

FVA 771	<b>Qualitätsbestimmung für Schneckenradbronzen</b>	 Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V.
---------	--	--

## Inhaltsverzeichnis

1. Zielsetzung und Anwendungsbereich.....	2
2. Proben.....	2
2.1. Anzahl .....	2
2.2. Metallographischer Schliff .....	3
2.2.1. Form und Lage.....	3
2.2.2. Vorbereitung.....	5
2.3. Zugprobe.....	6
2.3.1. Form und Lage.....	6
3. Bestimmung der Qualitätskriterien.....	6
3.1. Gefügeausbildung .....	6
3.1.1. Korngröße .....	6
3.1.2. Prozentualer $\delta$ -Phasen- und Volumendefizitanteil .....	7
3.2. Mechanische Eigenschaften .....	8
3.2.1. Härte (Brinell) .....	8
3.2.2. Festigkeitswerte aus dem Zugversuch.....	8
3.3. Chemische Zusammensetzung.....	8
4. Grenzwerte für die Qualitätskriterien .....	9
5. Dokumentation .....	9
6. Literatur .....	9
Anhang A: Beispielhafte Dokumentation.....	10

- Diese Richtlinie ist inhaltlich gleich mit der BDG - Richtlinie P 771.

## **1. Zielsetzung und Anwendungsbereich**

Diese Richtlinie bietet die Grundlage für die Festlegung von technischen Lieferbedingungen für die Lieferung von Gussstücken aus den Werkstoffen CuSn12Ni2-C (CC484K) der Norm EN 1982 [1] oder deren zwischen Hersteller und Abnehmer abgestimmten Abwandlungen. Für den Einsatz als Schneckenrad in Schneckengetrieben dienen dazu in der gegenwärtigen industriellen Praxis anwendungsspezifische Kriterien für die Gefügeausbildung, für die mechanischen Eigenschaften und für die chemische Zusammensetzung. Zur Bestimmung dieser Kriterien definiert die Richtlinie auf praxistaugliche Art und Weise die Form und Lage der erforderlichen Proben, die Probenvorbereitung, die Prüfverfahren und die Dokumentation der Prüfergebnisse.

## **2. Proben**

Die in diesem Kapitel beschriebenen Proben können hersteller- oder abnehmerseitig zur Prüfung der Qualitätskriterien verwendet werden. Bei der herstellerseitigen Prüfung sind Proben von geeigneten Gussabschnitten zu entnehmen. Die Herstellungs- / Lagebedingungen für diese Gussabschnitte sind vom Abnehmer im Rahmen der Bestellangaben, siehe hierzu auch EN 1982, festzulegen. Für Schneckenräder bestimmte Gussstücke werden in der heutigen Praxis mit Aufmaß auf Schneckenradbreite vorgefertigt, bevor sie an den Abnehmer geliefert werden. Eine axial liegende Zugprobe (siehe Kapitel 2.3.1) lässt sich aus einem derart vorgefertigten Gussstück in der Regel nicht erstellen. Für die abnehmerseitige Prüfung ist in diesem Fall ein gesondertes Gussstück zu bestellen. Der metallographische Schliff lässt sich hingegen aus einem fertigen Schneckenrad und folglich auch aus allen Vorfertigteilen herausarbeiten.

### **2.1. Anzahl**

Für Gussstücke aus Strang- oder Schleuderguss stellt sich erfahrungsgemäß eine annähernd rotationssymmetrische Ausprägung der Qualitätskriterien im Gussstück ein. Um den Prüfaufwand vertretbar zu halten, soll für Gussstücke aus Strang- oder Schleuderguss zunächst jeweils ein metallographischer Schliff und eine Zugprobe zur Bestimmung der Qualitätskriterien aus dem Gussstück herausgearbeitet werden. Die Lage dieser beiden Proben ist über den Umfang des Gussstücks beliebig zu wählen. Im Falle eines nicht erfüllten Qualitätskriteriums sollen Wiederholungsprüfungen gemäß EN 1982 durchgeführt bzw. zwischen Hersteller und Abnehmer abgestimmt werden. Bei Gussstücken, die durch anderweitige Gießverfahren hergestellt wurden, ist bei der Bestellung zwischen Hersteller und Abnehmer abzustimmen, wie viele Schliffe über den Umfang des Gussstücks zur repräsentativen Bestimmung der Qualitätskriterien erforderlich sind.

