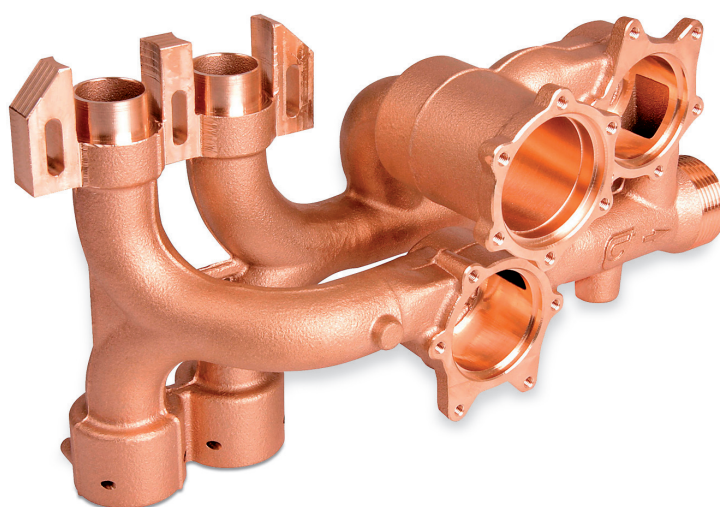


Guss aus Kupfer und Kupferlegierungen



Technische Richtlinien



Impressum

Herausgeber

**Bundesverband der Deutschen
Gießerei-Industrie**

Hansaallee 203
40549 Düsseldorf
Tel: 0211/6871 - 0
Fax: 0211/6871 - 333
www.bdguss.de

Deutsches Kupferinstitut

Heinrichstraße 24
40239 Düsseldorf
Tel: 0211/239469 - 0
Fax: 0211/239469 - 10
www.kupferinstitut.de

Titelfotos

Kemper, MMG

Überarbeitet durch

Theodor Buschenhenke
Dr. Franz Josef Feikus
Rudolf Heigl
Marc-Aurel Hett
Guido Jerusalem
Frank Leistritz
Bernhard Lucas
Ursula Maiworm
Albrecht Schupp
Pascal Steinküller
Dr. Ladjji Tikana
Michael von Samson

Überarbeitete Fassung April 2011

Diese Technischen Richtlinien für den Formguss aus Kupfer und Kupferlegierungen sind in erster Linie für den Anwender, Konstruktions- und Fertigungsingenieur bestimmt und sollen mithilfe, ihm die Zusammenarbeit mit dem Gießereifachmann und dem Metallurgen zu erleichtern. Damit dienen diese Richtlinien der technischen und wirtschaftlichen Entwicklung.

Das bereits seit Jahrtausenden von der Menschheit verwendete Kupfer weist sehr günstige Gebrauchseigenschaften auf. Der Metallurgie und der Metallkunde ist es gelungen, die vorteilhaften Grundeigenschaften des Kupfers durch Legieren mit anderen Metallen zu verändern und den vielfältigen funktionellen Anforderungen der modernen Technik anzupassen.

Die Auswahl der Legierungen und der dafür geeigneten Gießverfahren richtet sich - werkstoff- und gießgerechte Konstruktion vorausgesetzt - in erster Linie nach der Funktion und Beanspruchung des gegossenen Bauteils. Es ist daher zweckmäßig, wenn sich der Konstrukteur so frühzeitig wie möglich mit der ausführenden Gießerei in Verbindung setzt.

Die Formgebung durch Gießen nach allen bekannten Gießverfahren ermöglicht dabei in vielen Fällen eine technisch wie wirtschaftlich gleichermaßen günstige Herstellung der benötigten Bau- und Konstruktionselemente, sei es als Einzelstück oder in großen Stückzahlen für die Serienfertigung.

Der Konstrukteur, der in die Einzelheiten gehen muss und der für das Bauteil verantwortlich ist, wird dieser Broschüre viele Möglichkeiten und Hinweise für das Konstruieren mit Kupfer-Gusswerkstoffen entnehmen können.

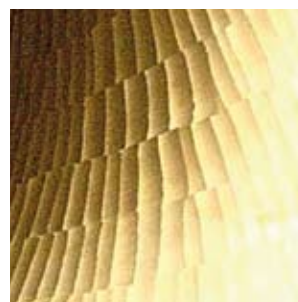
Der Gießer andererseits wird den Technischen Richtlinien wertvolle Hinweise für die tägliche Praxis entnehmen können.

Düsseldorf, im April 2011

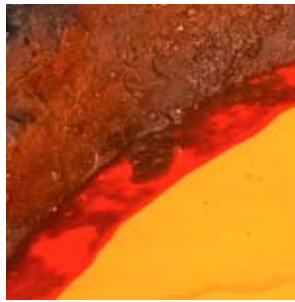
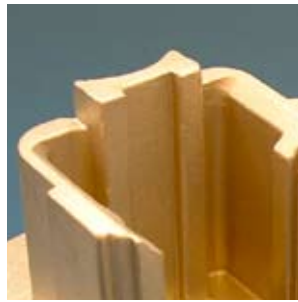
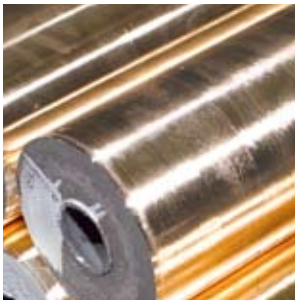
Die herausgebenden Institutionen erteilen gerne weitere Auskünfte.

**Bundesverband der Deutschen
Gießerei-Industrie (BDG)**

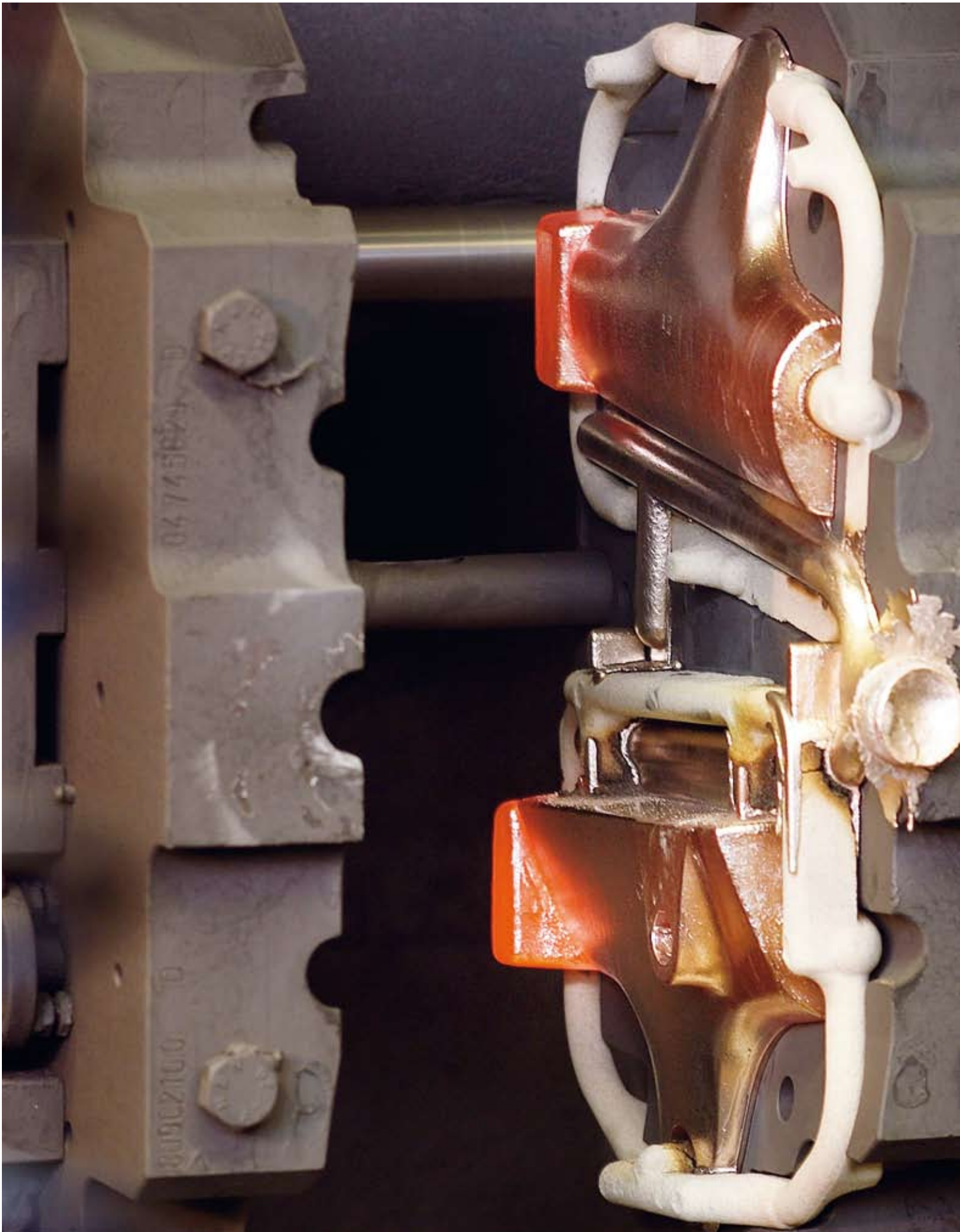
**Deutsches
Kupferinstitut (DKI)**

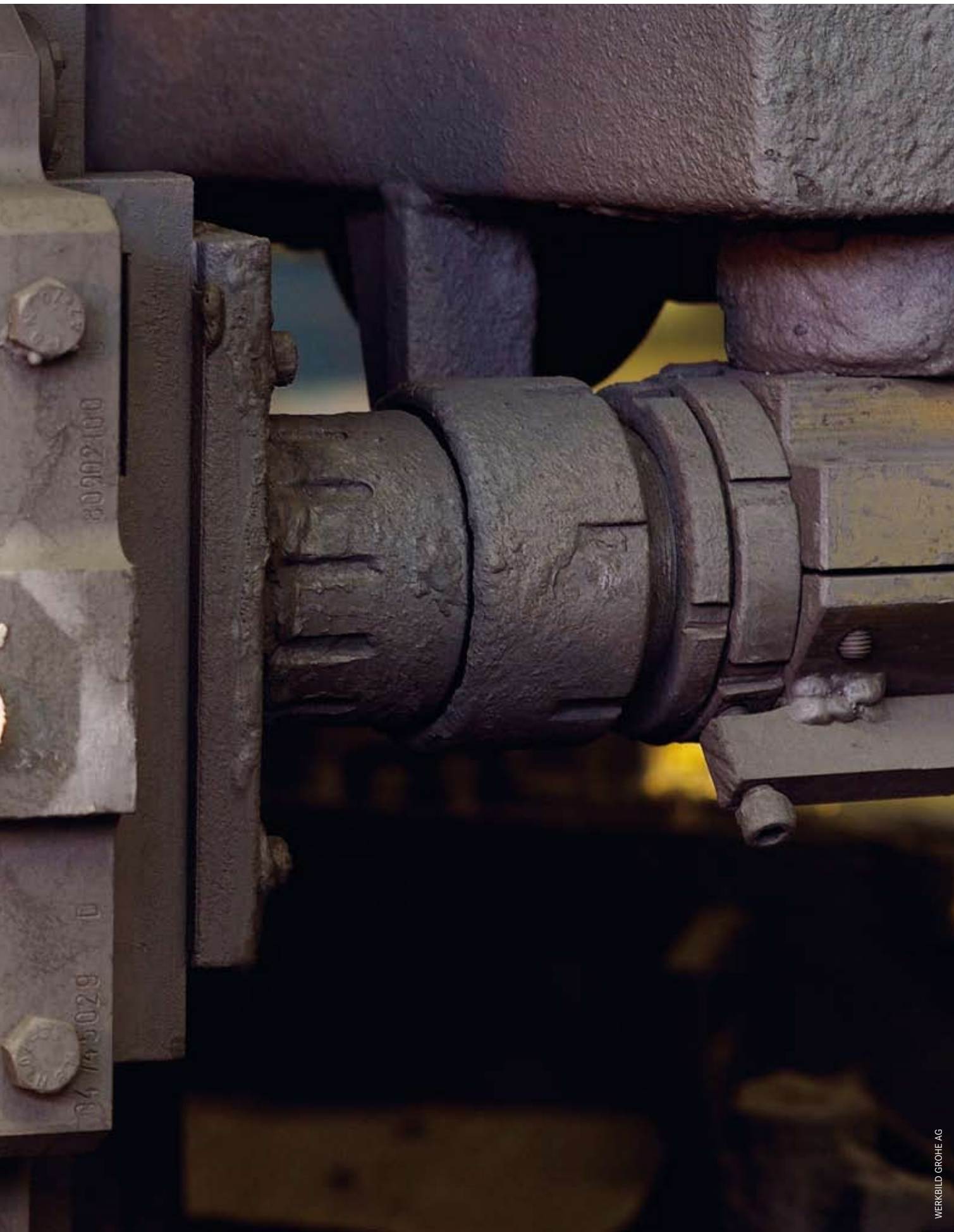


1	Kupfer-Gusswerkstoffe	8
1.1	Allgemeines	8
1.2	Legierungsgruppen und Kennzeichnung	8
1.3	Beschreibung der Legierungen	8
1.3.1	Kupfer und Kupfer-Chrom-Gusslegierung	9
1.3.2	Kupfer-Zink-Gusslegierungen	9
1.3.3	Kupfer-Zinn-Gusslegierungen	10
1.3.4	Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen	10
1.3.5	Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen	11
1.3.6	Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen	11
1.3.7	Kupfer-Mangan-Aluminium-Gusslegierung	12
1.3.8	Kupfer-Nickel-Gusslegierungen	12
1.3.9	Nicht nach DIN EN 1982 genormte Gusslegierungen	12
1.4	Werkstoffeigenschaften	14
1.4.1	Physikalische Eigenschaften	14
1.4.2	Mechanische Eigenschaften bei zügiger Beanspruchung	14
1.4.3	Mechanische Eigenschaften bei zyklischer Beanspruchung	17
1.4.4	Werkstoffverhalten bei hohen Temperaturen	18
1.4.5	Werkstoffverhalten bei tiefen Temperaturen	18
1.4.6	Korrosionseigenschaften	18
1.5	Anwendungsbereiche der Werkstoffe	21
1.5.1	Armaturen	21
1.5.2	Gleitwerkstoffe und Getriebeteile	21
1.5.3	Konstruktionswerkstoffe	24
1.5.4	Leitwerkstoffe	24
2	Form- und Gießverfahren	26
2.1	Sandgießverfahren	28
2.2	Kokillengießverfahren	29
2.2.1	Schwerkraft-Kokillengießverfahren	29
2.2.2	Niederdruck-Kokillengießverfahren	29
2.2.3	Schleuder-Kokillengießverfahren	29
2.3	Stranggießverfahren	30
2.4	Druckgießverfahren	30
2.5	Feingießverfahren	31
2.6	Herstellung und Verwendung von Sandkernen	31
3	Wärmebehandlung von Gussstücken aus Kupferwerkstoffen	32
4	Werkstoff- und gießgerechte Konstruktion	34
4.1	Allgemeines	34
4.2	Teilung	34
4.3	Speiserflächen und Anschittleisten	34
4.4	Wanddicken, Übergänge, Verrippungen	36
4.5	Aushebeschrägen, Auswerferaugen	38
4.6	Bohrungen, Durchbrüche	38



