weitere Gefügemerkmale (z. B. der Dendritenarmabstand) untersucht und bewertet werden.

Die Schliff- und Schnittprüfung ist ein zerstörendes Prüfverfahren. Daher werden ausschließlich Stichproben genommen. Die Beurteilung erfolgt an einem Sägeschnitt, einer grob geschliffenen Fläche, einer gefrästen oder gedrehten Fläche oder an einem metallografisch präparierten 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. In höher bzw. tiefer liegenden Ebenen kann die Porosität deutlich abweichen.

Die Schliff- und Schnittprüfung wird in der Regel nur für Bauteile mit erhöhten Anforderungen in kritischen Bauteilbereichen vereinbart.

Zu beachten ist, dass Poren bei nicht sachgemäßer Präparation (beim Sägen, Drehen, Fräsen, Schleifen und Polieren) zugeschmiert werden können. Dies kann zu Fehldeutungen/ Fehlmessungen führen.

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

5 Porositätsbeurteilung mittels Schliff- und Schnittprüfung und quantitativer Bildanalyse

Erfahrungsgemäß variiert die Porosität bei komplexen Bauteilen nach Lage der betrachteten Querschnitte. Häufig ist auch innerhalb einer Querschnittsfläche die Porosität nicht gleichmäßig verteilt. Größe und Form können z. T. erheblich variieren. Aus diesem Grund steht die Beschreibung der Porosität für definierte Schnittebenen durch ein Bauteil im Fokus dieser Richtlinie. Zur Beschreibung der Anforderungen, die bezüglich der Porosität an ein Bauteil gestellt werden, können für Teilbereiche unterschiedliche Porenklassen festgelegt werden.

Eine Orientierung darüber, welche Grenzporositäten zu vereinbaren und einzuhalten sind, lässt sich am besten erreichen, wenn zunächst die Funktionsfähigkeit des Bauteils überprüft und sichergestellt wurde. Anhand eines so überprüften Bauteils sind dann in den relevanten Querschnittsbereichen die vorliegenden Porositätsgrade zu ermitteln und daraus die zulässigen Grenzporositäten abzuleiten. Es ist zu vermeiden, dass durch zu niedrig spezifizierte Grenzporositäten funktionsfähige Gussstücke verworfen werden. Bei der Vorgabe von Grenzporositäten ist das Auflösungsvermögen des Prüfverfahrens zu berücksichtigen.

Das Festlegen einer einzuhaltenden Porosität nach dieser Richtlinie zieht Prüfpflichten nach sich, deren Kostenaufwand zu bewerten ist.



5.1 Bezugsflächen für die Porenbeurteilung

Die Schnittebenen für den Nachweis der Einhaltung der Porenspezifikation eines Bauteils sollen vorzugsweise in gegenseitiger Abstimmung zwischen Gießerei und Abnehmer vereinbart werden und sollen sich an den lokalen Beanspruchungen orientieren. Sie sind in der Bauteilzeichnung festzulegen. In diesem Sinne stellen auch bearbeitete Bauteilbereiche potenzielle Schnittflächen dar.

Bei der Durchstrahlungsprüfung werden Volumina beurteilt. Aus diesem Grund sind die nachfolgenden Definitionen zu Schnittfläche, Bezugsfläche und Messfeld/ Teilfläche für die Durchstrahlungsprüfung nicht anwendbar.

Innerhalb der Schnittfläche werden Bezugsebenen definiert, in denen jeweils die (quantitative) Porenanalyse durchgeführt wird. Die Lage der Bezugsflächen ist so zu wählen, dass sie Querschnittsbereiche abdecken, die eine hohe Relevanz für die Funktionsfähigkeit des Bauteils aufweisen. Es kann u. U. bereits eine sehr kleine Bezugsfläche genügen, wenn diese besondere Belastungen zu tragen hat und Porositäten in diesem Bereich die Funktionsfähigkeit beeinträchtigen könnten.

Wird vereinbart, dass die Porosität mittels Mikroskop und quantitativer Bildauswertung gemessen werden soll (Schliff- und Schnittprüfung), dann soll dies bei einer Vergrößerung von 25:1 (auch 20:1 möglich) erfolgen. Bedingt durch die Kameraauflösung am Mikroskop decken quadratische Einzelmessfelder in der Regel maximal eine Fläche von 3 mm x 3 mm ab. Werden größere Bezugsflächen festgelegt, kann es erforderlich werden, dass die Bezugsflächen in mehrere Einzelmessfelder unterteilt werden müssen. In diesem Fall ist darauf zu achten, dass sich die einzelnen Messfelder nicht überlappen, dass alle Messfelder einer Bezugsfläche diese vollständig abdecken und dass die Messfelder untereinander die gleiche Größe aufweisen. Die Bezugsfläche soll eine quadratische Form haben. Wird zwischen Lieferant und Abnehmer keine abweichende Vereinbarung getroffen ist das Quadrat so groß zu bemessen, dass es sich über die gesamte Bauteilwand erstreckt (Anpassung der Bezugsfläche an die örtliche Bauteilgeometrie durch Wahl des jeweils größtmöglichen, einbeschriebenen Quadrates).