## 2.2. Metallographischer Schliff

Der metallographische Schliff wird für die Bestimmung der Korngröße, des  $\delta$ -Phasen- und Volumendefizitanteils genutzt.

### 2.2.1. Form und Lage

Der metallographische Schliff kann, wie in Bild 2.1 gezeigt, wahlweise im Radial- oder Stirnschnitt des Gussstücks liegen. Für Strangguss ist die Lage ggf. zwischen Hersteller und Abnehmer abzustimmen. Der Schliff sollte möglichst quadratisch sein und eine Kantenlänge von ca. 20 mm besitzen. Lässt sich diese Kantenlänge aufgrund eines zu kleinen Gussstücks nicht realisieren, so ist die größtmögliche Kantenlänge zu wählen.

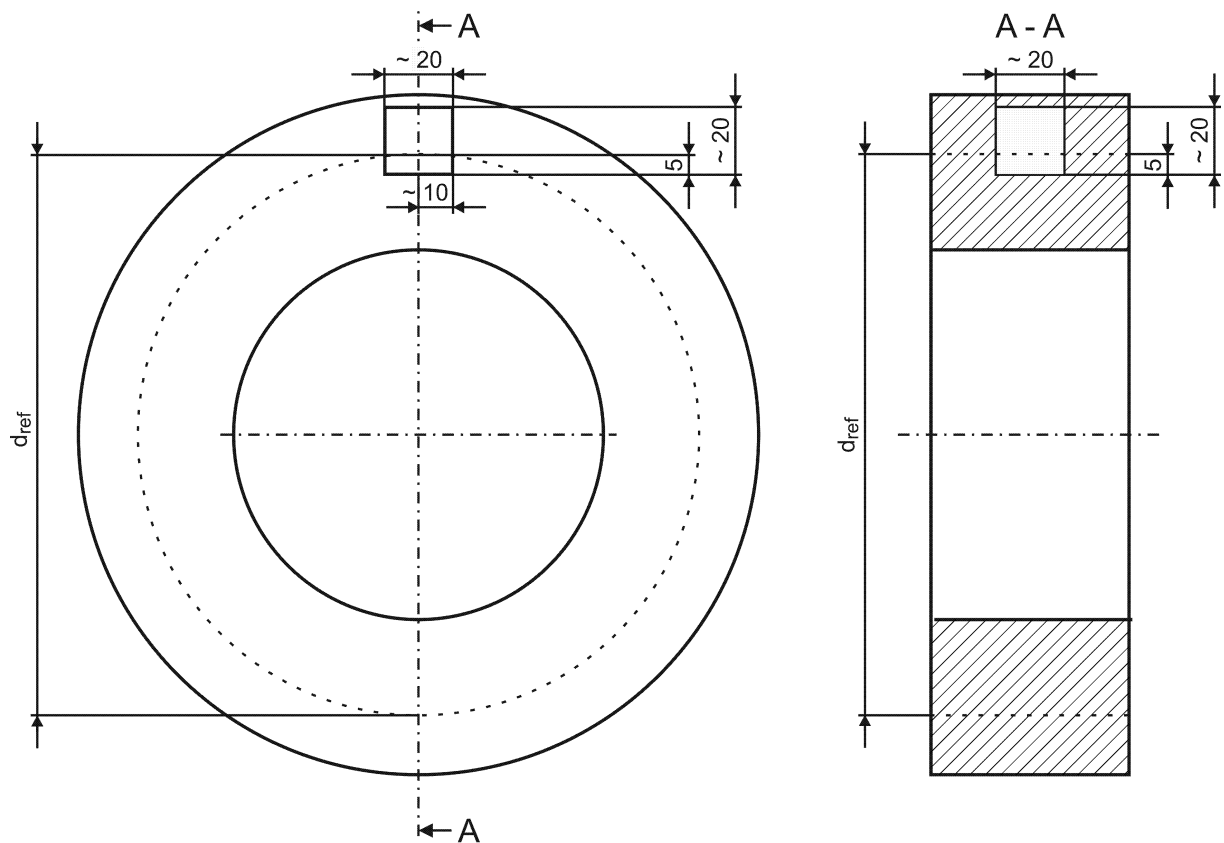


Bild 2.1: Metallographischer Schliff im Stirnschnitt (links) und Radialschnitt (rechts)

Außerdem ist die radiale Lage des Schliffs eindeutig festzulegen, weil die Qualitätskriterien über den Durchmesser des Gussstücks veränderlich sein können. Um eine aufwendige einzelteilspezifische Definition der radialen Lage weitestgehend zu vermeiden, wird der Referenzdurchmesser  $d_{ref}$  eingeführt.