4.7	Kerne	40
4.8	Hinterschneidungen/Schieber	40
4.9	Schriftzeichen	40
4.10	Bearbeitungszugaben	41
4.11	Schwindmaße	42
4.12	Toleranzen	42
4.12.1	Einhaltbare Toleranzen (erzielbare Genauigkeit)	44
4.12.2	Allgemeintoleranzen	44
4.12.3	Form- und Lagetoleranzen	46
4.12.4	Tolerierung Strangguss	46
5	Prozesssimulation zur Bauteil- und Werkzeugauslegung	50
5.1	Zielsetzungen der gießtechnischen Simulation	50
5.2	Mathematische und physikalische Modelle	50
5.3	Aufbau der Programme	50
5.4	Ablaufbeschreibung der Simulationsrechnung	51
5.5	Simulation in der Lebensdauervorhersage	52
5.6	Technische und organisatorische Integration	52
6	Spanabhebende Bearbeitung	54
7	Oberflächenbehandlung	55
8	Verbindungstechnik	56
8.1	Löten	56
8.2	Schweißen	56
8.3	Kleben	57
8.4	Pressen	57
9	Qualität	58
9.1	Werkstoff, Gefüge, mechanische Eigenschaften, Oberfläche	58
9.1.1	Chemische Zusammensetzung	58
9.1.2	Gefüge	58
9.1.3	Mechanische Eigenschaften	58
9.1.4	Rissprüfung (Farbeindringverfahren)	58
9.1.5	Druckdichtheitsprüfung	58
9.1.6	Oberflächenrauheit von Gussstücken	59
9.2	Prozessfähigkeit	59
9.3	Rückverfolgbarkeit	59
9.4	Beispiele für Kennzeichnungsarten	60
10	Schrifttum	62
10.1	Literaturnachweis	62
10.2	Normen	62
10.3	Richtlinien (Merkblätter) und Schriften des BDG und VDG	64
10.4	Schriften des DKI	64





80902100

04 745029

1 Kupfer-Gusswerkstoffe

1.1 Allgemeines

Kupfer und Kupferlegierungen sind als hochwertige Gusswerkstoffe bekannt. Die Materialkosten von Kupfer-Gusswerkstoffen sind vergleichsweise hoch. Kupfer-Gusswerkstoffe werden hauptsächlich dann verwendet, wenn besondere physikalische Eigenschaften allein oder in Kombination mit mechanisch-technologischen Eigenschaften gefordert werden. Die herausragenden Eigenschaften des unlegierten Kupfers sind sehr gute elektrische und Wärmeleitfähigkeit, gute Verarbeitungseigenschaften, z. B. für die Verbindungstechnik, bei gleichzeitiger guter Korrosionsbeständigkeit. Andererseits ist die Festigkeit und Härte von Guss aus unlegiertem Kupfer vergleichsweise gering. In Abgrenzung zum unlegierten Kupfer zeichnen sich die Kupfer-Gusslegierungen durch höhere Festigkeitswerte, durch eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit und durch gute Verschleißigenschaften, einige Kupfer-Gusslegierungen auch durch gute Gleiteigenschaften aus, allerdings bei verminderter Leitfähigkeit.

Die breite Verwendung von Kupfer-Gusswerkstoffen ist auf die einzigartige Kombination verschiedener Eigenschaften in Verbindung mit vielseitigen Gestaltungsmöglichkeiten durch Gießen zurückzuführen.

Durch das Legieren von Kupfer mit den Elementen Zinn, Zink, Aluminium, Blei, Nickel und Chrom einzeln oder in Kombination lassen sich hohe Festigkeitswerte, gute Gleit- oder Spannungseigenschaften oder eine gute Korrosionsbeständigkeit erzielen. Diese Verbesserungen gehen allerdings teilweise auf Kosten einer verminderten Leitfähigkeit, Lötbarkeit und Duktilität. Die Hauptlegierungselemente bestimmen die wichtigsten Legierungsgruppen, die in der DIN EN 1982 festgelegt sind.

Weitere Elemente wie Eisen, Mangan, Silicium usw. werden zulegiert, um die Eigenschaften speziellen Anforderungen anzupassen:

- > Erhöhung der statischen Festigkeit, Warmfestigkeit und Festigkeit unter zyklischer Beanspruchung;
- > Erhöhung der Härte und des Verschleißwiderstandes;
- > Erzielen einer ausgezeichneten Korrosionsbeständigkeit;
- > Verbesserung der Beständigkeit gegenüber Erosions- und Kavitationsbeanspruchungen;
- > Einstellen guter Gleiteigenschaften und
- > in einigen Fällen auch um verbesserte Gießeigenschaften zu erreichen.

Die Anwendungen der Kupfer-Gusswerkstoffe konzentrieren sich im Wesentlichen auf die folgenden drei Bereiche:

- > Werkstoff für Leitzwecke
- > Gleitwerkstoff und
- > Konstruktionswerkstoff für korrosionsbeanspruchte Teile.

Die Norm DIN EN 1982 legt eine große Anzahl verschiedener Gusslegierungen auf Kupferbasis für die genannten Bereiche fest. Eines der Ziele dieser Broschüre ist es, dem Konstrukteur wie auch dem Anwender die Auswahl des optimalen Gusswerkstoffs für seinen spezifischen Anwendungsfall zu erleichtern. Die Gusshersteller verfügen über Erfahrungen über die Bewährung der von ihnen gelieferten Gusswerkstoffe, die für den Anwender empfehlenswert sind.

1.2 Legierungsgruppen und Kennzeichnung

Kupfer und Kupfer-Legierungen sind wie folgt in Gruppen eingeteilt:

- > Kupfer, Kupfer-Chrom
- > Kupfer-Zink
- > Kupfer-Zinn
- > Kupfer-Zinn-Zink
- > Kupfer-Zinn-Blei
- > Kupfer-Aluminium
- > Kupfer-Mangan-Aluminium
- > Kupfer-Nickel

Die Einteilung der Kupfer-Gusswerkstoffe regelt auch die DIN EN 1982. Sie spezifiziert:

- > die chemische Zusammensetzung der Werkstoffe,
- > die zu gewährleistenden Werkstoffeigenschaften (Zugfestigkeit, 0,2-Dehngrenze, Bruchdehnung, Brinellhärte und elektrische Leitfähigkeit) und
- > sie gibt Hinweise zur Gussstückprüfung und Kennzeichnung.

Bei den historisch gewachsenen Bezeichnungen „Bronze“, „Messing“ und „Rotguss“ ist darauf zu achten, dass mit dem Begriff „Bronze“ ausschließlich Kupfer-Zinn-Legierungen, mit dem Begriff „Messing“ ausschließlich Kupfer-Zink-Legierungen und mit dem Begriff „Rotguss“ ausschließlich Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen belegt werden. Für Lieferspezifikationen und auf Zeichnungen sind die genormten Bezeichnungen zu verwenden.

1.3 Beschreibung der Legierungen

Nachfolgend werden die genormten Kupfer-Gusslegierungen stichwortartig beschrieben mit Hinweisen auf Besonderheiten. Auf die in den Tabellen aufgeführten Gießverfahren wird nur im Bedarfsfall Bezug genommen. Die Legierungen werden auch nach nicht in der Norm genannten Gießverfahren verarbeitet.

Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Gießverfahren				
		Sandguss GS	Kokillenguss GM	Schleuderguss GZ	Strangguss GC	Druckguss GP
Cu-C	CC040A	x	x			
CuCr1-C	CC140C	x	x			

Tabelle 1a: Geeignete Gießverfahren für Kupfer und die Kupferchromlegierung

1.3.1 Kupfer und Kupfer-Chrom-Gusslegierung

In dieser Gruppe sind ein unlegierter Kupfergusswerkstoff und eine aushärtbare Kupfer-Chrom-Gusslegierung enthalten.

Diese Werkstoffe werden vor allem wegen ihrer guten Leitfähigkeit eingesetzt. In der DIN EN 1982 sind für Kokillenguss eine (Mindestleitfähigkeit 55 MS/m) und für Sandguss entsprechend 3 Kupfersorten A, B und C mit Mindestleitfähigkeitswerten von 50 MS/m, 45 MS/m bzw. 32 MS/m genormt. Zur Erhöhung der Warmfestigkeit wird dem Werkstoff mit der niedrigsten elektrischen Leitfähigkeit häufig Zink oder Zinn zugegeben.

Zur Einhaltung geforderter Mindestwerte der elektrischen Leitfähigkeit sind die Verunreinigungen und Beimengungen des unlegierten Kupfers sorgfältig zu kontrollieren. Anforderungen an Schweißbarkeit bzw. Hartlötbarkeit sind in der Bestellung anzugeben.

Bei höheren Anforderungen an die Festigkeit und gleichzeitig hohen Anforderungen an die elektrische Leitfähigkeit wird der aushärtbare Werkstoff CuCr1-C verwendet. Im ausgehärteten Zustand lässt sich – verglichen mit unlegiertem Kupfer – eine 5-fach höhere 0,2%-Dehngrenze erreichen während die elektrische Leitfähigkeit um etwa 10 % sinkt.

1.3.2 Kupfer-Zink-Gusslegierungen

Die Gruppe der Kupfer-Zink-Gusslegierungen, **Tabelle 1b**, lässt sich in drei Untergruppen unterteilen:

- > Kupfer-Zink-Gusslegierungen (bleifrei) und
- > gut spanbare Kupfer-Zink-Gusslegierungen (bleihaltig) und
- > hochfeste, legierte Gusswerkstoffe (CuZn mit Al, Si, Mn, ...).

Separat davon stehen die zwei Legierungen CuZn15As-C und CuZn16Si4-C.

Die Kupfer-Zink-Gusslegierungen werden in der Regel als Konstruktionswerkstoffe eingesetzt. Einige Kupfer-Zink-Gusslegierungen verwendet man auch als Leitwerkstoffe, wenn die Anforderungen an die Leitfähigkeit nicht sehr hoch sind.

Bei Kupfer-Zink-Legierungen liegt das Erstarrungsintervall in der Spanne von 850 – 940 °C. Dieses niedrige Temperaturniveau macht es möglich, dass die Kupfer-Zink-Legierungen im Druckgießverfahren verarbeitet werden können.

Die bleilegierten *Kupfer-Zink-Gusslegierungen* sind

- > gut gießbar,
- > korrosionsbeständig,
- > gut bearbeitbar und
- > kostengünstig.

Sie werden für Metallwaren, Beschläge und Armaturen verwendet.

CuZn33Pb2-C

- > Standardwerkstoff für Sandgussstücke
- > Einsatz für Armaturen und Gehäuse
- > Einsatz für Konstruktionsteile
- > auch für Leitzwecke.

Die *hochfesten aluminiumlegierten Kupfer-Zink-Gusslegierungen* erhalten durch Zugabe von mindestens zwei der Elemente Al, Mn, Fe, Si und/oder Ni die hohen Festigkeitswerte. Dabei wirken die Elemente Al, Mn, Si, Fe und Sn wie Zink und verschieben im Zustandsdiagramm die Phasengrenze der β -Mischkristalle zu höheren Kupfergehalten und schränken den Bereich der α -Mischkristalle ein. Nur Nickel wirkt wie Kupfer und verbreitert im Zustandsschaubild den Bereich der homogenen Legierungen bestehend aus α -Mischkristallen.

Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Gießverfahren				
		Sandguss GS	Kokillenguss GM	Schleuderguss GZ	Strangguss GC	Druckguss GP
CuZn33Pb2-C	CC750S	x		x		
CuZn33PbSi2-C	CC751S					x
CuZn35PbAl-C	CC752S		x			x
CuZn37Pb2Ni1Al-C	CC753S		x			
CuZn39Pb1Al-C	CC754S	x	x	x		x
CuZn39Pb1AlB-C	CC755S		x			x
CuZn15As-C	CC760S	x				
CuZn16Si4-C	CC761S	x	x	x	x	x
CuZn25Al5Mn4Fe3-C	CC762S	x	x	x	x	
CuZn32Al2Mn2Fe1-C	CC763S	x				x
CuZn34Mn3Al2Fe1-C	CC764S	x	x	x		
CuZn35Mn2Al1Fe1-C	CC765S	x	x	x	x	
CuZn37Al1-C	CC766S		x			
CuZn38Al-C	CC767C		x			

Tabelle 1b: Geeignete Gießverfahren für Kupfer-Zink-Legierungen

Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Gießverfahren				
		Sandguss GS	Kokillenguss GM	Schleuderguss GZ	Strangguss GC	Druckguss GP
CuSn10-C	CC480K	x	x	x	x	
CuSn11P-C	CC481K	x	x	x	x	
CuSn11Pb2-C-C	CC482K	x		x	x	
CuSn12-C	CC483K	x	x	x	x	
CuSn12Ni2-C	CC484K	x		x	x	

Tabelle 1c: Geeignete Gießverfahren für Kupfer-Zinn-Legierungen

CuZn25Al5Mn4Fe3-C/CuZn34Mn3Al2Fe1-C/
CuZn35Mn2Al1Fe1-C:

- > Al-Zusatz (erzeugt hohen Anteil an β -Mischkristall) hat festigkeitssteigernde Wirkung (Zinkäquivalent Al:Zn = 1:6)
- > Mn-Zusatz stabilisiert die β -Phase

CuZn25Al5Mn4Fe3-C

- > hohe statische Festigkeit
- > neigt zur Spannungsriß- und/oder zur selektiven Korrosion (Entzinkung)

CuZn37Al1-C/CuZn38Al-C

- > Verwendung als Konstruktions- und Leitwerkstoffe im Maschinenbau
- > Verwendung in der Elektrotechnik und Feinmechanik
- > Bevorzugt im Kokillenguss mit Stahlkernen eingesetzt

Die arsenhaltige Legierung CuZn15As-C hat folgende Charakteristika

- > gute Seewasserbeständigkeit
- > gute Lötbarkeit (Einsatz im Schiffbau für Lötflansche)
- > relativ gute elektrische Leitfähigkeit von 15 MS/m (\Rightarrow Verwendung für Leitzwecke)

Die siliciumhaltige Legierung CuZn16Si4-C hat sich aufgrund folgender Charakteristika für korrosionsbeanspruchte Teile sehr bewährt:

- > Verfestigung des α -Messing wird durch feindisperse Silicium-Ausscheidungen erzeugt,
- > sehr gut gießbarer Konstruktionswerkstoff (\Rightarrow dünnwandige Gussstücke)
- > günstige Festigkeitseigenschaften,
- > gute Korrosionsbeständigkeit (auch in Meerwasser; bedingt beständig in Meerwasser über ca. 30 °C)
- > Eignung für das Druckgieß- und Kokillengießverfahren
- > Grenze im Eisenhalt beachten! Fe bildet leicht harte und spröde Einschlüsse (Eisensilicide)

Weitere siliciumhaltige CuZn-Legierungen, wie z. B. CuZn10Si3 (noch nicht genormt) sind für den Trinkwasserbereich entwickelt worden.

1.3.3 Kupfer-Zinn-Gusslegierungen

In der DIN EN 1982 werden unter der Gruppe der Kupfer-Zinn-Gusslegierungen fünf verschiedene Legierungen aufgeführt, **Tabelle 1c**. Alle zeichnen sich durch eine hohe Korrosionsbeständigkeit aus und werden auch für Gleit-zwecke eingesetzt.

CuSn10-C

- > weich, hohe Bruchdehnung
- > Hauptanwendung korrosionsbeständige Armaturen, Pumpengehäuse und Pumpenlaufräder
- > Einsatz in korrosiven Brauchwässern oder Meerwasser

CuSn11P-C

- > Phosphor steigert die Härte und Festigkeit
- > hohe P-Gehalte (> 1%) setzen die Bruchdehnung stark herab
- > verbreitete Verwendung in Großbritannien
- > wegen der Formstoff-Reaktionen in Deutschland kaum verwendet

CuSn12-C

- > Standardlegierung für Gleitzwecke

CuSn11Pb2-C

- > für Gleitzwecke (mit Notlaufeigenschaften)
- > Gleitelemente (Buchsen, Lagerschalen und Gleitleisten)

CuSn12Ni2-C (Detailinformationen zum Einsatz im Stranggießverfahren sind [8] zu entnehmen)

- > höhere 0,2%-Dehngrenze und/oder höhere Dauerfestigkeitswerte
- > erhöhte Verschleißbeständigkeit
- > Langlebigkeit
- > Einsatz für Schnecken- und Schraubenradkränze, Spindelmuttern
- > Einsatz für hochbeanspruchte Armaturen sowie für Pumpen- und Turbinenteile

1.3.4 Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen

Diese Werkstoffe zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- > gute Gießbarkeit
- > gute Ver- und Bearbeitbarkeit
- > Temperaturbeständigkeit < 225 °C
- > Korrosionsbeständigkeit
- > Gleiteigenschaften
- > Langlebigkeit

Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Gießverfahren				
		Sandguss GS	Kokillenguss GM	Schleuderguss GZ	Strangguss GC	Druckguss GP
CuSn3Zn8Pb5-C	CC490K	x		x	x	
CuSn5Zn5Pb2-C *	CC499K	x	x	x	x	
CuSn5Zn5Pb5-C	CC491K	x	x	x	x	
CuSn7Zn2Pb3-C	CC492K	x	x	x	x	
CuSn7Zn4Pb7-C	CC493K	x	x	x	x	
CuSn6Zn4Pb2-C	CC498K	x	x	x	x	

* Für Trinkwasseranwendungen darf kein anderes Einzelement 0,02 % überschreiten. Die Summe dieser Einzelemente sollte 0,25% nicht überschreiten. Auf reduzierte Blei- und Nickelgehalte ist zu achten.

Tabelle 1d: Geeignete Gießverfahren für Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen

Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Gießverfahren				
		Sandguss GS	Kokillenguss GM	Schleuderguss GZ	Strangguss GC	Druckguss GP
CuSn5Pb9-C	CC494K	x	x	x	x	
CuSn10Pb10-C	CC495K	x	x	x	x	
CuSn7Pb15-C	CC496K	x		x	x	
CuSn5Pb20-C	CC497K	x		x	x	

Tabelle 1e: Geeignete Gießverfahren für Kupfer-Zinn-Blei-Legierungen

Aus diesen Eigenschaften ergeben sich die Anwendungen in folgenden Bereichen:

- > hochfunktionelle Bauteile
- > Trinkwasserinstallationen
CuSn5Zn5Pb2-C: Standardlegierung für Trinkwasseranwendungen mit guten Gießereigenschaften
- > Konstruktionswerkstoff in der Industrie
CuSn5Zn5Pb5-C: Standardlegierung für Industrie- und Maschinenbauanwendungen mit guten Gießereigenschaften
- > bei entsprechendem Bleigehalt guter Gleitwerkstoff

CuSn3Zn8Pb5-C

- > Konstruktionswerkstoff
- > preisgünstigste Legierung
- > gute Korrosionsbeständigkeit (besser als CuZn-Legierungen)
- > beständig gegenüber Trink- und Brauchwässern
- > gute Warm- und Dauerfestigkeit
- > Einsatzbereich: Warmwasser-, Niederdruckdampfmaschinen

CuSn5Zn5Pb2-C

- > Standardlegierung mit guten Gießereigenschaften
- > hohe Festigkeit
- > ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit
- > sehr gute Bearbeitungseigenschaften
- > qualitativ hochwertige Ventile, Fittings und Rohrleitungsarmaturen
- > für Armaturen-, Wasserpumpen- und Wassermessergehäuse
- > Kunstguss (kleine/große Abmessungen)
- > druckdichte Gussstücke

CuSn5Zn5Pb5-C

- > Standardlegierung mit guten Gießereigenschaften
- > hohe Festigkeit

- > ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit
- > sehr gute Bearbeitungseigenschaften
- > qualitativ hochwertige Ventile, Fittings und Rohrleitungsarmaturen
- > für Armaturen-, Wasserpumpen- und Wassermessergehäuse
- > Kunstguss (kleine/große Abmessungen)
- > druckdichte Gussstücke

CuSn7Zn4Pb7-C

- > Verarbeitung im Schleuder- und Stranggießverfahren
- > Einsatz für Gleitlager und -buchsen (gute Notlaufeigenschaften)

CuSn7Zn2Pb3-C

- > bevorzugt im Schleuder- und Strangguss verarbeitet
- > Standard-Gleitwerkstoff im allgemeinen Maschinenbau (Gleitlager/Gleitbuchsen)
- > für Gleitlager in Kontakt mit gehärteten und ungehärteten Wellen

CuSn7ZnPb3-C

- > Konstruktionswerkstoff
- > hohe Festigkeits- und Dehnungswerte (wenn zulässiger Nickelgehalt voll ausgeschöpft wird)
- > gut druckdicht gießbar

1.3.5 Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen

Die Werkstoffgruppe zeichnet sich durch überragende Gleiteigenschaften und auch durch ei-

ne gute Korrosionsbeständigkeit aus. Die Legierungen lassen sich sowohl im Sandgieß- und die meisten Legierungen auch im Schleuder- oder Stranggießverfahren fertigen, **Tabelle 1e**. Die Gehalte der Legierungselemente Blei und Zinn stehen in einer voneinander abhängigen Menge. Aus metallurgischen Gründen wird mit zunehmendem Bleigehalt der Zinngehalt reduziert.

CuSn5Pb9-C

- > Einsatz für Gleitzwecke, insbesondere für kleine Lagerbuchsen und Gleitlager
- > für Gleitlager mit Weißmetall-Laufflächen (Automobilindustrie)

CuSn10Pb10-C/CuSn7Pb15-C/CuSn5Pb20-C

- > mit steigendem Bleigehalt wird der Werkstoff weicher
- > mit steigendem Bleigehalt werden Gleit- und Notlaufeigenschaften verbessert
- > Einsatz für Gleitlager mit höheren Flächendrücken und höheren Gleitgeschwindigkeiten
- > Legierung mit Bleigehalten von 18 % bis 23 % gießtechnisch schwer zu beherrschen (Stranggießen ausgenommen)

1.3.6 Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen

Die technische Bedeutung der Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen, **Tabelle 1f**, als Konstruktionswerkstoffe ist beachtlich groß und zunehmend. Sie zeichnen sich aus durch:

Tabelle 1f: Geeignete Gießverfahren für Kupfer-Aluminium-Legierungen

Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Gießverfahren				
		Sandguss GS	Kokillenguss GM	Schleuderguss GZ	Strangguss GC	Druckguss GP
CuAl9-C	CC330G		x	x		
CuAl10Fe2-C	CC331G	x	x	x	x	
CuAl10Ni3Fe2-C	CC332G	x	x	x	x	
CuAl10Fe5Ni5-C	CC333G	x	x	x	x	
CuAl11Fe6Ni6-C	CC334G	x	x	x	x	

Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Gießverfahren				
		Sandguss GS	Kokillenguss GM	Schleuderguss GZ	Strangguss GC	Druckguss GP
CuNi10Fe1Mn1-C	CC380H	x		x	x	
CuNi30Fe1Mn1-C	CC381H	x		x		
CuNi30Cr2FeMnSi-C	CC382H	x				
CuNi30Fe1NbSi-C	CC383H	x				

Tabelle 1h: Geeignete Gießverfahren für Kupfer-Nickel-Legierungen

Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Gießverfahren				
		Sandguss GS	Kokillenguss GM	Schleuderguss GZ	Strangguss GC	Druckguss GP
CuMn11Al8Fe3Ni3-C	CC212E	x				

Tabelle 1g: Geeignete Gießverfahren für die Kupfer-Mangan-Aluminium-Legierung

- > hohe Duktilität (ähnlich den Kupfer-Zinn-Gusslegierungen)
- > hohe Festigkeit (ähnlich den hochfesten Kupfer-Zink-Gusslegierungen)
- > hohe Festigkeit unter zyklischer Beanspruchung
- > gute Korrosionsbeständigkeit
- > gute Eignung bei Korrosionsbeanspruchung + schwingender Beanspruchung

Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen sind gießtechnisch mit großer Sorgfalt zu handhaben. Geringe Veränderungen in der Legierungszusammensetzung haben deutliche Veränderungen der mechanischen Eigenschaften zur Folge.

CuAl9-C

- > meerwasserbeständig
- > korrosionsbeständig gegenüber Schwefel- und Essigsäure
- > Einsatz im Schiffbau
- > Apparatebau
- > chemische Industrie (Beizanlagen)

CuAl10Fe2-C

- > Fe-Zusatz zur Anhebung der Festigkeitswerte
- > Fe-Zusatz für Kornfeinung
- > konstante Festigkeitswerte im Temperaturbereich -200 °C bis +200 °C
- > gute Korrosionsbeständigkeit für mechanisch hoch beanspruchte Bauteile im Maschinen- und Apparatebau
- > nicht in chloridhaltigen Medien einzusetzen

CuAl10Ni3Fe2/CuAl10Fe5Ni5-C/ CuAl11Fe6Ni6-C

- > Verarbeitung im Sand-, Kokillen-, Schleuder- und Stranggießverfahren
- > meerwasserbeständig (in kaltem und warmem Meerwasser), wenn Al-Gehalt $\leq 8,5\% + \frac{1}{2}$ Ni-Gehalt
- > hohe Festigkeit mit zunehmendem Al-Gehalt
- > bis etwa 250 °C einsetzbar
- > Einsatz für Schiffpropeller
- > gut mit den Stählen S235 und S275 verschweißbar
- > CuAl10Fe5Ni5-C für Guss-Schweiß-Konstruktionen besonders geeignet, da analysengleiche Halbzeuge (Bleche, Ronden) gefertigt werden

1.3.7 Kupfer-Mangan-Aluminium-Gusslegierung

Tabelle 1g macht Angaben zur einzigen genormten Kupfer-Mangan-Aluminium-Gusslegierung. Die Legierung CuMn11Al8Fe3Ni3-C wird vornehmlich für Schiffpropeller eingesetzt und ist vor allem in Großbritannien verbreitet.

1.3.8 Kupfer-Nickel-Gusslegierungen

Kupfer-Nickel-Gusslegierungen werden für den Schiffbau und die Off-Shore-Technik vergossen. Die genormten Legierungen sind in Tabelle 1h aufgeführt.