Entstehen durch die Wahl einer Schnittebene kreisringartige Schnittflächen, orientiert sich die Größe der auszuwertenden Bezugsfläche an der Dicke des Kreisringes. Hierdurch wird die Regel der maximal einbeschriebenen Quadrate verletzt. Über die quantitative Bildanalyse ist jedoch eine vereinfachte Auswertung der Bezugsfläche möglich. Durch eine Subtraktion der nicht in der Gussstückquerschnittsfläche liegenden Flächenanteile von der Bezugsfläche, lassen sich die Porengehalte korrekt bestimmen.

Wird in der vereinbarten Schnittebene keine Bezugsfläche definiert, ist die Bezugsfläche so zu wählen, dass sie den Bereich der augenscheinlich größten Porosität abdeckt.

Bild 5 veranschaulicht die Begrifflichkeiten Schnittebene, Bezugsfläche und Messfeld (auch als Teilfläche bezeichnet) und gibt ein Beispiel für die Festlegung der Bezugsflächen innerhalb einer Schnittebene. Im Beispielfall liegen besondere Belastungen im Bereich der Verschraubung vor, weshalb dort gezielt die Bezugsflächen 1 und 2 vereinbart worden sind. Die Bezugsfläche 3 ist ausgewählt worden wegen einer besonders hohen mechanischen Beanspruchung in dem Bereich.

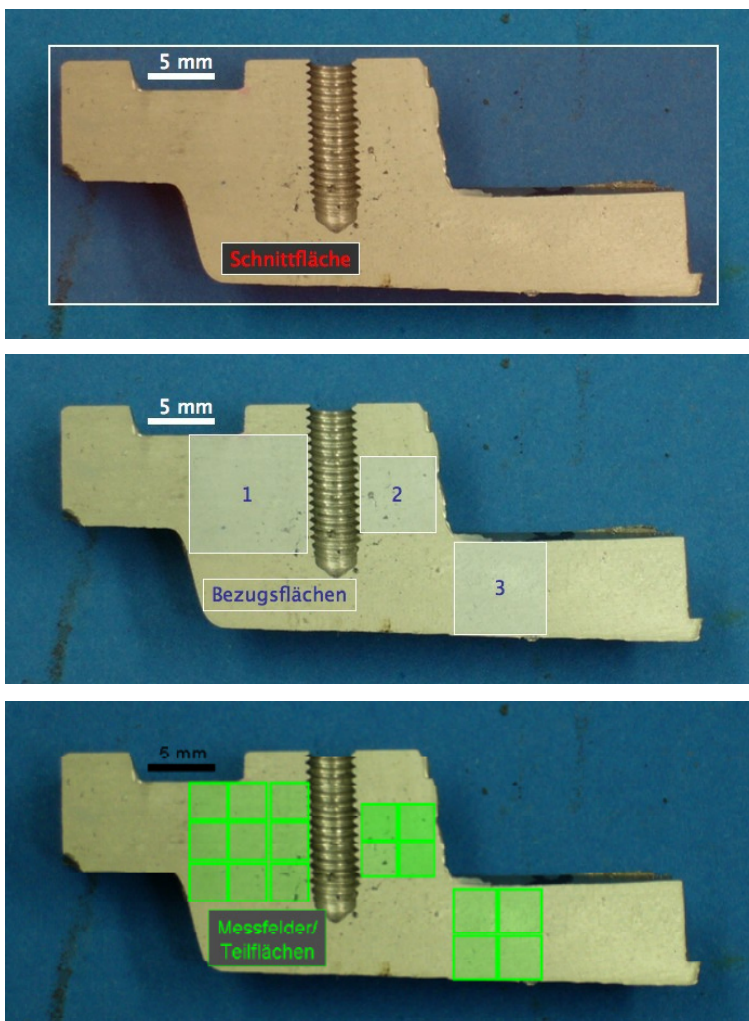


Bild 5: Schnittebene eines Gussstücks mit Bezugsflächen und Messfeldern/
Teilflächen zur quantitativen Porositätsbeurteilung

Anmerkung: In besonderen Fällen kann sich eine vom Quadrat abweichende Form der Bezugsfläche als sinnvoll erweisen. Dies können in den jeweiligen Bereich eingepasste flächenmaximale Kreise, gleichseitige Dreiecke oder Rechtecke sein. Zur eindeutigen Festlegung von Rechtecken ist mindestens die Festlegung der Seitenverhältnisse erforderlich. Im Zweifel über die Geometrie der anzuwendenden Bezugsflächen muss eine Abstimmung zwischen Lieferant und Abnehmer erfolgen.