Unter der Annahme, dass der Außendurchmesser eines Schneckenrades  $d_{e2}^1$  durch Abdrehen einer praxisüblichen Schnitzzugabe von rund 2 mm aus dem vorgedrehten Gussstück entsteht, kann der Referenzdurchmesser in Abhängigkeit vom Außendurchmesser des vorgedrehten Gussstücks  $d_v$  nach Gleichung 2.2 berechnet werden. Die Durchmesser  $d_v$ ,  $d_{e2}$ , und  $d_i$  in den Gleichungen 2.1, 2.2 und 2.3 sind in der Einheit mm einzusetzen.

$$d_{\text{ref}} = 0,91 \cdot d_v - 13 \text{ mm, mit der Annahme: } d_v = d_{e2} + 2 \text{ mm} \quad (\text{Gl.2.1})$$

Wird das Gussstück entgegen der heutigen industriellen Praxis nicht in diesem vorgedrehten Zustand beim Hersteller bestellt, muss diesem der Außendurchmesser  $d_{e2}$  des Schneckenrades zur Berechnung des Referenzdurchmessers bekannt sein (siehe Gleichung 2.2).

$$d_{\text{ref}} = 0,91 \cdot d_{e2} - 11 \text{ mm} \quad (\text{Gl. 2.2})$$

Die Gleichungen 2.1 und 2.2 sind so aufgestellt, dass der berechnete Referenzdurchmesser am oder unterhalb des Zahnfußkreisdurchmessers  $d_{f2}$  von praxisüblichen Schneckenrädern liegt. Eine genauere Positionierung ist unter alleiniger Verwendung des Außendurchmessers nicht möglich, da aus einer Gussstückgeometrie Schneckenräder mit unterschiedlicher Zahnhöhe  $h_2$  gefertigt werden können. Ist der berechnete Wert für den Referenzdurchmesser kleiner als der dem Prüfer vorliegende Innendurchmesser des Gussstücks  $d_i$  - dies kann bei sehr dünnen Wandstärken der Fall sein - so ist der Referenzdurchmesser nach Gleichung 2.3 zu berechnen.

$$d_{\text{ref}} = d_i + 5 \text{ mm} \quad (\text{Gl. 2.3})$$

Die Lage des Schlicfs mit Bezug auf den Referenzdurchmesser ist so zu wählen, dass die Unterkante des Schlicfs 5 mm unterhalb des Referenzdurchmessers liegt. Somit liegt der Bestimmung der Qualitätskriterien näherungsweise der spätere Verzahnungs- bzw. primäre Funktionsbereich des Gussstücks zu Grunde. Sind abnehmerseitig weitere Bereiche des Gussstücks als Funktionsbereich definiert, sind gesonderte Vereinbarungen mit dem Hersteller zu treffen.

---

<sup>1</sup> Zur Beschreibung der Schneckenradgeometrie dienen Begriffe nach DIN 3975-1 [2]. Folgende Begriffe werden verwendet: Außendurchmesser des Schneckenrades  $d_{e2}$ , Zahnfußkreisdurchmesser des Schneckenrades  $d_{f2}$  und Zahnhöhe des Schneckenrades  $h_2$ .

## 2.2.2. Vorbereitung

Diese Richtlinie beschreibt grundsätzlich keine verbindliche Vorgehensweise für die Vorbereitung des metallographischen Schliffs, nachfolgend werden lediglich Empfehlungen für das Schleifen und Polieren sowie das Ätzen gegeben. Ziel des Schleifens und Polierens ist eine ebene und kratzerfreie Fläche. Zur Bestimmung der Qualitätskriterien wird empfohlen, mindestens bis zu einer Körnung von 1  $\mu\text{m}$  zu polieren. Das nachfolgende Bild 2.2 stellt einem gut polierten Schliff (links) unterschiedliche Beispiele mangelhafter Probenvorbereitung (rechts) gegenüber. An Position 1 sind Kratzer (Spuren von vorheriger Bearbeitung, schmutzige Polierscheibe) und an Position 2 durch eine abgenutzte Polierscheibe entstandene Schlieren gezeigt. Neben der korrekten mechanischen Bearbeitung ist auch bei der Fotodokumentation auf die Sauberkeit des Schliffs zu achten. Als Beispiel für einen unsauberen Schliff ist an Position 3 ein Staubkorn gezeigt.