Kupfer-Nickel-Gusslegierungen zeichnen sich aus durch

- > Meerwasser- und Erosionsbeständigkeit (Erosionsbeständigkeit nimmt mit steigendem Nickelgehalt zu)

- > gute Eignung bei tiefsten und hohen Temperaturen

CuNi30Cr2FeMnSi-C

- > hochfeste Legierung
- > Cr-Zusatz zur Festigkeitssteigerung
- > Kupfer-Nickel-Mischkristall löst bei hohen Temperaturen viel Chrom. Bei der Abkühlung des Gussstückes zerfällt der Mischkristall in 2 Mischkristalle, deren Cr-Gehalte voneinander verschieden sind. Durch feindisperse Ausscheidungen wird der Werkstoff verfestigt, ohne dass sich die Korrosionsbeständigkeit verschlechtert

CuNi30Fe1NbSi-C

- > Silicium Anteil zur Festigkeitssteigerung
- > Niob Anteil zur Verbesserung der Schweißung

1.3.9 Nicht nach DIN EN 1982 genormte Gusslegierungen

Zu den Kupfer-Gusslegierungen mit den höchsten Festigkeitswerten zählen die aushärtbaren Kupfer-Beryllium-Gusslegierungen. Bei der Herstellung und Verarbeitung von Werkstoffen, die Beryllium enthalten, ist zu beachten, dass Beryllium-Dämpfe und einatembare Schleifstäube die Gesundheit massiv schädigen (\Rightarrow Berylliose). In der Metallmatrix gelöstes Beryllium ist dagegen ungefährlich. Sie werden bei besonders hohen Anforderungen an die Wärmeleitfähigkeit verwendet. Kupfer-Beryllium-Gusslegierungen sind unmagnetisch und rostfrei. Tabelle 1i gibt die chemische Zusammensetzung des Werkstoffs an.

Cu-Be-Legierung	Be	Co	Ni	Cu
min	0,40	0,35	1,0	Rest
max	2,80	2,70	1,5	

Tabelle 1i: Chemische Zusammensetzung der Kupfer-Beryllium-Legierung (Angaben in Masse-%)

Ziehsteinhalter, verwendet in
Drahtziehmaschinen



Werkstoffgruppe	Dichte [10 ⁻³ kg/m ³]	Erstarrensbereich [°C]	elektrische Leitfähigkeit bei RT [MS/m]	Wärmeleitfähigkeit bei RT [W/mK]	Ausdehnungskoeffizient (RT - 300 °C) [10 ⁻⁶ /K]	spezifische Wärmekapazität [kJ/kg K]	E-Modul [N/mm ²]
Kupfer	8,9	1083	35 - 55	170 - 335	17	0,38	110
Kupfer-Chrom-Legierung	8,9	1075 - 1085	45	295	18	0,38	110 - 130
Kupfer-Zink-Legierungen	8,5 - 8,6	880 - 940	10 - 18	65 - 90	19 - 20	0,41	93 - 98
Kupfer-Zink-Legierungen (+ Mn, Fe, Al)	8,2 - 8,6	830 - 900	4 - 9,5	34 - 60	18,5 - 20	0,42	100 - 106
Kupfer-Zinn-Legierungen	8,6 - 8,7	830 - 1020	6,2 - 7,0	54 - 59	18,5	0,36	93,5 - 98
Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen	8,7 - 8,8	830 - 1040	6,5 - 8,5	56 - 71	18,0 - 18,8	0,38	90 - 93
Kupfer-Zinn-Blei-Legierungen	8,7 - 9,5	850 - 1030	6,0 - 8,5	54 - 71	18,5 - 19,3	0,34 - 0,42	78,5 - 85
Kupfer-Aluminium-Legierungen	7,5 - 7,6	1020 - 1060	2,0 - 8,0	50 - 60	16 - 19	0,46	113 - 121
Kupfer-Nickel-Legierungen	8,9	1105 - 1240	2,5 - 5,5	29 - 59	15 - 16	0,38	123 - 145

Tabelle 2: Physikalische Eigenschaften der Kupfer-Gusslegierungen

1.4 Werkstoffeigenschaften

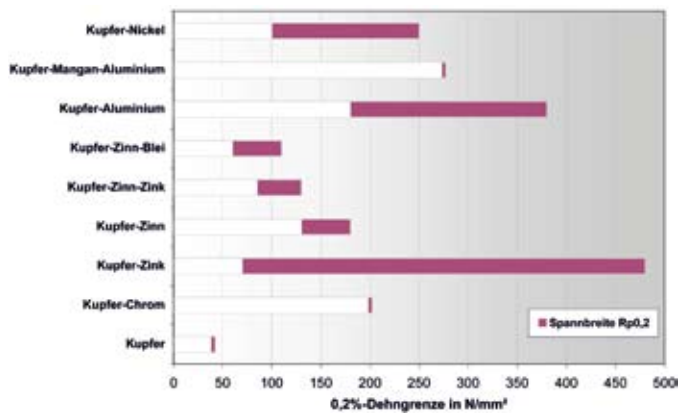
1.4.1 Physikalische Eigenschaften

Besonders hervortretend bei den physikalischen Eigenschaften einiger Kupfer-Gusswerkstoffe sind die hohe elektrische Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit, siehe Tabelle 2. Daher haben neben Kupfer und der Kupfer-Chrom-Legierung weiterhin die CuZn-Legierungen als Leitwerkstoffe eine technische Bedeutung. Die Dichte liegt je nach Legierung zwischen 7,5 – 9,0 g/cm³, die spezifische Wärmekapazität zwischen 0,36 – 0,46 J g⁻¹ K⁻¹.

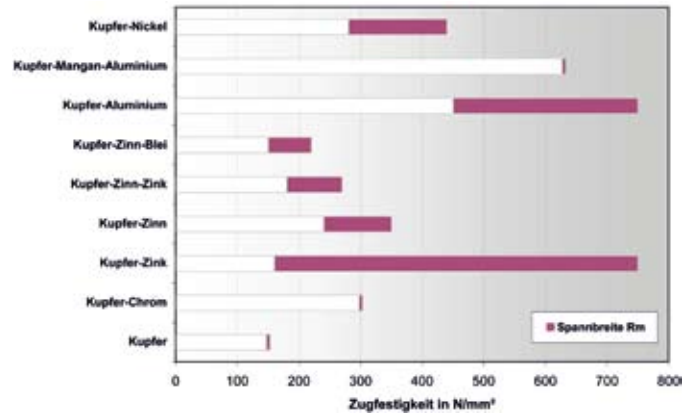
1.4.2 Mechanische Eigenschaften bei zügiger Beanspruchung

Bild 1 gibt einen Überblick über die Spannen der in der DIN EN 1982 spezifizierten statischen mechanischen Eigenschaften (Mindestwerte) bei zügiger Beanspruchung (statischer Zugversuch).

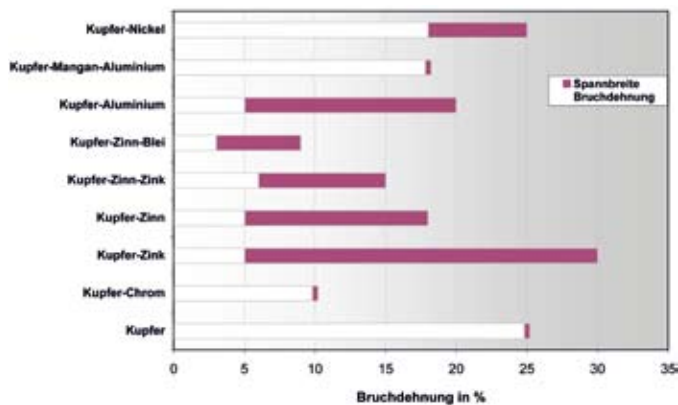
Detailangaben zu den einzelnen Legierungen sind in Tabelle 3 enthalten, in der die Werte differenziert nach den Gießverfahren aufgelistet sind.



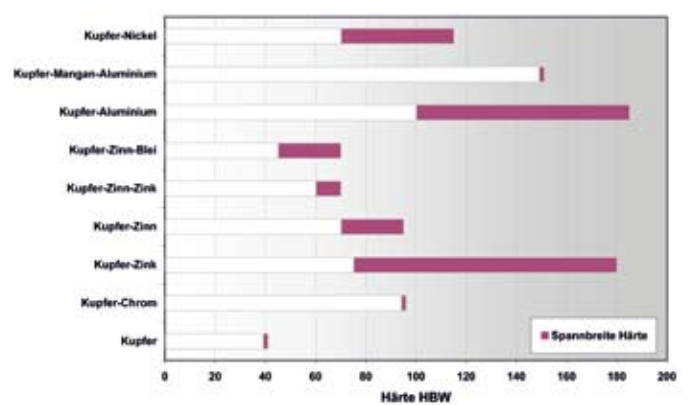
(a) 0,2%-Dehngrenze



(b) Zugfestigkeit



(c) Bruchdehnung



(d) Härte

Bild 1: Spanne der in der DIN EN 1982 spezifizierten mechanischen Kennwerte für die Legierungsgruppen (Mindestwerte)

a) Kupfer und Kupfer-Chrom Legierung							
Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Gießverfahren	Eigenschaften				
			Zugfestigkeit Rm [N/mm ²]	0,2%-Dehngrenze Rp0,2 [N/mm ²]	Bruchdehnung [%]	Härte [HBW]	elektrische Leitfähigkeit MΩm
Cu-C	CC040A	GM	150	40	25	40	55
		GS - Sorte A	150	40	25	40	50
		GS - Sorte B	150	40	25	40	45
		GS - Sorte C	150	40	25	40	32
CuCr1-C	CC140C	GS	300	200	10	95	45
		GM	300	200	10	95	45

b) Kupfer-Zink-Legierungen							
Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Gießverfahren	Eigenschaften				
			Zugfestigkeit Rm [N/mm ²]	0,2%-Dehngrenze Rp0,2 [N/mm ²]	Bruchdehnung [%]	Härte [HBW]	
CuZn33Pb2-C	CC750S	GS	180	70	12	45	
		GZ	180	70	12	50	
CuZn33PbSi2-C	CC751S	GP	(400)	(280)	(5)	(110)	
CuZn35PbAl-C	CC752S	GM	280	120	10	70	
		GP *	(340)	(215)	(5)	(110)	
CuZn37Pb2Ni1Al-C	CC753S	GM	300	150	15	90	
CuZn39Pb1Al-C	CC754S	GS	220	80	15	65	
		GM	280	120	10	70	
		GZ	280	120	10	70	
		GP *	(350)	(250)	(4)	(110)	
CuZn39Pb1AlB-C	CC755S	GM	350	180	13	90	
		GP	(350)	(250)	(4)	(110)	
CuZn15As-C	CC760S	GS	160	70	20	45	
CuZn16Si4-C	CC761S	GS	400	230	10	100	
		GM	500	300	8	130	
		GZ	500	300	8	130	
		GP *	(530)	(370)	(5)	(150)	
CuZn21Si3P	-	GS	480	160	25	110	
		GM	520	200	25	120	
		GC	480	160	25	110	
CuZn25Al5Mn4Fe3-C	CC762S	GS	750	450	8	180	
		GM	750	480	8	180	
		GZ	750	480	5	190	
		GC	750	480	5	190	
CuZn32Al2Mn2Fe1-C	CC763S	GS	430	150	10	100	
		GP *	(440)	(330)	(3)	(130)	
CuZn34Mn3Al2Fe1-C	CC764S	GS	600	250	15	140	
		GM	600	260	10	140	
		GZ	620	260	14	150	
CuZn35Mn2Al1Fe1-C	CC765S	GS	450	170	20	110	
		GM	475	200	18	110	
		GZ	500	200	18	120	
		GC	500	200	18	120	
CuZn37Al1-C	CC766S	GM	450	170	25	105	
CuZn38Al-C	CC767C	GM	380	130	30	75	

* Die mechanischen Eigenschaften für Druckguss (in Klammern) stellen keine verbindlichen Anforderungen dar, sondern sind nur zur Information angegeben
1 N/mm² = 1 MPa

c) Kupfer-Zinn-Legierungen							
Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Gießverfahren	Eigenschaften				
			Zugfestigkeit Rm [N/mm ²]	0,2%-Dehngrenze Rp0,2 [N/mm ²]	Bruchdehnung [%]	Härte [HBW]	
CuSn10-C	CC480K	GS	250	130	18	70	
		GM	270	160	10	80	
		GC	280	170	10	80	
		GZ	280	160	10	80	
CuSn11P-C	CC481K	GS	250	130	5	60	
		GM	310	170	2	85	
		GC	350	170	5	85	
		GZ	330	170	4	85	
CuSn11Pb2-C-C	CC482K	GS	240	130	5	80	
		GC	280	150	5	90	
		GZ	280	150	5	90	
CuSn12-C	CC483K	GS	260	140	7	80	
		GM	270	150	5	80	
		GC	300	150	6	90	
		GZ	280	150	5	90	
CuSn12Ni2-C	CC484K	GS	280	160	12	85	
		GC	300	180	10	95	
		GZ	300	180	8	95	

1 N/mm² = 1 MPa

Tabelle 3: Mindestwerte der mechanischen Eigenschaften (statischer Zugversuch – 0,2%-Dehngrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Brinellhärte) für Kupfer und Kupfer-Legierungen

Tabelle 3 (Fortsetzung):
Mindestwerte der mecha-
nischen Eigenschaften
(statischer Zugversuch –
0,2%-Dehngrenze, Zugfe-
stigkeit, Bruchdehnung,
Brinellhärte) für Kupfer
und Kupfer-Legierungen

d) Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen						
Werkstoffkurzzeichen	Werkstoff- nummer	Gieß- verfahren	Eigenschaften			
			Zugfestigkeit Rm [N/mm ²]	0,2%-Dehngrenze Rp0,2 [N/mm ²]	Bruchdehnung [%]	Härte (HRW)
CuSn3Zn8Pb5-C	CC490K	GS	180	85	15	60
		GC	220	100	12	70
		GZ	220	100	12	70
CuSn5Zn5Pb2-C	CC499K	GS	200	90	13	60
		GM	220	110	6	65
		GZ	250	110	13	65
CuSn5Zn5Pb5-C	CC491K	GS	200	90	13	60
		GM	220	110	6	65
		GZ	250	110	13	65
CuSn7Zn2Pb3-C	CC492K	GS	230	130	14	65
		GM	230	130	12	70
		GZ	260	130	12	70
CuSn7Zn4Pb7-C	CC493K	GS	230	120	15	60
		GM	230	120	12	60
		GZ	260	120	12	70
CuSn6Zn4Pb2-C	CC498K	GS	220	110	15	65
		GM	220	110	12	70
		GZ	240	110	12	70