5.2 Porositätsschlüssel

Die Vorgabe einer zulässigen Porosität erfolgt in Form eines Schlüssels. Dieser setzt sich aus mehreren Parametern zusammen. Art und Anzahl an Parametern können frei vereinbart werden, die Reihenfolge ihrer Angabe ist beliebig. An erster Stelle wird im Porositätsschlüssel die Bezeichnung der Richtlinie angegeben, gefolgt von einem Bindestrich. Es folgen die einzelnen Parameter denen jeweils ein Zahlenwert nachgestellt wird. Die Parameter und die dazugehörigen Werte werden in eckige Klammern gesetzt. Die verschiedenen Parameter werden untereinander durch Schrägstriche getrennt.

Beispiel des Porositätsschlüssels:

VDG P202-[Parameter 1][Wert]/ [Parameter 2] [Wert]/ [Parameter 3] [Wert]/ ... /[Parameter n] [Wert]

5.2.1 Definition und Anwendungsempfehlung der Parameter Rauigkeit der Bezugsfläche R_z

Die Erkennbarkeit von Poren hängt entscheidend von der Präparation der Bezugsfläche ab. Daher ist neben den Kriterien für die zulässige Porosität auch die Güte der zur Anwendung kommenden Bezugsflächen zwischen Lieferanten und Abnehmer zu vereinbaren.

Wird die Rauigkeit im Porositätsschlüssel nicht angegeben, gilt $R_z = 0 \mu\text{m}$. Dies entspricht der Güte eines metallografisch präparierten Schliffes.

Bezieht sich der angegebene Porositätsschlüssel auf eine Oberfläche des bearbeiteten Endproduktes, soll sie der jeweils spezifizierten Güte entsprechen. Werden keine Oberflächengüten vereinbart, gibt Tabelle 2 Richtwerte für mittels Nassschliff erreichbare Rautiefen (R_z).

Körnung	Mittlere Rautiefe R_z in μm
320	46
500	30
800	22
1000	18
1200	15
2500	10
4000	5

Tabelle 2: Rautiefe in Abhängigkeit von der Körnung des Schleifpapiers

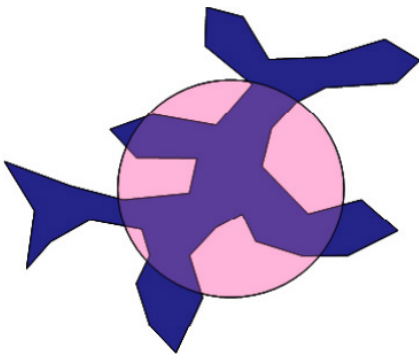
Die Bezeichnung der Porenklassen setzt sich aus folgenden Parametern zusammen:

Porenanteil [%]:

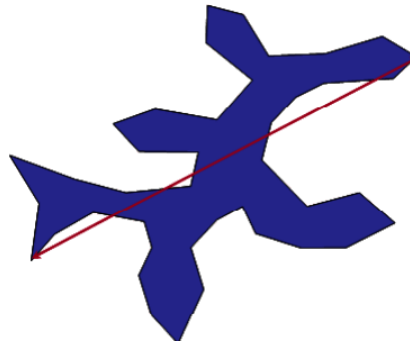
Der Porenanteil ist als maximal zulässiger Porenflächenanteil in Prozent für die vereinbarten Bezugsflächen definiert. Die Porenanteile sollen in 5% Stufen vereinbart werden. In Ausnahmefällen für zyklisch belastete Bauteile bei maximalen Porenanteilen unter 5% sind Stufen in 1 % Schritten empfehlenswert.

Porendurchmesser/ Porenlänge [\emptyset]:

Die Angabe des maximalen Porendurchmessers erfolgt in mm. Folgende unterschiedliche Definitionen sind möglich:



* Äquivalentdurchmesser
(Durchmesser eines flächengleichen Kreises) [\emptyset_F]



* Porenlänge (= maximaler Feret) bzw.
Vergleichsdurchmesser [\emptyset_L]

Wird auf die Angabe des tiefer gesetzten Kürzels hinter dem Durchmesserzeichen verzichtet, kommt immer die Porenlänge zur Anwendung.

Abstand benachbarter Poren [A]:

Dieser Parameter gibt den Mindestrandabstand zwischen zwei benachbarten Poren an. Die Abstandsangabe bezieht sich auf den Porendurchmesser (\emptyset_F oder \emptyset_L) der kleineren zweier benachbarter Poren multipliziert mit einem ganzzahligen Wert. Der Wert ist zwischen Hersteller und Abnehmer zu vereinbaren.