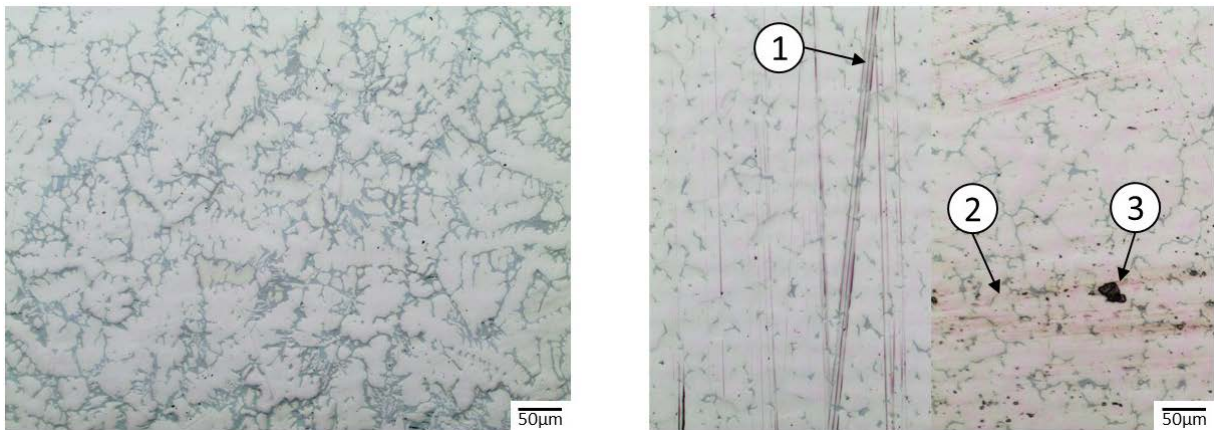


Bild 2.2: Gut präparierter Schliff (links) und Beispiele für Präparationsfehler (rechts)

Für die Bestimmung der Korngröße wird der zuvor polierte Schliff mit einer geeigneten Ätzlösung behandelt. Industriell bewährt hat sich die Ätzlösung nach Adler [3]. Grundsätzlich liegt es im Ermessen des Metallographen eine kontrastreiche Korngrenzenätzung zu erzielen. Zur Orientierung sei erwähnt, dass die Ätzdauer bei frisch angesetzter Lösung nur wenige Sekunden beträgt. Das nachfolgende Bild 2.3 zeigt einen gut geätzten Schliff (links) und zwei Beispiele für eine ungeeignete Ätzung (rechts). In Beispiel 1 sind die Korngrenzen durch eine Überätzung nicht mehr erkennbar, in Beispiel 2 sind die Korngrenzen durch eine zu schwache Ätzung teilweise nicht sichtbar.