1 N/mm² = 1 MPa

e) Kupfer-Zinn-Blei-Legierungen						
Werkstoffkurzzeichen	Werkstoff- nummer	Gieß- verfahren	Eigenschaften			
			Zugfestigkeit Rm [N/mm ²]	0,2%-Dehngrenze Rp0,2 [N/mm ²]	Bruchdehnung [%]	Härte (HRW)
CuSn5Pb9-C	CC494K	GS	160	60	7	55
		GM	200	80	5	60
		GC	200	100	9	60
		GZ	200	90	6	60
CuSn10Pb10-C	CC495K	GS	180	80	8	60
		GM	220	110	3	65
		GZ	220	110	6	70
CuSn7Pb15-C	CC496K	GS	170	80	8	60
		GC	200	90	8	65
		GZ	200	90	7	65
CuSn5Pb20-C	CC497K	GS	150	70	5	45
		GC	180	90	7	50
		GZ	170	80	6	50

1 N/mm² = 1 MPa

f) Kupfer-Aluminium-Legierungen						
Werkstoffkurzzeichen	Werkstoff- nummer	Gieß- verfahren	Eigenschaften			
			Zugfestigkeit Rm [N/mm ²]	0,2%-Dehngrenze Rp0,2 [N/mm ²]	Bruchdehnung [%]	Härte (HRW)
CuAl9-C	CC330G	GM	500	180	20	100
		GZ	450	160	15	100
CuAl10Fe2-C	CC331G	GS	500	180	18	100
		GM	600	250	20	130
		GZ	550	200	18	130
CuAl10Ni3Fe2-C	CC332G	GS	500	180	18	100
		GM	600	250	20	130
		GZ	550	220	20	120
CuAl10Fe5Ni5-C	CC333G	GS	600	250	13	140
		GM	650	280	7	150
		GZ	650	280	13	150
CuAl11Fe6Ni6-C	CC334G	GS	680	320	5	170
		GM	750	380	5	185
		GZ	750	380	5	185

1 N/mm² = 1 MPa

g) Kupfer-Mangan-Aluminium-Legierung						
Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Gießverfahren	Eigenschaften			
			Zugfestigkeit Rm [N/mm²]	0,2%-Dehngrenze Rp0,2 [N/mm²]	Bruchdehnung [%]	Härte [HBW]
CuMn11Al8Fe3Ni3-C	CC330G	GZ	630	275	18	150

1 N/mm² = 1 MPa

h) Kupfer-Nickel-Legierungen						
Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Gießverfahren	Eigenschaften			
			Zugfestigkeit Rm [N/mm²]	0,2%-Dehngrenze Rp0,2 [N/mm²]	Bruchdehnung [%]	Härte [HBW]
CuNi10Fe1Mn1-C	CC380H	GS	280	120	20	70
		GC	280	100	25	70
		GZ	280	100	25	70
CuNi30Fe1Mn1-C	CC381H	GS	340	120	18	80
		GZ	340	120	18	80
CuNi30Cr2FeMnSi-C	CC382H	GS	440	250	18	115
CuNi30Fe1NbSi-C	CC383H	GS	440	230	18	115

1 N/mm² = 1 MPa

i) Kupfer-Beryllium-Legierung				
Zustand	mechanische Eigenschaften			
	Zugfestigkeit Rm [N/mm²]	Bruchdehnung [%]	Härte Brinell [HBW]	Härte Rockwell [HR]
ausgehärtet	1200	2	390	
homogenisiert	550	8		B 45 - 55
Gusszustand	720	8		C 7 - 12

1 N/mm² = 1 MPa

1.4.3 Mechanische Eigenschaften bei zyklischer Beanspruchung

Für die Auslegung eines Bauteils bei zyklischer Beanspruchung ist die Schwingfestigkeit neben den einzuhaltenden statischen mechanischen Kennwerten (0,2%-Dehngrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung) von entscheidender Bedeutung. Unzu-

reichend dimensionierte Bauteile können in der Praxis durch Dauerbrüche ausfallen. Die Schwingfestigkeit ist eine Eigenschaft, die durch ein fehlerarmes Gefüge begünstigt wird: Volumendefizite (Poren und Lunker) sowie nichtmetallische Einschlüsse im Bauteil setzen die Schwingfestigkeit herab. An separat gegossenen Probekörpern

In Tabelle 3i sind die mechanischen Kennwerte der nicht genormten Kupfer-Beryllium-Gusslegierungen aufgeführt.

Tabelle 3i: Mechanische Kennwerte der Kupfer-Beryllium-Legierung

ermittelte Schwingfestigkeitswerte sind für die Bauteilberechnung unter Vorbehalt zu verwenden. An Bauteilen ermittelte Schwingfestigkeitswerte (Betriebsfestigkeit) sind Probestabwerten vorzuziehen. Wichtig ist anzumerken, dass auch bei mehr als 2 * 10⁶ Schwingspielen die Schwingfestigkeit noch geringfügig abfällt, somit keine „Dauerfestigkeit“ existiert [7]. Bei Werkstoffen auf Kupferbasis wird daher zur klareren Kennzeichnung die Spannungsamplitude zusammen mit der Lastwechselzahl angegeben.

Eine unter zyklischer Last zusätzlich aufgebrauchte Korrosionsbeanspruchung verschärft die Belastung und erhöht damit das Ausfallrisiko.

In der Tabelle 4 sind Biegewechselfestigkeitswerte für Guss aus Kupferlegierungen aus verschiedenen Quellen zusammengestellt (zur Information):

Quellen: DIN 1707; ASM International: Handbook Copper and Copper Alloys; Copper Development Association (UK): <http://www.copperinfo.co.uk/design-and-manufacture/downloads/pub-42-copper-and-copper-alloy-castings.pdf>; Copper Development Association Inc. (USA): <http://www.copper.org/resources/properties/db/CDAPropertiesSelectionServlet.jsp?mode=basic><http://www.copper.org/resources/properties/db/CDAPropertiesSelectionServlet.jsp?mode=basic>

Tabelle 4: Biegewechselfestigkeit von Kupfer-Gusslegierungen an Luft (bzw. in wässriger Lösung 3% NaCl)

Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Anzahl Lastspiele	Biegewechselfestigkeit * [N/mm²]
Kupfer-Zink-Legierungen			
CuZn33Pb2-C	CC750S	10 ⁸	70
CuZn16Si4-C	CC761S	10 ⁸	150
CuZn25Al5Mn4Fe3-C	CC762S	10 ⁸	172
Kupfer-Zinn-Legierungen			
CuSn10-C	CC480K	10 ⁸	170
CuSn12-C	CC483K	10 ⁸	90
CuSn12Ni2-C	CC484K	10 ⁸	140
Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen			
CuSn5Zn5Pb5-C	CC491K	10 ⁸	76
CuSn5Zn5Pb2-C	CC499K	10 ⁸	76
Kupfer-Aluminium-Legierungen			
CuAl10Fe2-C	CC331-C	10 ⁸	150
CuAl10Fe5Ni5-C	CC333-G	10 ⁸	230
		10 ⁸	108 (in wässriger Lösung 3% NaCl)

1 N/mm² = 1 MPa

* Biegewechselfestigkeit als ± Wert angegeben

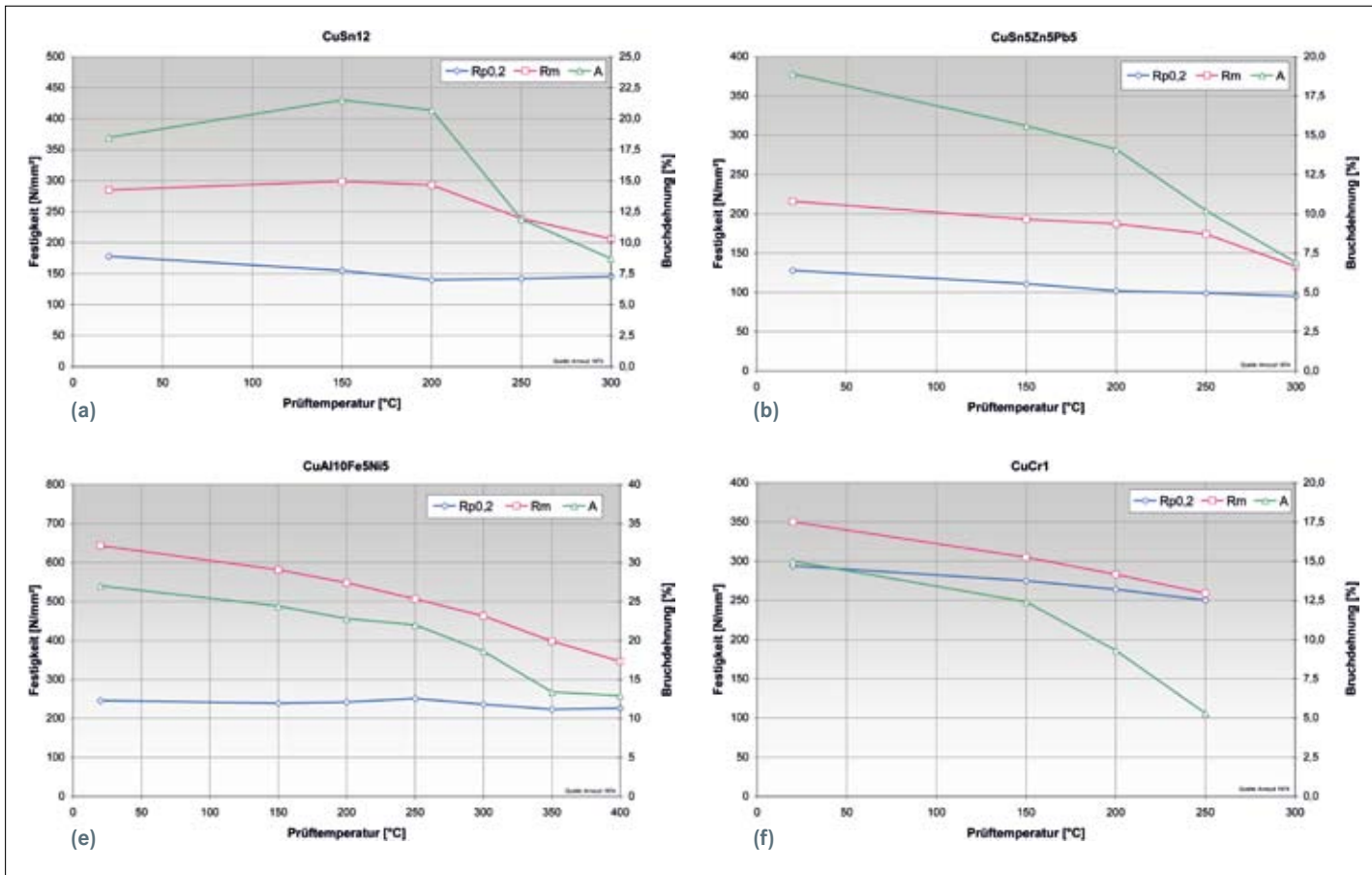


Bild 2: Beispiele für mechanische Kennwerte von Kupfer-Gusswerkstoffen aus dem Warmzugversuch (informativ) (Quelle: [1])

1.4.4 Werkstoffverhalten bei hohen Temperaturen

Kupfer-Gusswerkstoffe verzeichnen mit steigender Temperatur einen Abfall der Festigkeitswerte, siehe **Bilder 2a – 2h**. Oberhalb einer Grenztemperatur, die von der Beanspruchungsdauer abhängt, setzen Entfestigungsvorgänge ein. Kriechdaten von Kupfer-Gusswerkstoffen liegen nur unvollständig vor, häufig mit nicht vergleichbaren Zuständen oder für nicht genormte Legierungen.

Eigenschaften der Werkstoffgruppen bei hohen Temperaturen im Überblick

- > Cu-C (unlegiertes Kupfer): Festigkeitsabfall bei $T > 150$ °C; ab 150 °C Beginn Entfestigungsvorgänge
- > CuCr1-C: hohe Festigkeitswerte bis 350 °C (bei 80% der Leitfähigkeit von Cu-C)
- > CuZn: Einsatzbereich max. 225 – 250 °C; ab 140 °C Beginn Entfestigungsvorgänge
- > CuSn und CuSnZn: Einsatzbereich max. 225 °C; ab 150 °C Beginn Entfestigungsvorgänge
- > CuSnPb: Einsatzbereich max. 327 °C (Schmelzpunkt Blei); bei Gleitlagern ist zu beachten, dass die Oberflächentemperatur nicht höher liegen darf!
- > CuAl: Einsatzbereich max. 250 °C; ab 200 °C Beginn Entfestigungsvorgänge;

gute Oxidations- und Zunderbeständigkeit bis 700 °C (dichte Oxidhaut)

- > CuNi mit bis zu 10% Ni: Einsatzbereich max. 300 °C; ab 200 °C Beginn Entfestigungsvorgänge
- > CuNi mit 30% Ni: Einsatzbereich max. 350 °C; ab 350 °C Beginn Entfestigungsvorgänge

1.4.5 Werkstoffverhalten bei tiefen Temperaturen

Kupfer-Gusswerkstoffe sind ausgezeichnete Tieftemperatur-Werkstoffe. Aus dem RT-Zugversuch ermittelte Kennwerte bleiben auch bei tiefsten Temperaturen erhalten. Eine besondere Eignung weisen CuCr-Legierungen und reines Kupfer auf. Sie haben sich als ausgezeichnete Tieftemperaturwerkstoffe bewährt (Einsatz in der Kältetechnik, z. B. Heliumverflüssigung), **Tabelle 5**. Die Festigkeitswerte und Kerbschlagzähigkeit fallen in der Nähe des absoluten Nullpunktes leicht ab.