***Anmerkung:** Die Abstandsmessung setzt eine besondere Bildanalyse-Software voraus. Die Anwendung dieses Parameters zielt besonders auf die Spezifikation von Dichtflächen ab. Bei einer rein visuellen Prüfung kommen sinnvoller Weise sogenannte Lochschablonen zum Einsatz.*

Unberücksichtigte Poren [U]:

Dieser Parameter wird in der Regel für bearbeitete Dichtflächen definiert. Der Wert von [U] gibt an, bis zu welchem Durchmesser Poren bei der Bezugsflächenbeurteilung unberücksichtigt bleiben.

Anzahl der Poren [Z]:

In der Regel wird dieser Parameter für bearbeitete Dicht- und Funktionsflächen definiert. Der ganzzahlige Wert für [Z] gibt die maximal zulässige Anzahl einzelner Poren in einer Bezugsfläche vor. Porenanhäufungen sind wie Einzelporen zu behandeln.

Porenanhäufungen [H], [H_r] oder [H_k]:

Eine Porenanhäufung liegt vor, wenn der Abstand zweier benachbarter Poren kleiner ist als der Durchmesser der kleineren Pore.



[H] (ohne Fußnote) bezieht sich auf Porenanhäufungen in der gesamten Bezugsfläche.

[H_R] bezieht sich auf Porenanhäufungen im Randbereich der Bezugsfläche (äußeres Wandungsdrittel),

[H_K] bezieht sich auf Porenanhäufungen im Kernbereich der Bezugsfläche (inneres Wandungsdrittel),

Der Wert für [H], [H_R] oder [H_K] kann folgende binäre Werte annehmen:

0 = Porenanhäufungen unzulässig

1 = Porenanhäufungen zulässig

Wird zusätzlich zur Porenanhäufung ein maximaler Porendurchmesser festgelegt, sind Porenanhäufungen wie Einzelporen zu behandeln. D. h., überschreitet der Durchmesser einer zunächst zulässigen Porenanhäufung den maximal zulässigen Porendurchmesser, ist diese Porenanhäufung unzulässig.

Anmerkung: Es empfiehlt sich Vorgaben zu Porenanhäufungen nur für Dicht- und Funktionsflächen zu machen.

Porennester [N], [N_R] oder [N_K]:

Ein Porennest liegt dann vor, wenn der Durchmesser einer Porenanhäufung den maximal zugelassenen Porendurchmesser überschreitet.

[N] (ohne Fußnote) bezieht sich auf Porennester in der gesamten Bezugsfläche.

[N_R] bezieht sich auf Porennester im Randbereich der Bezugsfläche (äußeres Wandungsdrittel),

[N_K] bezieht sich auf Porennester im Kernbereich der Bezugsfläche (inneres Wandungsdrittel),

[N], [N_R] oder [N_K] können folgende binäre Werte annehmen:

0 = Porennester unzulässig

1 = Porennester zulässig

Wird [N], [N_R] oder [N_K] im Porenschlüssel aufgeführt aber kein Wert angegeben, gilt automatisch der Wert 1, d. h. Porennester sind im entsprechenden Bereich zulässig.

Anmerkung: Es empfiehlt sich Vorgaben zu Porennestern möglichst nur für innere Bereiche von Gussstückwandungen zu machen.



5.2.2 Beispiele für Porositätsschlüssel

Schematischer Aufbau des Porositätsschlüssels:

(Norm)-[Parameter 1][Wert]/ [Parameter 2] [Wert]/ [Parameter 3] [Wert]/ ... /[Parameter n] [Wert]

Beispiel 1: **VDG P202- %15/ Ø_L3/N_K1**

Für die vereinbarten Bezugsflächen ist eine Porosität von 15% zugelassen. Eine Porenlänge von 3 mm darf nicht überschritten werden. Porenester sind im Kernbereich (inneres Wandungsdrittel) erlaubt.

Beispiel 2: **VDG P202- %5/ Ø_L1/H0**

Für die vereinbarten Bezugsflächen ist eine Porosität von 5 % zugelassen. Eine Porenlänge von 1 mm darf nicht überschritten werden. Porenanhäufungen sind nicht erlaubt.

Beispiel 3: **VDG P202- %10 /Ø_F3/R_Z15**

Für die vereinbarten Bezugsflächen ist eine Porosität von 10 % zugelassen. Ein Äquivalentdurchmesser von 3 mm darf nicht überschritten werden. Die Bezugsfläche hat eine Oberflächengüte mit einer Rautiefe R_Z von ca. 15 µm.

Beispiel 4: Für eine bearbeitete Dichtfläche (Gussstück aus Beispiel 3) gilt spezifisch im Bereich der „Dichtsickenbreite ±1 mm“ **VDG P202- Z4/Ø_L2/U0,5/A2**

In der vereinbarten Bezugsfläche (hier: Dichtfläche) sind – unter Berücksichtigung der angegebenen Dichtsickenbreiten von ±1 mm – maximal 4 Poren zulässig. Dabei darf die maximale Porenlänge 2 mm nicht überschreiten. Poren bis einschließlich 0,5 mm Durchmesser bleiben unberücksichtigt. Der Abstand zweier benachbarter Poren muss mindestens den Durchmesser der kleinsten beider Poren multipliziert mit dem Faktor 2 aufweisen.