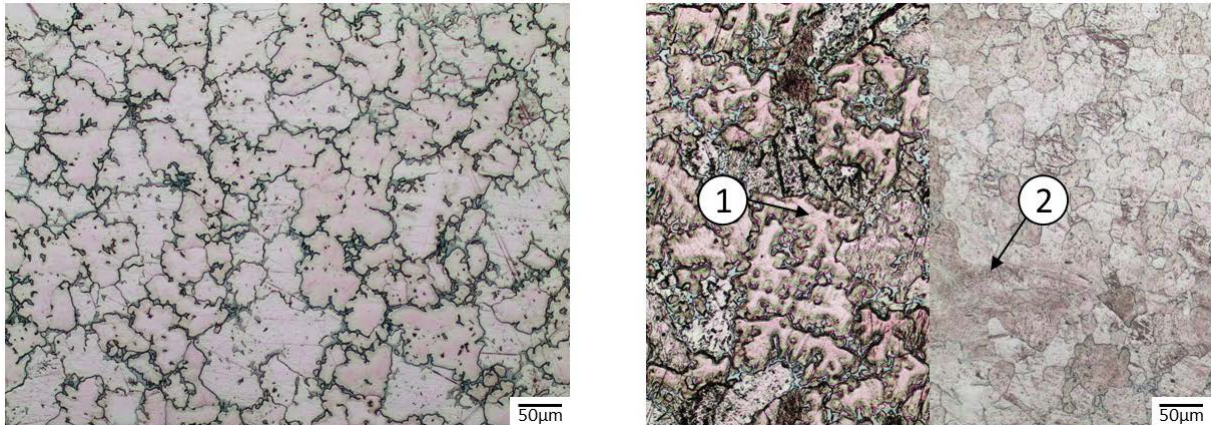


Bild 2.3: Gut geätzter Schliff (links) und Beispiele für eine ungeeignete Ätzung (rechts)

## 2.3. Zugprobe

Die Zugprobe dient der Bestimmung von relevanten Festigkeitswerten

### 2.3.1. Form und Lage

Die Zugprobe ist entsprechend der DIN 50125 [4] zu gestalten. Aus der praktischen Erfahrung heraus wird ein Nenndurchmesser  $d_0 = 10$  mm empfohlen. Untersuchungen mit Proben kleineren Nenndurchmessers führen aufgrund der grundsätzlich inhomogenen Gefügeausbildung zu größeren Streuungen. Die EN 1982 definiert den Ort der Probenentnahme abhängig vom Gießverfahren und den Abmessungen des Gussstücks. Praktische Untersuchungen zeigen, dass sich die Ergebnisse des Zugversuchs in Abhängigkeit der Probenentnahmerichtung, axial oder tangential, unterscheiden. Beim Vergleich von Prüfergebnissen ist die Probenentnahmerichtung zu berücksichtigen. Ergänzend zu den Angaben in EN 1982 sollte die Zugprobe in Abhängigkeit des Vordrehmaßes möglichst außen genommen werden.

## 3. Bestimmung der Qualitätskriterien

### 3.1. Gefügeausbildung

#### 3.1.1. Korngröße

Die Korngrößenmessung kann wahlweise nach dem Verfahren ASTM E-112-13 [5] oder DIN EN ISO 2624 [6] am geätzten Schliff durchgeführt werden. Die nominelle Korngröße bestimmt sich als Mittelwert aus 3 Einzelmessungen. Die Einzelmessungen sind in Höhe des Referenzdurchmessers  $d_{ref}$  und gleichmäßig über die Schlibfbreite verteilt durchzuführen.



### 3.1.2. *Prozentualer $\delta$ -Phasen- und Volumendefizitanteil*

Die prozentualen Flächenanteile für die  $\delta$ -Phase und für die Volumendefizite<sup>2</sup> sind mittels quantitativer Bildanalyse in Anlehnung an das in der BDG-Richtlinie P211 [7] beschriebene Verfahren am ungeätzten metallographischen Schliff zu bestimmen. Bild 3.1 (links) zeigt drei farblich differenzierbare Bereiche: Die helle Grundmatrix (1), die dunklere  $\delta$ -Phase (2) und schwarz erscheinende Volumendefizite (3).