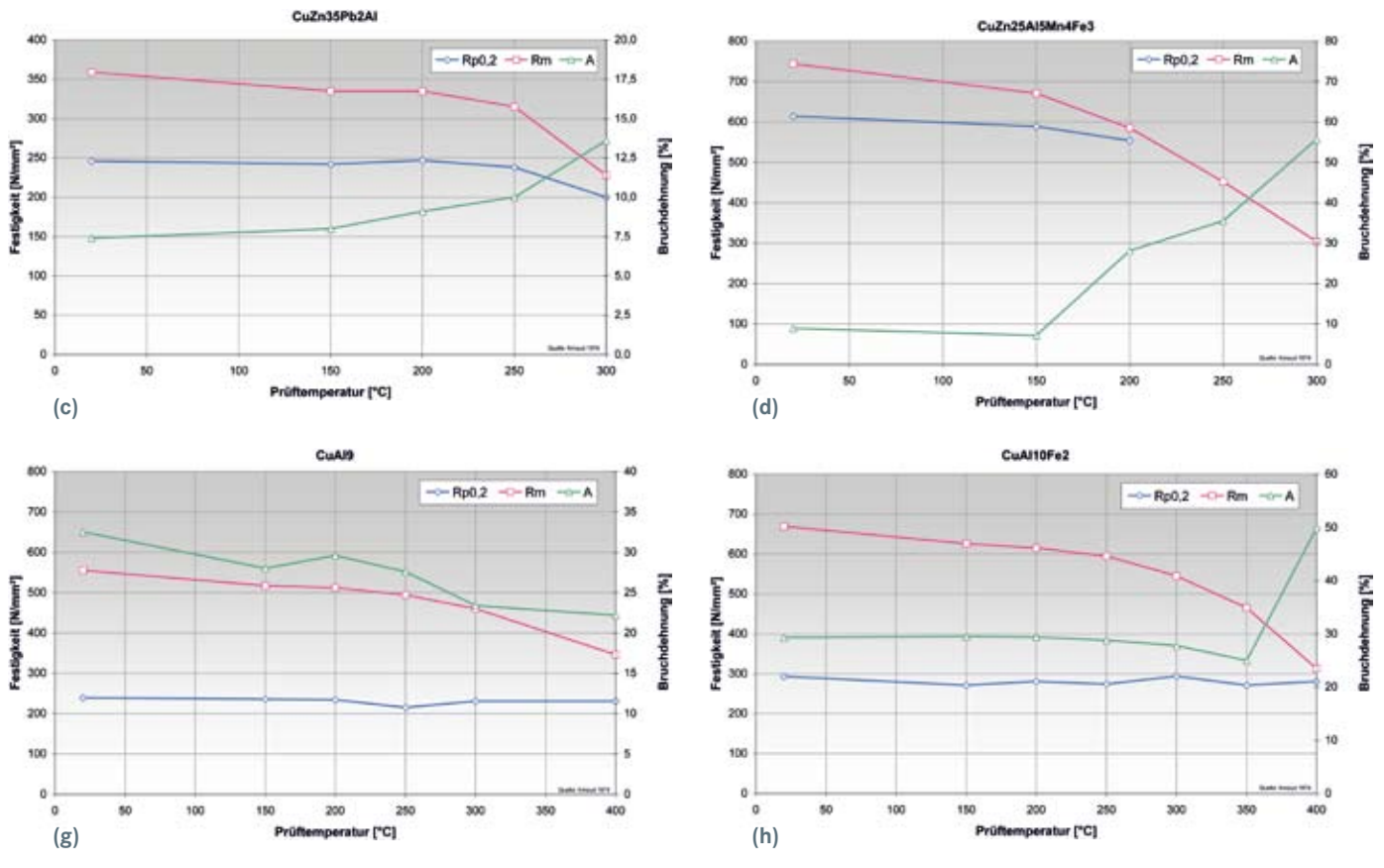
1.4.6 Korrosionseigenschaften

Kupfer und seine Legierungen sind „gut“ bis „hervorragend“ korrosionsbeständig. Es bestehen allerdings Unterschiede, die durch die Gefügeausbildung der Werkstoffgruppen sowie durch unterschiedlich hohe Gehalte an Begleitelementen in den Legierungen begründet sind.

Aufgrund der Vielzahl an Parametern, die den Korrosionsangriff bestimmen, können keine allgemeingültigen Kennwerte angegeben werden. Es ist zu empfehlen das Korrosionsverhalten unter den gegebenen Bedingungen mit ausgewählten Kupfer-Gusslegierungen vorab zu untersuchen. Für die Werkstoffauswahl stellen der Gusslieferant oder das DKI und der BDG weiterführendes Informationsmaterial zur Verfügung.

Kupfer und Kupfer-Chrom

- > sehr gut beständig in Industrie-, Land- und Meeresatmosphäre (Kupfer läuft zunächst braun, dann schwarz an und bildet schließlich eine wasserunlösliche grüne Patina). Lackierung oder galvanischer Überzug erforderlich, wenn der Metallglanz erhalten bleiben soll
- > beständig in Trink- und Brauchwasser; kritische Strömungsgeschwindigkeit: 2,0 m/s; Abtragsrate steigt, wenn Wasser Kohlensäure und Sauerstoff enthält
- > bedingt beständig gegenüber Meerwasser: deutlich höhere Abtragsrate, kritische Strömungsgeschwindigkeit: 1,2 m/s
- > sehr gut beständig (bei RT) in sauerstofffreien, nicht oxidierenden Säuren und neutralen Salzlösungen;



- luftgesättigte Agenzien erhöhen die Korrosionsrate beträchtlich
- > beständig in Medien unter Entwicklung von Wasserstoff
- > bedingt beständig gegenüber wässrigen Lösungen von Cyaniden, Halogeniden und Ammoniak
- > unbeständig in SO₂-haltiger Atmosphäre
- > unbeständig in oxidierenden Säuren (Abtrag > 2 mm/Jahr)
- > unbeständig gegenüber Salpetersäure; Konzentration von 0,1% HNO₃ ist bereits kritisch

- Kupfer-Zink-Legierungen**
Die Korrosionsbeständigkeit wird in einem hohen Maß vom Zinkgehalt bestimmt:
- > Zn < 37,5%: homogenes α-Gefüge (kfz-Gitter); Korrosionsverhalten ähnlich wie Kupfer; beständig gegenüber Wässern, Dampf, verschiedenen Salzlösungen und vielen organischen Flüssigkeiten
 - > Zn 37,5% - 46%: heterogenes (α+β)-Gefüge (β: krz-Gitter); β-Phase wird bevorzugt angegriffen; Zusätze von Al, As, Fe, Mn, Pb und Si sowie Ni, P und S begünstigen die

- Bildung von korrosionshemmenden Oxideckschichten; dadurch sind heterogene Legierungen teilweise beständiger als homogene Werkstoffe vom gleichen Grundtyp
- > Zn > 20%: Auftreten der selektiven Korrosion = Entzinkung (gemeinsame Auflösung von Cu und Zn und nachfolgende Abscheidung von Cu); mit Auftreten der β-Phase (Zn > 37 %) sprunghafter Anstieg der Entzinkung; relevant bei bleihaltigen CuZn-Legierungen (Armaturen-Messing) in

Werkstoff	Gießverfahren	T [°C]	Zugfestigkeit R _m [N/mm²]					0,2%-Dehngrenze R _{p0,2} [N/mm²]					Bruchdehnung A [%]					Kerbschlagzähigkeit α _k [J/mm²]				
			-100	-75	-50	-25	0	-100	-75	-50	-25	0	-100	-75	-50	-25	0	-100	-75	-50	-25	0
CuZn37Pb2Ni1AlFe-C	GM		473	418	403	385	360	253	221	212	200	192	16,2	18,6	18,2	16,9	16,3	45	42	46	47	41
CuZn37Pb2Ni1AlFe-C	GP		490	435	419	411	371	324	264	276	280	241	8,0	8,7	8,8	8,6	7,2	-	-	-	-	-
CuZn35Pb2Al-C			570	-	-	-	470	280	-	-	-	220	26,0	-	-	39,0	-	-	-	-	-	-
CuZn25Al5Mn4Fe3-C			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	-	43	47	49	
CuSn10-C			420	378	364	356	309	239	193	163	159	135	31,4	41,7	48,0	44,5	45,4	51	48	45	45	50
CuSn12-C			338	297	273	271	258	258	214	194	186	129	9,9	15,5	13,4	16,2	18,8	17	16	18	18	17
CuSn5Zn5Pb2			340	293	285	271	249	219	158	144	125	112	23,2	28,6	32,7	32,6	30,2	27	28	22	26	24
CuSn7Zn2Pb3			324	326	317	304	278	261	186	177	45	136	13,1	30,0	32,7	31,8	33,9	24	24	27	31	26
CuAl10Fe2			590	-	-	-	480	300	-	-	-	200	25,0	-	-	-	33,0	-	-	-	-	-
CuAl10Fe2	GM		-	-	603	577	560	-	-	-	-	-	-	-	26,0	32,0	36,0	-	-	43	53	59
CuAl10Ni3Fe2-C			733	654	608	615	58	326	286	280	244	253	13,2	17,2	14,8	17,3	20,3	34	39	41	43	47
CuAl10Fe5Ni5-C			749	719	719	700	686	407	367	430	355	319	10,5	8,2	10,5	10,7	12,6	13	18	19	22	24
CuAl10Fe5Ni5-C	GM		-	-	732	713	690	-	-	-	-	-	-	-	32,2	33,9	35,0	-	-	22	26	29

Tabelle 5: Mechanische Kennwerte von Kupfergusslegierungen bei tiefen Temperaturen (informativ)

Werkstoffgruppe	Bewertung
Kupfer und Kupfer-Chrom-Legierung	-
Kupfer-Zink-Legierungen	+
Kupfer-Zink-Legierungen (+ Mn, Fe, Al)	++
Kupfer-Zinn-Legierungen	o
Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen	o
Kupfer-Zinn-Blei-Legierungen	-
Kupfer-Aluminium-Legierungen	++
Kupfer-Nickel-Legierungen	o
sehr gut	++
gut	+
mäßig	o
schlecht	-

Tabelle 6: Hochtemperatur-Oxidationsbeständigkeit an reiner Luft

- sauerstoffhaltigen wässrigen Medien; die Entzinkungsneigung steigt, wenn die Cl⁻ und SO₄²⁻ Konzentration über 50 mg/l liegt
- > Zn > 15%: erhöhte Anfälligkeit zur Spannungsrisskorrosion (Angriff z.B. durch Ammoniak, Schwefeldioxid oder Nitrite)
 - > Zn > 40%: deutlich beständiger gegenüber H₂S-haltigen Medien als unlegiertes Kupfer

- Kupfer-Zinn-Legierungen
- > hervorragend beständig gegenüber atmosphärischen Einflüssen; Korrosionsbeständigkeit nimmt mit Sn-Gehalt zu (zunehmend dichte und feste Oxidschicht)
 - > gut beständig gegenüber Kohlensäure und salzhaltigen Grubenwässern; SO₂ und CO₂ beeinträchtigen die Korrosionsbeständigkeit nicht
 - > beständig gegenüber Meerwasser (Anwendungen im Schiffbau, für Armaturen, Pumpengehäuse, Leit-, Lauf und Schaufelräder in Seewasserpumpen)
 - > beständig gegenüber Sulfdlaugen (Papier- und Zuckerindustrie)
 - > beständig gegenüber verdünnter Schwefelsäure
 - > beständig gegenüber Bodenkorrosion (aber Angriff in chloridhaltigen Böden)
 - > beständig gegenüber Baustoffen (aber Rissbildung in ammoniakhaltigen Baustoffen möglich)

- Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen
- > Korrosionsbeständigkeit ähnlich wie die CuSn-Gusswerkstoffe

- Kupfer-Zinn- Blei-Legierungen
- > Korrosionsbeständigkeit ähnlich wie die CuSn-Gusswerkstoffe
 - > Pb-Gehalte von 6% - 10%: Beständigkeit gegen schwache Säuren, z. B. Essig- und Phosphorsäure
 - > Pb-Gehalte von 6% - 10%: Angriff durch Salz-, Schwefel- und Salpetersäure sowie von konzentrierten alkalischen Lösungen
 - > Blei-Zusätze setzen die Kavitationsbeständigkeit stark herab

- Kupfer-Aluminium-Legierungen
- > ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit (Ursache: Kopplung der Korrosionsbeständigkeit von Kupfer mit der sich rasch bildenden, dichten, korrosionshemmenden Al₂O₃-Schicht)
 - > geringer Korrosionswiderstand gegenüber stark sauren Medien (Salpetersäure)
 - > Zusätze von Fe, Ni, Mn erhöhen die Korrosionsbeständigkeit (fördern die Bildung der schwerlöslichen Oxidschichten); Al, Ni sowie Fe können δ₂-Ausscheidungen bilden, die ähnliches Potenzial wie der α-Mischkristall haben, umhüllen das β-Gefüge; ⇒ vermeiden selektive Korrosion des Al aus dem β-Korn („Entaluminierung“)
 - > CuAl-Gusslegierungen mit Fe und Ni: beständig gegenüber industriellen Abwässern, Meerwasser
 - > CuAl-Gusslegierungen mit Fe und Ni: beständig gegenüber leicht sauren bis schwach alkalischen Salzlösungen (Sulfit- und Bleichlaugen, Kalisalzlösungen), organischen (u. a. Essigsäure), reduzierenden oder leicht oxidierenden Mineralsäuren (z. B. gegenüber 10%-iger Salzsäure, Flusssäure, 1%-iger Phosphorsäure und konzentrierter Schwefelsäure)
 - > Beständigkeit gegenüber aggressiver, meeresnaher oder SO₂-haltiger Industrieatmosphäre

- Kupfer-Nickel-Gusslegierungen
- > Gefüge der Werkstoffgruppe homogen; Ni passiviert Cu, Fe verstärkt Haftung des Oxidfilms
 - > beständig gegenüber Meerwasser und sonstigen chloridhaltigen Wässern und Solen
 - > keine Spannungsrisskorrosion
 - > Korrosionsbeständigkeit ist besser als die des unlegierten Kupfers
 - > unbeständig gegen oxidierende Säuren (Salpetersäure, Chromsäure), gegen oxidierende Salze in saurer Lösung und gegen Eisen-(III)-Salzen

Die Oxidationsneigung nimmt mit steigender Temperatur zu. **Tabelle 6** gibt einen Überblick zur Hochtemperatur-Oxidationsbeständigkeit der verschiedenen Werkstoffgruppen.