6 Eintragung in Zeichnungen

In Zeichnungen sind entsprechend Kapitel 5.1 für die vereinbarten Bezugsflächen oder für das gesamte Bauteil Porositätsfestlegungen vorzunehmen.

6.1 Kollektive Eintragung

Unter kollektivem Eintrag ist zu verstehen, dass der Porenflächenanteil sich auf beliebige Querschnitte im Gussstück bezieht. Er kann dann sinnvoll sein, wenn damit ein konstruktiv erforderliches allgemeines Mindest-Porositätsniveau für das gesamte Bauteil definiert werden soll.

Wenn erforderlich, dürfen für spezielle Bauteilbereiche abweichende Festlegungen getroffen werden. Die Definition der Bezugsflächen soll vorzugsweise in gegenseitiger Abstimmung zwischen Hersteller und Abnehmer erfolgen.

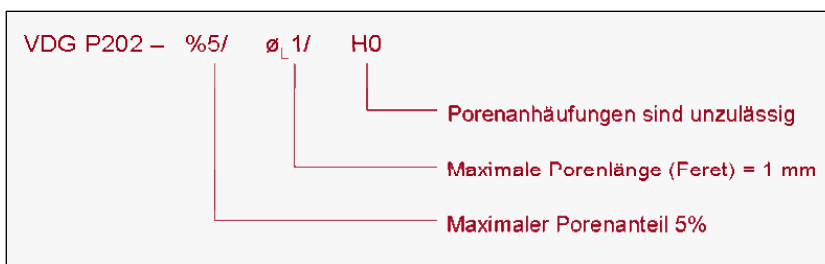


Die kollektive Zeichnungseintragung erfolgt in der Nähe des Zeichnungsschriftfeldes. Bei einer kollektiven Eintragung ist zu beachten, dass Porositäten stark querschnittsabhängig sind. Insbesondere bei lokal begrenzt möglichen großen Wandstärkenunterschieden sind niedrige Porenanteile gießtechnisch nicht einhaltbar. Dementsprechend sind bei einem kollektiven Eintrag die Grenzen für die Porenanteile ausreichend hoch zu setzen. Es ist zu vermeiden, dass durch zu niedrig spezifizierte Grenzporositäten funktionsfähige Gussstücke verworfen werden.

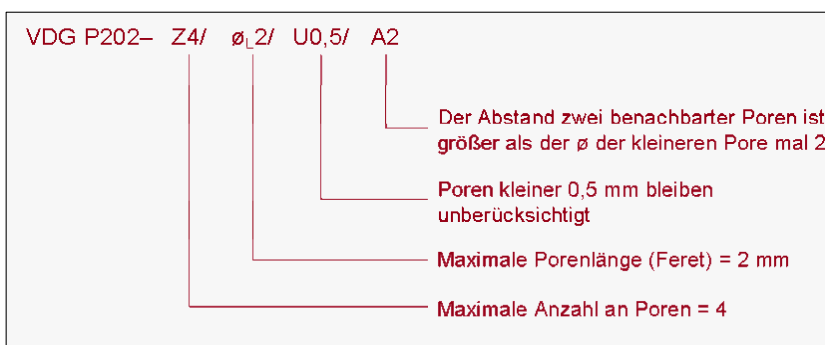
6.2 Eintragungen für definierte Bereiche

Eintragungen für definierte Bereiche sind dann sinnvoll, wenn z. B. lokal höhere Beanspruchungen vorliegen oder eine Funktionsfläche es erfordert.

Gemäß dieser Richtlinie soll die Eintragung mit örtlichem Bezug wie folgt ausgeführt werden:



VDG P202- %5/ ø₂/H0 (Beispiel 2 aus Kap. 5.2.2)



VDG P202- Z4/ ø₂/U0,5/A2 (Beispiel 4 aus Kap. 5.2.2)

In der Nähe des Schriftfeldes der Zeichnung ist auf die BDG-Richtlinie P202 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 Prüfmethden und -verfahren.
- [9] **ISO 10049**
Gussstücke 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] **DIN EN ISO 10135**
Geometrische Produktspezifikation – Zeichnungsangaben für Formteile in der technischen Produktdokumentation.
- [12] **Sonsino, C. M.; Dieterich, K.: Einfluss der Porosität auf das Schwingfestigkeitsverhalten von Aluminium-Gusswerkstoffen.** Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit (LBF) Darmstadt, AiF-Forschungsvorhaben Nr. 5899 (1990).