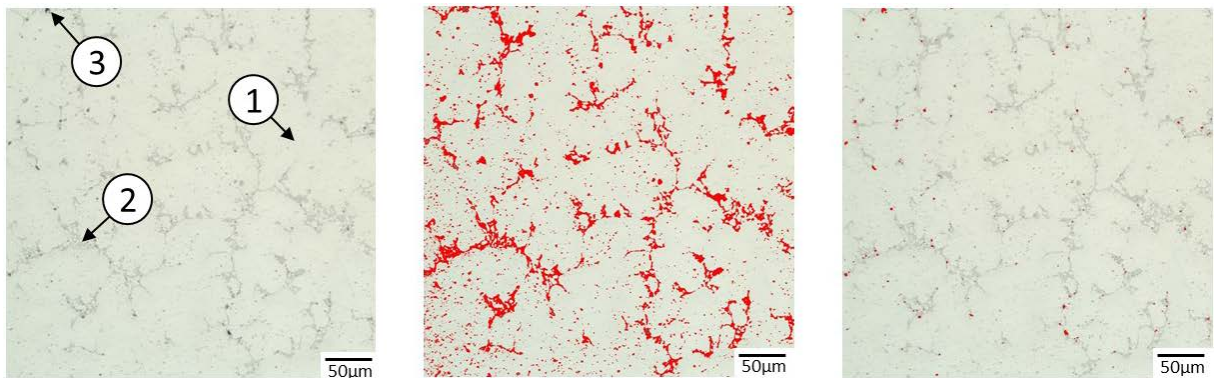


Bild 3.1: Ungeätzter Schliff (links) sowie mittels Farbschwellwerten markierte Farbbereiche:  $\delta$ -Phase (mittig) und Volumendefizite (rechts)

Mittels Computerprogrammen für optische Bildauswertungen, die ein Auszählen von farblich abgegrenzten Bildbereichen anhand von Farbschwellwerten ermöglichen, ist ein prozentualer Flächenanteil für den jeweiligen Farbbereich bestimmbar. Im Bild 3.1 sind die markierten Farbbereiche zur Bestimmung des Flächenanteils für die  $\delta$ -Phase (mittig) und die Volumendefizite (rechts) dargestellt. Diese prozentualen Flächenanteile werden als Qualitätskriterien für Schneckenradbronzen betrachtet. Anmerkend sei erwähnt, dass im Schliffbild weitere Elemente, wie z.B. nicht metallische Einschlüsse, sonstige Fehlstellen oder Präparationsfehler, enthalten sein können, welche aufgrund ihrer farblichen Erscheinung mit diesem Verfahren nicht von dem  $\delta$ -Phasenanteil oder den Volumendefiziten unterschieden werden können.

Zur Bestimmung der Flächenanteile ist ein arithmetisches Mittel aus mindestens 3 Einzelmessungen zu bilden.

<sup>2</sup> Der Begriff Volumendefizite umfasst Warmrisse sowie Schwindungs- und Gasporositäten,

Die Größe des auszuwertenden Gefügebereichs für eine Einzelmessung sollte in der Regel analog zum Vorgehen bei der Korngrößenbestimmung nach ASTM E-112-13 oder DIN EN ISO 2624 gewählt werden. Hiervon kann abhängig von der Gefügeausbildung in Abstimmung zwischen Hersteller und Abnehmer abgewichen werden. Die Einzelmessungen sollten in Höhenrichtung des metallographischen Schliffs gleichmäßig verteilt liegen. Im Falle einer stark inhomogenen Gefügeausbildung können durchaus mehr Einzelmessungen erforderlich sein, um einen repräsentativen Mittelwert für den  $\delta$ -Phasenanteil bestimmen zu können. Die Anzahl an erforderlichen Einzelmessungen ist im Zweifelsfall zwischen Hersteller und Abnehmer abzustimmen. Zusätzlich zu den variierenden Werkstoffeigenschaften, Mess- und Analysemethoden sorgt ein Bedienerinfluss im Rahmen der quantitativen Bildanalyse für Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der Flächenanteile. Diese Ungenauigkeit sollte bei der Bewertung der Flächenanteile berücksichtigt werden.

## **3.2. Mechanische Eigenschaften**

### **3.2.1. Härte (Brinell)**

Die Härtemessung kann in Anlehnung an die EN 1982 am Gussstück, dem metallographischen Schliff oder der Zugprobe nach EN ISO 6506-1 [8] durchgeführt werden. Abweichend zu den in EN 1982 genannten Kugeldurchmessern, hat sich die Prüfung mit einem Kugeldurchmesser von 5 mm und einer Prüfkraft von 2452,5 N oder mit einem Kugeldurchmesser von 10 mm und einer Prüfkraft von 9807 N industriell bewährt. Nach EN ISO 6506-1 entspricht dieses Vorgehen einem Beanspruchungsgrad  $0,102 \cdot F/D^2 = 10$ . Die zu beurteilende Härte bestimmt sich aus 3 Einzelmessungen, die unter Einhaltung der Vorgaben nach EN ISO 6506-1 am Referenzdurchmesser durchzuführen sind.

### **3.2.2. Festigkeitswerte aus dem Zugversuch**

Die Durchführung des Zugversuchs sollte nach DIN EN ISO 6892-1 [9] erfolgen. Es sind die Größen Zugfestigkeit  $R_m$ , 0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2}$  und die Bruchdehnung  $A$  als Qualitätskriterien zu ermitteln

## **3.3. Chemische Zusammensetzung**

Die Durchführung der Analyse sollte nach EN 1982 erfolgen.