Systemtrenner für den Trinkwasserschutz



WERKBILD GEBR. KEMPER GMBH & CO. KG

1.5 Anwendungsbereiche der Werkstoffe

Die Produktion von Gussstücken aus Kupfer und Kupferlegierungen verteilt sich in Bezug auf ihre Anwendungsbereiche wie folgt:

- > Armaturen (60% der Gussproduktion)
- > Gleitwerkstoffe (30% der Gussproduktion)
- > Konstruktionswerkstoffe (ca. 5% der Gussproduktion)
- > Leitwerkstoffe (ca. 4% der Gussproduktion)

1.5.1 Armaturen

Folgende Einsatzbereiche bei den Armaturen (auch Fittings) werden unterschieden:

- > Armaturen für die Gas-, Wasser- und Sanitärinstallation aus CuZn-Legierungen (Messing) im Kokillenguss
- > Armaturen mit hohen Korrosionsbeanspruchungen aus CuSnZn-Legierungen (Rotguss) ausschließlich im Sandgießverfahren
- > dünnwandige Armaturen (geringer Produktionsanteil) aus CuZn-Legierungen (Messing) im Druckgießverfahren

1.5.2 Gleitwerkstoffe und Getriebeteile

Folgende Einsatzbereiche mit Gießverfahren werden bei den Gleitwerkstoffen und Getriebeteilen unterschieden:

- > Gleitlagerbuchsen im Schleuder- und Stranggießverfahren
- > Lagerschalen im Schleuder- und Stranggießverfahren
- > Gleitleisten im Schleuder- und Stranggießverfahren
- > auf Gleitung beanspruchte Gussstücke mit komplexer Geometrie im Sandguss
- > Schneckenradkränze, Schneckenräder und Schraubenräder im Schleuder- und Stranggießverfahren

Die Werkstoffgruppen mit heterogenem Gefügebau

- > CuSn-Gusslegierungen,
- > CuSnZn-Gusslegierungen und
- > CuSnPb-Gusslegierungen

haben sich gut für die Herstellung von Gleitlagern, Gleitleisten, Gleitklötzen, Zahnrädern und Schneckenradkränzen bewährt. Grob skizziert lassen sich Gleitwerkstoffe entsprechend der Gefügebildung in die nachstehend genannten drei Gefügetypen einteilen:

- A Gefüge bestehend aus weicher Grundmasse mit harten Gefügeeinlagerungen
- B Gefüge aus einem harten Gerüst und weichen Bestandteilen
- C Gefüge, die hinsichtlich Festigkeit und Härte einen einheitlichen homogenen oder heterogenen Aufbau haben

Gleitwerkstoffe, die den Gefügetypen A und B zuzurechnen sind, haben meist geringe bis mittlere Zugfestigkeits- und Dehngrenzenwerte; sie können daher nur geringe bis mittlere Lasten übertragen. Die Eigenschaften zahlreicher Gleitwerkstoffe hängen jedoch nicht nur von der Zusammensetzung, sondern auch entscheidend vom Gießverfahren ab. So werden zum Beispiel am Werkstoff CuSn12-C durch das Schleuder- oder Stranggießverfahren die Festigkeits-, Gleit- und Verschleißigenschaften gegenüber Sandguss entscheidend verbessert. Bei großen Wanddicken besteht ein Festigkeitsprofil: In der Regel sind die Werte in den Außenschichten höher als in der Kernzone.

Einige der zur Gefügruppe B zuzuordnenden Gleitwerkstoffe sind für das Verbundgießverfahren geeignet. Durch Verbundguss – meist auf festen Stahlstützschalen – wird die Dauerschwingfestigkeit des Gleitlagers entscheidend gesteigert, so dass Verbundgusslagerschalen sehr hohe schwellende oder pulsierende Kräfte aufnehmen können.

Gleitwerkstoffe des Gefügetyps C haben eine mittlere bis hohe Festigkeit und Härte.

In den **Tabelle 7** wird ein Überblick über die Einsatzmöglichkeiten von Gleitwerkstoffen in Kombination mit dem Gleitpartner für unterschiedliche Beanspruchungszustände gegeben.

Tabelle 7: Vergleich der Einsatzmöglichkeiten von Gleitwerkstoffen für unterschiedliche Beanspruchungszustände (Schleuderguss/Strangguss)

Gusslegierung	Gefügetyp	Belastung Geschwindigkeit Schmierung Welle	hoch	hoch	hoch	mittel	stoßartig
			hoch	langsam	langsam	mittel	
			gut	gut	schlecht	gut	
			hart	hart	hart	ungehärtet	
CuSn7Zn4Pb7-C	A		+	0	++	+	+
CuSn12Ni2-C	C		+	0	++	++	+
CuSn11Pb2-C	B		+	0	++	+	+
CuSn10Pb10-C	B		0	0	++	++	0
CuSn7Pb15-C	B		0	0	++	++	0
CuSn5Pb20-C	B		0	0	++	++	0
		empfehlenswert			++		
		geeignet			+		
		eingeschränkt geeignet			0		



Dreh- und Frästeile aus Bronzezstrangguss

Tabelle 8 enthält weitere Angaben zu den Gleiteigenschaften verschiedener Kupfer-Gleitwerkstoffe.

CuSnPb-Gusslegierungen

Die CuSnPb-Gusslegierungen, die mit steigendem Bleigehalt dem Idealtyp des Gefügetyps B nahekommen, gehören zu den besten Gleitwerkstoffen.

Als Massivguss sind CuSnPb-Gusslegierungen unempfindlich gegen Kantenpressungen. Als zu bevorzugende Schleuder- und Stranggusswerkstoffe sind alle nach DIN EN 1982 genormten Legierungen der Gruppe einsetzbar. Die CuSn7Pb15-C weist die günstigsten Gießeigenschaften auf und wird daher als bevorzugter Lagerwerkstoff eingesetzt (vgl. Tabellen 7 und 8).

Die CuSnPb-Gusslegierungen haben sehr gute Notlaufeigenschaften und sind auch für Wasserschmierung geeignet. Wegen des höheren Bleigehaltes ist die Unempfindlichkeit gegen Kantenpressung bei diesen Legierungen sehr groß, jedoch liegen die Festigkeiten und damit auch die Tragfähigkeit im unteren Bereich. Innerhalb dieser Legierungsgruppe kann die CuSn10Pb10-C die größten Lasten aufnehmen.

Der Legierungstyp neigt bei höheren Bleigehalten bei der Verarbeitung im Schleuderguss zu Seigerungen, die sich an der Oberfläche zeigen können, wodurch die Funktionalität jedoch nicht beeinträchtigt wird.

Die höher bleihaltigen Legierungen werden als Lager eingesetzt:

- > für gehärtete und ungehärtete Wellen
- > für Wellen aus nichtrostendem Stahl oder Bronze
- > für hochbeanspruchte Kalandrwalzen, Müllereimaschinen-, Zementmühlen, Wasserpumpen, Schleifmaschinen und Werkzeugmaschinen
- > für Warm- und Kaltwalzgerüste
- > im Fahrzeugbau für Kurbel-, Nocken- und Getriebewellen
- > für Wasser- und Schmierstoffpumpen
- > sowie als Pleuel- und Kolbenbolzenbuchsen

Mit Ausnahme von CuSn5Pb9-C werden die CuSnPb-Gusslegierungen auch im Verbundguss verarbeitet.

CuSnZn-Gusslegierungen

Die CuSnZn-Gusslegierungen sind ebenfalls bewährte Gleitwerkstoffe. Sie sind dem Gefügetyp A zuzuordnen, wobei der α -Gefügebestandteil als Grundmasse relativ weich ist.

Die Legierung CuSn7Zn4Pb7-C ist als universeller Gleitwerkstoff für den Maschinenbau anzusehen. Er ist kostengünstiger als Kupfer-Zinn-Gusslegierungen und hat wegen seines Bleigehaltes von mindestens 6 % gute Notlaufeigenschaften. Der Gleitstoff kann wegen seiner je nach Herstellungsverfahren geringen Härte von 65 bis 75 HB bei niedrigen Belastungen auch gegen ungehärtete Wellen laufen.

Leichte Kantenpressungen können von diesem Werkstoff aufgenommen werden. Die Einsatzbereiche der Legierung sind:

- > Stelleisten
- > Gleitsteine
- > Grund- und Stopfbuchsen
- > Zylindereinsätze
- > Spindelmuttern
- > Kuppelstücke
- > Friktionsscheiben
- > Wellenbezüge

CuSn-Gusslegierungen

Der Gefügebau der CuSn-Gusslegierungen ist ebenfalls dem Gefügetyp A zuzuordnen. Das Gefüge von CuSn11Pb2-C (sandgegossen) besteht aus der weichen α -Phase mit einer Härte von etwa 60 HBW, während das eingebettete Eutektoid, bestehend aus δ - und β -Phase und Kupferphosphid, eine Härte von 250 HBW aufweist. Durch die höhere Erstarrungsgeschwindigkeit im Schleuder- und Strangguss wird nicht nur der Anteil an Eutektoid vergrößert, sondern gleichzeitig die gesamte Gefügeausbildung gefeint. Die Legierung CuSn12Ni2-C ist abweichend von den Legierungen dieser Gruppe dem Gefügetyp C zuzuordnen.

CuSn-Gusslegierungen werden eingesetzt für:

- > Gleitlager
- > Herstellung von Getriebeteilen

Für ausgesprochene Gleitzwecke zur Verbesserung der Notlaufeigenschaften oder des Verhaltens bei Mischreibungsverhältnissen ist ein Bleizusatz günstig. Schneckenradkränze werden zur Vermeidung des „pitting“ aus bleifreien Werkstoffen mit Nickel-Zusatz gefertigt.

Legierung	Gefügetyp	Notlauf	Verschleiß	Ermüdung	Stoß	hohe Gleitgeschwindigkeit	Querschnitt	
							$\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	$R_{m0.2}$ (N/mm ²)
CuSn7Zn4Pb7-C	A	+	++	+	0	+	120 ... 160	6.000
CuSn12Ni2-C	C	0	++	+	+	++	160 ... 190	12.000
CuSn11Pb2-C	B	0	++	+	+	++	150 ... 160	8.000
CuSn7Pb15-C	B	++	0	0	--	+	100 ... 120	4.000
CuZn25Al5Mn4Fe3	C	-	-	-	+	-	180 ... 190	10.000 ... 25.000
CuAl19Fe4Ni5-C	C	--	+	++	++	--	320 ... 450	12.000 ... 25.000
	sehr gut gut mäßig bedingt geeignet ungeeignet			++ + 0 - --				

Tabelle 8: Eigenschaften und Anwendungshinweise verschiedener Gleitwerkstoffe



WERKBILD GEBR. KEMPER GMBH & CO. KG

Verschneidearmatur

Die CuSn11Pb2-C (als Schleuder- oder Strangguss) wird eingesetzt für:

- > Kurbelwellen- und Kniehebellager
- > Kranlager und Spindelmuttern
- > Gleitplatten, Gleitleisten und Führungsschienen

Die CuSn12Ni2-C wird bevorzugt eingesetzt für:

- > Getriebeteile jeglicher Art
- > Schneckenradkränze
- > Schneckenräder
- > Schraubenräder

Durch den Nickelzusatz wird bei dieser Legierung, verglichen mit der bleihaltigen Variante, die Festigkeit um etwa 10% gesteigert. Zusätz-

liche Festlegungen können für die Anwendung bei Schneckenrädern zur Korngröße des Werkstoffs gemacht werden.

Detailinformationen zum Einsatz der Legierung CuSn12Ni2-C im Stranggießverfahren sind [8] zu entnehmen.

CuAl-Gusslegierungen

Die CuAl-Gusslegierungen (bevorzugt CuAl10Fe5Ni5-C und CuAl11Fe6Ni6-C) gehören ebenfalls zum Gefügetyp C. Sie haben ein schlechtes Notlaufverhalten und sind nur bei einwandfreier Schmierung zu verwenden. Sie sind geeignet für hohe statische und dynamische Belastungen bei geringer Gleitbeanspruchung und sind unempfindlich gegen Stoß,

Schlag und wechselnde Belastungen. Sie widerstehen hohen spezifischen Belastungen, wenn eine Zwangsschmierung vorgesehen ist und der Gegenlaufwerkstoff eine hohe Oberflächenhärte und sehr gute Oberflächengüte besitzt. Der Gefahr einer Kantenpressung, die bei sehr hoher Last immer besteht, wird durch Erhöhung der Steifigkeit der Konstruktion begegnet. Dies kann durch Verringerung der Lagerbreite oder Vergrößerung des Lagerdurchmessers erfolgen. Anwendungsbeispiele sind Druckmutter für Spindeln und Schneckenräder für den Getriebebau bei niedrigen Umlaufgeschwindigkeiten.



Pumpenlaufrad
aus Bronze

WERKBILD HUNDT & WEBER GMBH

1.5.3 Konstruktionswerkstoffe

Kupfergusswerkstoffe werden als Konstruktionswerkstoff eingesetzt, wenn mehrere der nachfolgend aufgeführten Eigenschaften in Kombination gefordert werden:

- > hohe Festigkeiten unter zügiger/zyklischer Belastung,
- > hohe Kriechfestigkeit
- > hohe Korrosionsbeständigkeit,
- > Zähigkeit bei tiefen Temperaturen
- > sowie eine hohe elektrische Leitfähigkeit und/oder magnetisches Verhalten.