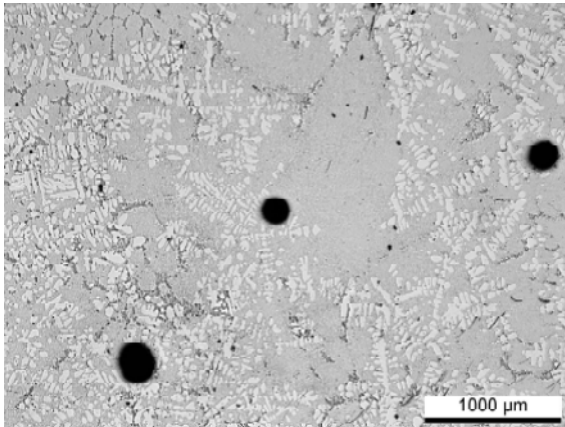


- [13] **Ermittlung der Risszähigkeit von Aluminium-Gusswerkstoffen an Kleinproben unter besonderer Berücksichtigung einer vergleichenden Auswertung unterschiedlicher fließbruchmechanischer Konzepte.** Abschlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 6048, Institut für Werkstofftechnik, Gießereikunde der TU Berlin, Berlin 1987.
- [14] **Einfluss der Porosität bei Aluminium-Gusslegierungen auf die Schwingfestigkeit unter Biegebelastung auf die Rissentstehung und den Rissfortschritt.** Abschlussbericht des AiF-Vorhabens Nr. 8977, Darmstadt 1997.
- [15] **Hück, M.; Naundorf, H.; Schütz, W.: Bruchmechanische Untersuchungen und Rissfortschrittmessungen an lunkerbehafteten, bauteilähnlichen Proben aus GK-AISi12.** Z. Werkstofftechnik 14 (1983) S. 325-329.
- [16] **Schindelbacher, G.: Einfluss unterschiedlicher Porosität auf die mechanischen Eigenschaften der Legierung GD-AISi9Cu3.** 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 der Aluminiumlegierung AlCuMg2 (3.1354.5) im Bereich zwischen 106 und 107 Lastspielen.** Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit (LBF), Darmstadt Technische Mitteilungen TM-Nr. 38/68 (1968)
- [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.** Giesserei 88 (2001) Nr. 12, S 49 – 55.
- [22] **Druckguss-Fehlerkatalog Aluminium**
- [23] **Druckguss-Fehlerkatalog Zink**
- [24] **Druckguss-Fehlerkatalog Magnesium**
- [25] **DIN EN 13068-3**
Zerstörungsfreie Prüfung – Radioskopische Prüfung – Teil 3: Allgemeine Grundlagen für die radioskopische Prüfung von metallischen Werkstoffen mit Röntgen- und Gammastrahlen

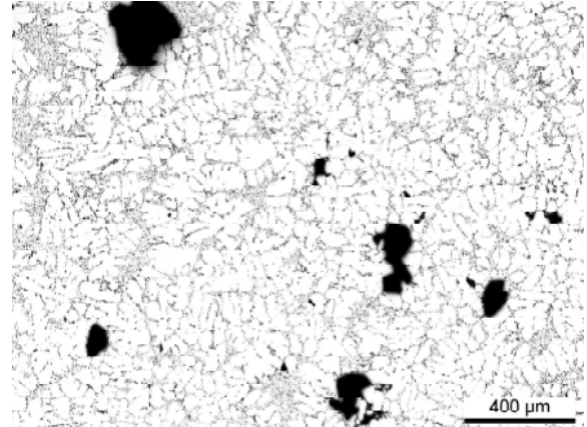
Von den BDG-Fachausschüssen „Druckguss“ und „Leichtmetall-, Sand und Kokillenguss“
erstellte Richtlinie



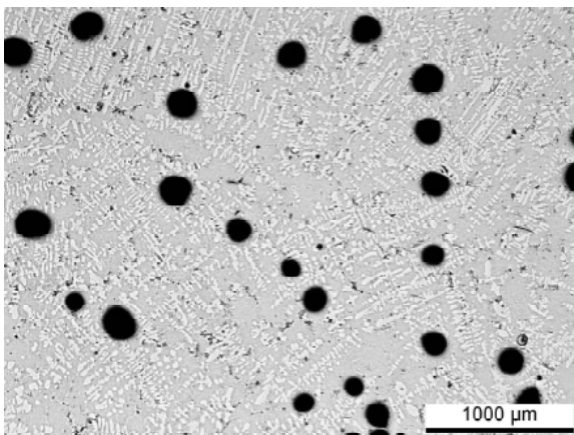
Anhang 1 – Beispiele für Gefüge mit unterschiedlichen Porenanteilen