#### **4. Grenzwerte für die Qualitätskriterien**

Als Beurteilungsgrundlage für die mechanischen Eigenschaften und die chemische Zusammensetzung dienen die Vorgaben der EN 1982 für die Werkstoffe CuSn12Ni2-C (CC484K). Für die Beurteilung der Gefügeausbildung existieren gegenwärtig keine normierten Grenzwerte. Im Bedarfsfall können in Absprache zwischen Hersteller und Abnehmer Grenzwerte abgewandelt oder eingeführt werden.

#### **5. Dokumentation**

Im Anhang A ist ein Beispiel für die Dokumentation der Prüfergebnisse für die in dieser Richtlinie beschriebenen Qualitätskriterien gezeigt. Diese Dokumentation stellt einen inhaltlichen Vorschlag für den technischen Teil eines Abnahmeprüfzeugnisses entsprechend DIN EN 10204 [10] dar. Der Umfang und Detaillierungsgrad eines Abnahmeprüfzeugnisses sind zwischen Hersteller und Abnehmer abzustimmen.

#### **6. Literatur**

- [1] EN 1982 – Kupfer und Kupferlegierungen, Beuth Verlag, 2008
- [2] DIN 3975-1 – Begriffe und Bestimmungsgrößen für Zylinder-Schneckengetriebe mit sich rechtwinklig kreuzenden Achsen — Teil 1: Schnecke und Schneckenrad, Beuth Verlag, 2012
- [3] Hasse, S.; Giesserei Lexikon; S.88; Fachverlag Schiele & Schoen, 2007
- [4] DIN 50125 – Prüfung metallischer Werkstoffe - Zugproben, Beuth Verlag, 2009
- [5] ASTM E-112-13 – Standard Test Methods for Determining Average Grain Size, 2013
- [6] DIN EN ISO 2624 – Kupfer und Kupferlegierungen - Bestimmen der mittleren Korngröße, Beuth Verlag, 1995
- [7] BDG-Richtlinie P211 – Volumendefizite von Gussstücken aus Kupfer und Kupfergusswerkstoffen, BDG-Informationszentrum Giesserei, 2010
- [8] EN ISO 6506-1 – Härteprüfung nach Brinell, Beuth Verlag, 1999
- [9] DIN EN ISO 6892-1 – Zugversuch – Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur, Beuth Verlag, 2009
- [10] DIN EN 10204 – Metallische Erzeugnisse – Arten von Prüfbescheinigungen; Deutsche Fassung EN 10204:2004, Beuth Verlag, 2005

## Anhang A: Beispielhafte Dokumentation

Die nachfolgenden Tabellen zeigen eine Dokumentation der Prüfergebnisse für die in dieser Richtlinie beschriebenen Qualitätskriterien. Exemplarisch mit grauem Text befüllte Tabellenfelder sind vom Prüfer auszufüllen.

**Tabelle A.1: Chemische Zusammensetzung**

Chemische Zusammensetzung nach EN 1982						Werkstoff: CuSn12Ni2-C-GZ						
Element	Cu	Sn	Ni	P	Zn*	Pb	Fe*	Sb	Mn	S	Al	Si
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Min	84,5	11,0	1,5	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-
Max	87,5	13,0	2,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,05	0,01	0,01
Ist	85,0	12,0	2,0	0,15	0,1	0,05	0,1	0,04	0,1	0,01	-	-

**Tabelle A.2: Härte**

Härte (Brinell) nach EN ISO 6506-1, EN 1982		Kugeldurchmesser:	
		5 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
Referenzdurchmesser $d_{ref}$ :	160 mm	10 mm	<input type="checkbox"/>
Messung		Härte [HB]	
1		100	
2		110	
3		105	
Arithmetischer Mittelwert		105	
Soll		min. 95	

Tabelle A.3: Festigkeitswerte

<b>Festigkeitswerte</b> nach DIN EN ISO 6892-1 und EN 1982		Probenentnahmerichtung:	
Probenentnahmeort:	Außen	Tangential	<input checked="" type="checkbox"/>
Nenn Durchmesser:	10 mm	Axial	<input type="checkbox"/>
Wert	Rm	Rp 0,2	A
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]
<b>Ist</b>	<b>325</b>	<b>200</b>	<b>10</b>
Min	300	180	8,0