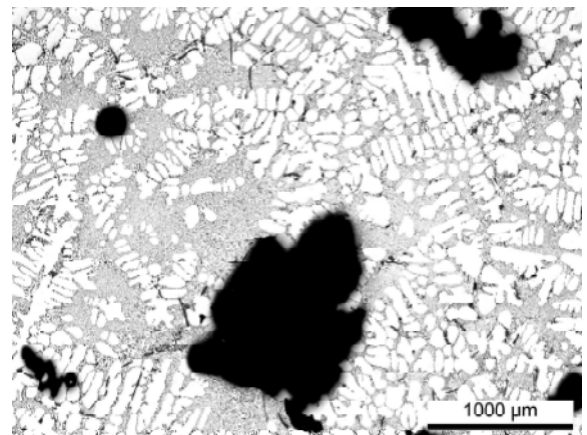
Porosität: 1,1 %



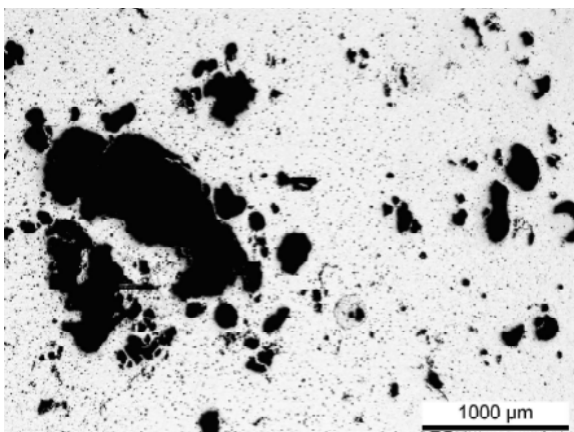
Porosität: 2,9 %



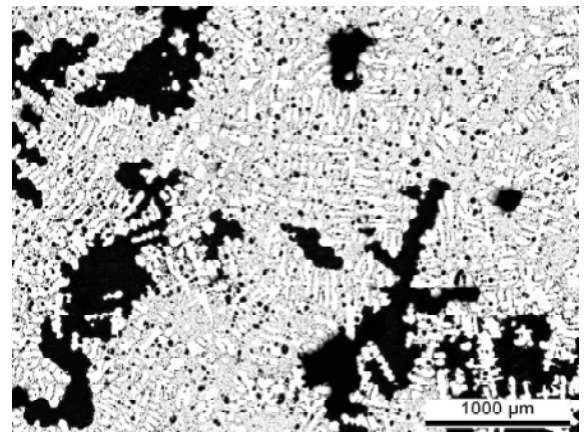
Porosität: 4,8 %



Porosität: 11,9 %



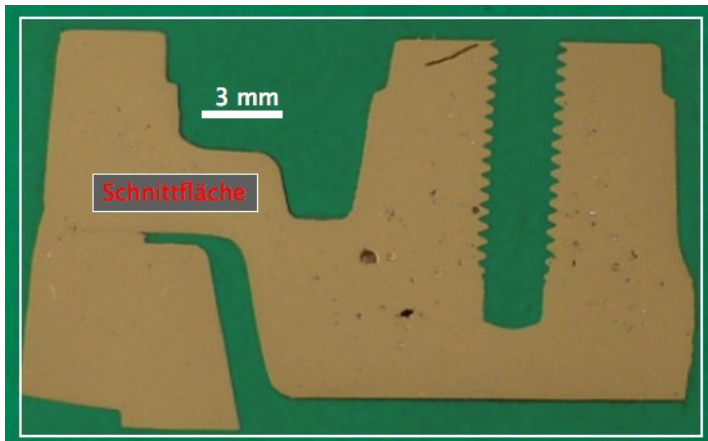
Porosität: 16,4 %



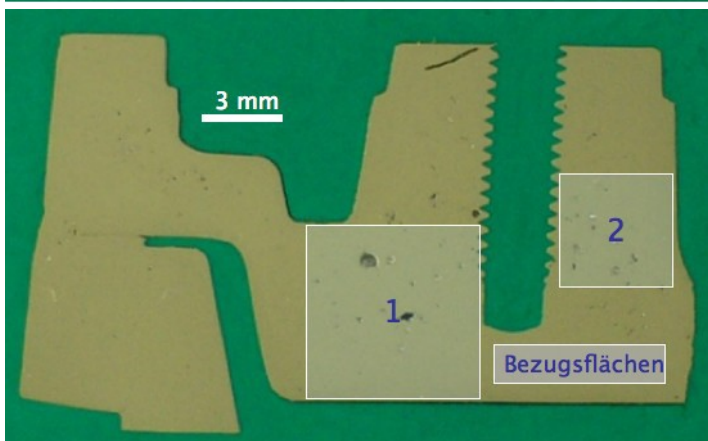
Porosität: 19,2 %

Anhang 2 – Beispiele für Bezugsflächen und Anordnung der Teilflächen/ Messfelder

Die Schlitze wurden Bauteilen entnommen, an die unterschiedliche Anforderungen gestellt worden sind. Sie wurden in allen dargestellten Fällen erfüllt.

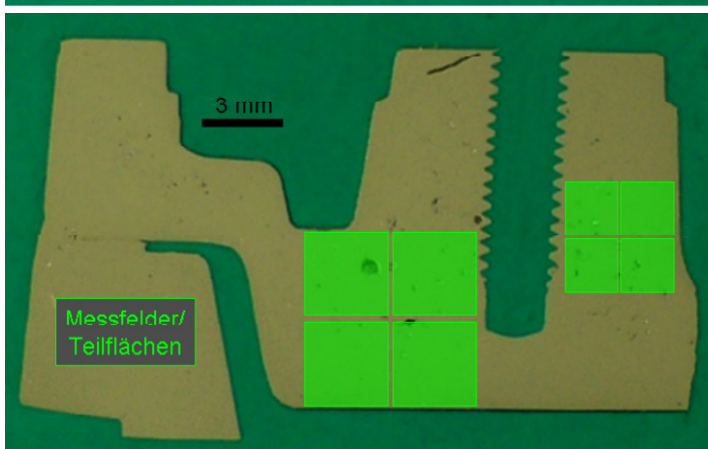


Schnittfläche



Bezugsflächen

Bereiche 1 und 2 mit höheren Anforderungen

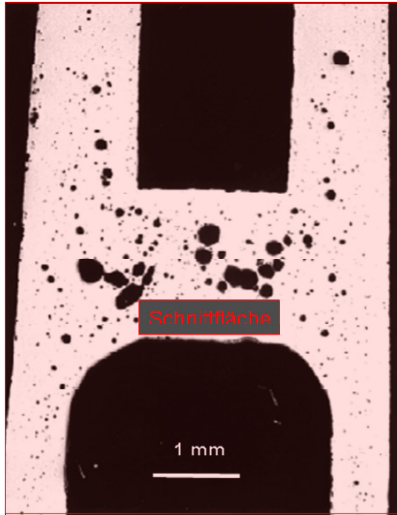


Messfelder/ Teilflächen

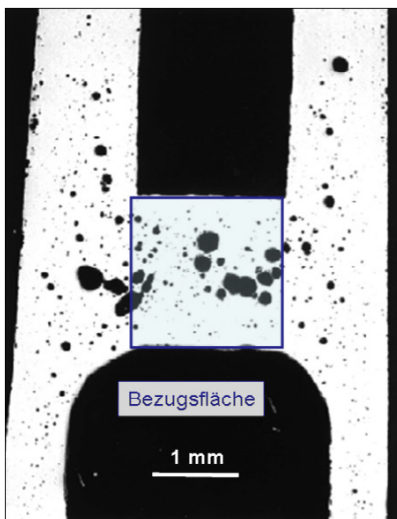
4 Messfelder á 3*3 mm²
(Bezugsfläche 1)

4 Messfelder á 2*2 mm²
(Bezugsfläche 2)

Bild A 2.1 Aluminium-Druckguss

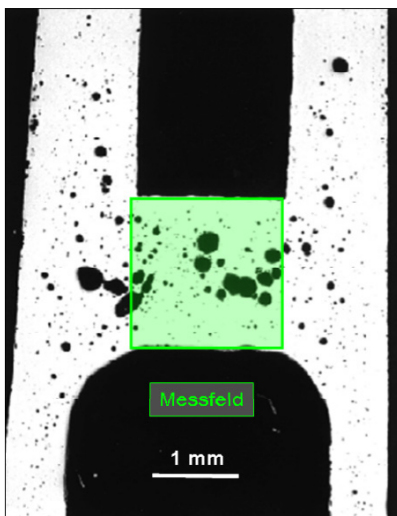


Schnittfläche



Bezugsfläche

Bereich mit höheren Anforderungen



Messfeld

Messfeld = Bezugsfläche (1,8*1,8 mm²)

Bild A 2.2: Aluminium-Druckguss



Anhang 3 – 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 Gussstückoberfläche, 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 Gussstückoberfläche (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. Entgratpressen, 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 Brandrissmuster

Brandrissmuster kennzeichnen sich durch eine spinnwebenartige, erhabene Struktur an der Gussstückoberfläche. Ihre Ursache liegt in einer dauerhaften Schädigung der Dauerform durch Risse (Brandrisse). Diese Risse in den Formen entstehen in Bereichen mit besonders hoher Temperaturwechselbeanspruchung.

A 1.6 Weitere Fehlermerkmale gegossener Bauteile

Maßabweichung, unvollständige Formfüllung, Volumenschwankungen, Verzug, Einschlüsse, Auswerfermarken, Fließlinien, Einfallstellen, „Lakes“, Gewaltrisse und gefleckte Oberfläche sind weitere Fehlermerkmale von Gussstücken.

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