**Tabelle A.4: Korngröße**

Korngröße		Verfahren:		
		ASTM E-112-13	<input checked="" type="checkbox"/>	
Referenzdurchmesser $d_{ref}$ :		160 mm	DIN EN ISO 2624	<input type="checkbox"/>
Messung	Ausgewerteter Gefügebereich	Messwert [ $\mu\text{m}$ ]		
1		105		
2		86		
3		82		
<b>Nominelle Korngröße (Arithmetischer Mittelwert)</b>			<b>91</b>	
Soll			...	

Tabelle A.5:  $\delta$ -Phasenanteil


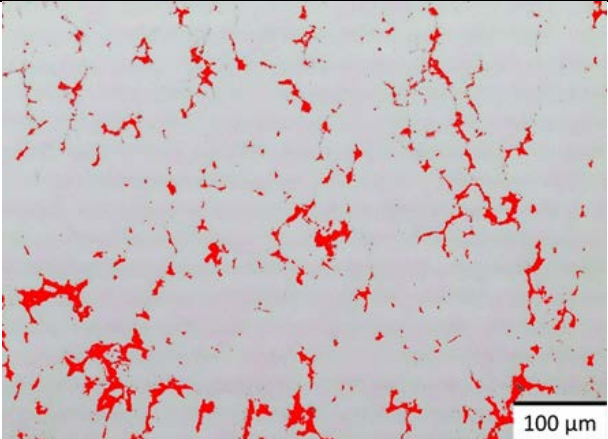
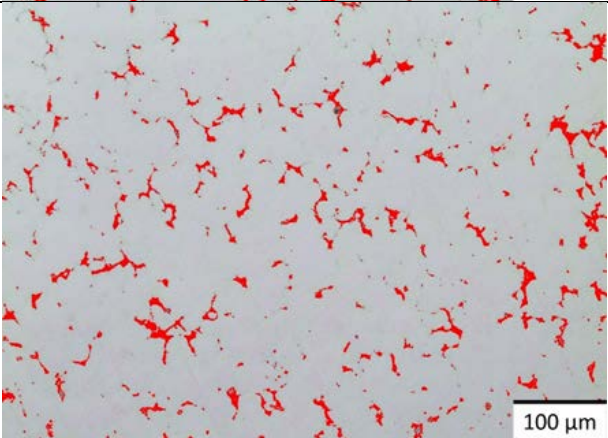
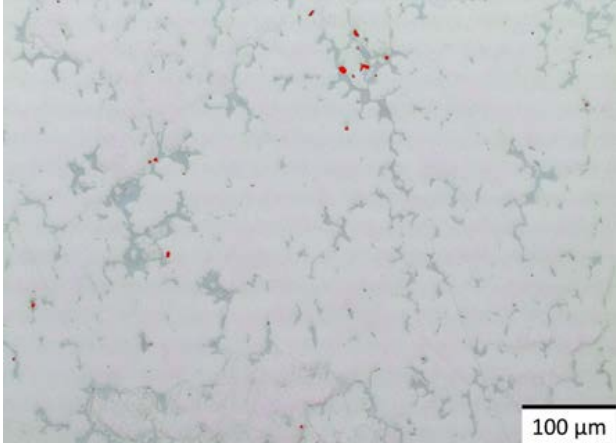


<b><math>\delta</math>-Phasenanteil</b>			
Referenzdurchmesser $d_{ref}$ :		160 mm	Prüfer:
			001
Messung	Ausgewerteter Gefügebereich		$\delta$ -Phasenanteil in [%]
1			5,6
2			5,2
3			4,8
<b>Arithmetischer Mittelwert</b>			<b>5,2</b>
Soll			...

Tabelle A.6: Volumendefizitanteil

Volumendefizitanteil			
Referenzdurchmesser $d_{ref}$ :		160 mm	Prüfer:
			001
Messung	Ausgewerteter Gefügebereich		Volumendefizitanteil in [%]
1			0,06
2			0,04
3			0,03
<b>Arithmetischer Mittelwert</b>			<b>0,04</b>
Soll			...