Kupfer-Zink-Gusslegierungen

Für kleinere Gussstücke mit komplexer Geometrie sind bevorzugt die gut gießbaren Legierungen CuZn38Al-C und CuZn39Pb1Al-C im Kokillenguss anzuwenden.

Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen

Basierend auf ihren besonderen Eigenschaften (Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit, ...) werden die CuAl-Gusswerkstoffe bevorzugt eingesetzt für:

- > Schiffspropeller
- > Gehäuse
- > Laufräder und sonstige Teile von Wasserturbinen und Pumpen
- > Armaturen – auch für Heißdampf
- > Hydraulikteile/ Ventilsitze
- > Druckstücke, Verschleißteile, Kupplungskegel, Schleifringe
- > Umformwerkzeuge

Kupfer-Nickel-Gusslegierungen

Folgende Einsatzgebiete der CuNi-Gusslegierungen bieten sich wegen ihrer guten Korrosionsbeständigkeit an:

- > Schiffbau, Wasserbau
- > Lebensmittel- und Getränke-Industrie
- > Chemische Industrie, Raffinerien
- > Kraftwerke
- > Meerwasser-Entsalzungsanlagen
- > Fittings, Armaturen, Pumpen, Rührwerke, Messgeräte, Abfüllorgane
- > Kältetechnik (hohe Zähigkeit bei tiefen Temperatur)

Druckdichtheit

Druckdichte Gussstücke über 25 bar Betriebsdruck lassen sich mit dem Kokillengießverfahren wie auch mit dem Sandgießverfahren fertigen. (Anmerkung: Erläuterungen zur Druckdichtheitsprüfung liefert Kapitel 9.1.5)

Bei Betriebsdrücken über 25 bar sind die hochfesten CuAl-Gusslegierungen und die hochfesten CuZn-Gusslegierungen mit weiteren Legierungszusätzen am besten geeignet.

Nachfolgend aufgeführte Legierungen mit breitem Erstarrungsintervall sind schwieriger zu gießen. Sie erfordern eine angepasste konstruktive Gestaltung der Gussstücke.

- > CuSn- und CuSnZn-Legierungen: Die Zerspanung der in der Regel dichten Gushaut sollte auf ein Minimum reduziert werden.
- > CuSnZn- und CuSnPb-Legierungen: Eine mögliche Gussporosität wird durch einen entsprechend höheren Bleianteil in der Legierung gemindert. Dadurch werden die Mikrolunker teilweise geschlossen.
- > CuSn-Gusslegierungen: Durch einen 2%igen Nickelzusatz werden sie hinsichtlich Ihrer Druckdichtheit verbessert.
- > CuNi10Fe1Mn1-C: Die Legierung ist schwierig zu gießen, hat aber ein Potenzial zur Herstellung druckdichter Gussstücke.

Hinweise auf die Eignung für die Herstellung druckdichter Gussstücke gibt **Tabelle 9**.

1.5.4 Leitwerkstoffe

Hierunter fallen Konstruktionswerkstoffe, deren elektrische Leitfähigkeit bestimmte Werte einhält. In erster Linie sind dies die unlegierten Kupfergussarten mit elektrischen Leitfähigkeiten über 55 MS/m im Kokillenguss und im Sandguss 50 MS/m (Sorte A). Aus ihnen werden Bauteile jeglicher Art gegossen:

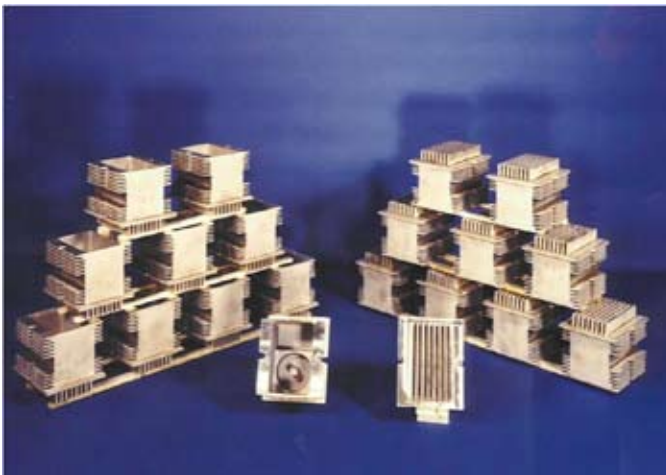
- > Schalter
- > Stromzuführungen
- > Kontakte/ Kontaktbacken
- > Elektrodenhalter/ Elektrodenarme
- > Kurzschlussringe

Werden höhere Festigkeitsanforderungen gestellt, müssen geringere Leitfähigkeiten in Kauf genommen werden (nach DIN EN 1982 mindestens 45 MS/m). Der aushärtbare, mit Chrom legierte Werkstoff CuCr1-C eignet sich z. B. für

- > Hochspannungsschalterteile,
- > wassergekühlte Elektrodenarme an Schweißstraßen,
- > Punktschweißelektroden,
- > Spannbacken für Stumpfschweißmaschinen.

In der Elektrotechnik werden verschiedene Kupfer-Zink-Gusslegierungen für Leitzwecke verwendet. Da Begleitelemente bereits bei geringen Gehalten die Leitwerte der Kupferlegierungen stark herabsetzen, ist der gewünschte Leitwertbereich in der Bestellung zu nennen. Folgende Kupfer-Zink-Gusslegierungen (einschl. Angabe der Leitfähigkeitswerte) werden bevorzugt eingesetzt:

- > CuZn15As-C 15 MS/m
- > CuZn33Pb2-C 10– 14 MS/m
- > CuZn38Al-C 12 MS/m



Kühlergehäuse

Für Anwendungsfälle, in denen ein *hoher elektrischer Widerstand* (= geringe elektrische Leitfähigkeit) gefordert wird, das trifft für Komponenten zu, die bei Bewegung im Magnetfeld ein möglichst kleines Sekundärfeld aufbauen sollen, eignen sich die Legierungen der Gruppe CuAl.

Die Werkstoffe mit einer *hohen elektrischen Leitfähigkeit* besitzen gleichzeitig auch eine hohe Wärmeleitfähigkeit. Daher eignen sich diese Werkstoffe für Anwendungen, bei denen eine gute Wärmeübertragung gefordert wird:

- > Kühlkästen
- > Blasformen
- > Kühlerdeckel
- > Zylinderköpfe

Der Werkstoff Cu-C, Sorte C (elektrische Leitfähigkeit 32 MS/m) wird vor allem für kompakte und große Gussstücke in der stahlproduzierenden Industrie z. B. für Hochofen-Kühlkästen, Blasformen, Sauerstoffanlagen und Hochofen-Armaturen verwendet.

In der Elektrotechnik werden bevorzugt die Sandgussarten A und B oder der im Kokillengießverfahren verarbeitete Werkstoff Cu-C-GM verwendet.

Die Sorte A mit der höchsten Wärmeleitfähigkeit wird als Werkstoff für Stranggießkokillen eingesetzt.

Als weitere Werkstoffgruppe für erhöhte Anforderungen an die Wärmeleitfähigkeit werden die nicht genormten hochfesten Kupfer-Beryllium-Gusslegierungen sowie CuCr1-C eingesetzt. Sie werden für Plunger (Kolben) in Druckgießmaschinen sowie für thermisch hoch beanspruchte metallische Dauerformen (Kokillen) verwendet.

	Eignung	
	dünne Querschnitte	dicke Querschnitte
Kupfer und Kupfer-Chrom-Legierung		
Cu-C	+	+
CuCr1-C	o	o
Kupfer-Zink-Legierungen		
CuZn15As-C	+	+
CuZn33Pb2-C	+	+
CuZn35Mn2Al1Fe1-C	+	+
CuZn34Mn3Al2Fe1-C	+	+
CuZn25Al5Mn4Fe3-C	+	+
Kupfer-Zinn-Legierungen		
CuSn16Si4-C	+	+
CuSn12-C	-	-
CuSn12Ni	o	o
CuSn10-C	o	-
Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen		
CuSn5Zn5Pb2-C	+	o
CuSn5Zn5Pb5-C	+	o
CuSn3Zn8Pb5-C	+	o
Kupfer-Aluminium-Legierungen		
CuAl10Fe2-C	+	+
CuAl10Ni3Fe2	+	+
CuAl10Fe5Ni5-C	+	+
CuAl11Fe6Ni6-C	+	+
Kupfer-Nickel-Legierungen		
Cu-Ni10Fe1Mn1-C	+	+
Cu-Ni30Cr2FeMnSi-C	+	+

geeignet	+
weniger geeignet	o
nicht geeignet	-

Tabelle 9: Eignung von Kupfer-Gusslegierungen für die Herstellung druckdichter Bauteile aus Sandguss

Dünne Querschnitte: 2–20 mm

Dicke Querschnitte: > 20 mm

2 Form- und Gießverfahren



WERKBILD MATTHIES DRUCKGUSS GMBH & CO. KG

	Sandguss		Feinguss	Kokillenguss	Druckguss	Schleuderguss	Strangguss
	handgeformt	maschinengeformt					
max. Stückgewichte [kg]	140.000	500	5	30	10	3.500	6.000
Raumdiagonale [mm]	14.000	1.160	150	500	450	-	-
max. Durchmesser [mm]	-	-	-	-	-	2.500	436
Mindeststückzahl	1	20	50	50	3.000	1	1*

* mindestens 300 kg pro Abmessung

Tabelle 10: Vergleich Einsatzbereiche der Form- und Gießverfahren

Den kürzesten Weg vom Rohmetall zum fertigen Produkt bietet das Gießen. Allen gießtechnischen Verfahren ist gemeinsam, dass eine Form herzustellen ist, in welche das Metall eingegossen wird und in der es erstarrt.

Bild 3 gibt einen Überblick über serienübliche Gieß- und Formverfahren für Kupfergusslegierungen. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen Verfahren, die mit „verlorenen“ Formen arbeiten, welche nach jedem Guss zerstört werden (z. B. Grünsandverfahren) und Dauerformen, mit denen eine große Anzahl von Gussstücken hergestellt werden (z. B. Kokillenguss). Mit dem Stranggießverfahren werden keine endkonturnahen Bauteile sondern Formate hergestellt.

Die Wahl des am besten geeigneten Verfahrens wird maßgeblich bestimmt von technischen Faktoren (z. B. Festigkeitsanforderungen, Bauteilgestalt, Größe, Gewicht, Stückzahl). Für die verschiedenen Gießverfahren lassen sich dann die Fertigungskosten errechnen, die in der Regel über die Wahl des Gießverfahrens entscheiden. Wichtig in der Gesamtkostenbetrachtung ist es, insbesondere beim Vergleich konkurrierender Fertigungsverfahren, die gesamten Herstellungskosten bis zum einsatzbereiten Bauteil zu betrachten. In der Regel lassen sich mit den Gießverfahren bei einer werkstoff- und gießgerechten Gestaltung Einsparungen bei den folgenden Bearbeitungsschritten mechanische Bearbeitung/ Fügetechnik erzielen.

Vor diesem Hintergrund ist dem Konstrukteur zu empfehlen, sich so früh wie möglich mit einem erfahrenen Gießer in Verbindung zu setzen. Allgemein gilt, je komplexer ein Bauteil ist, desto wirtschaftlicher kann es mit Gießverfahren gefertigt werden. Der Einsatz des für die Serie infrage kommenden Gießverfahrens kann durch eine Prozess-FMEA (Fehlermöglichkeiten und Einfluss-Analyse) abgesichert werden.

Für die Formgebung durch Gießen können für die Kupfergusslegierungen die gleichen Verfahren angewendet werden wie für die Eisen- oder die anderen NE-Metall-Gusswerkstoffe. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen werden fast ausschließlich das Sand-, Kokillen-, Schleuder-, Strang- oder Druckgießverfahren benutzt. (Siehe auch „Technische Richtlinien - Druckguss“ und „Technische Richtlinien - Aluminium-Sand- und -Kokillenguss“)

Die **Tabelle 10** gibt eine Übersicht über die verschiedenen Form- und Gießverfahren mit Richtangaben über Stückgewichte und Mindeststückzahlen.

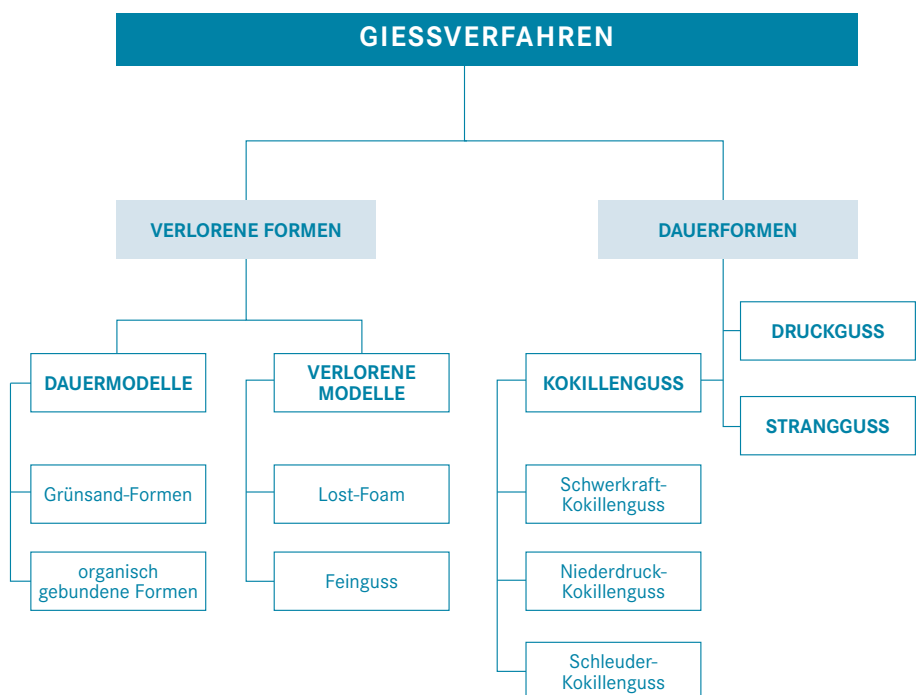
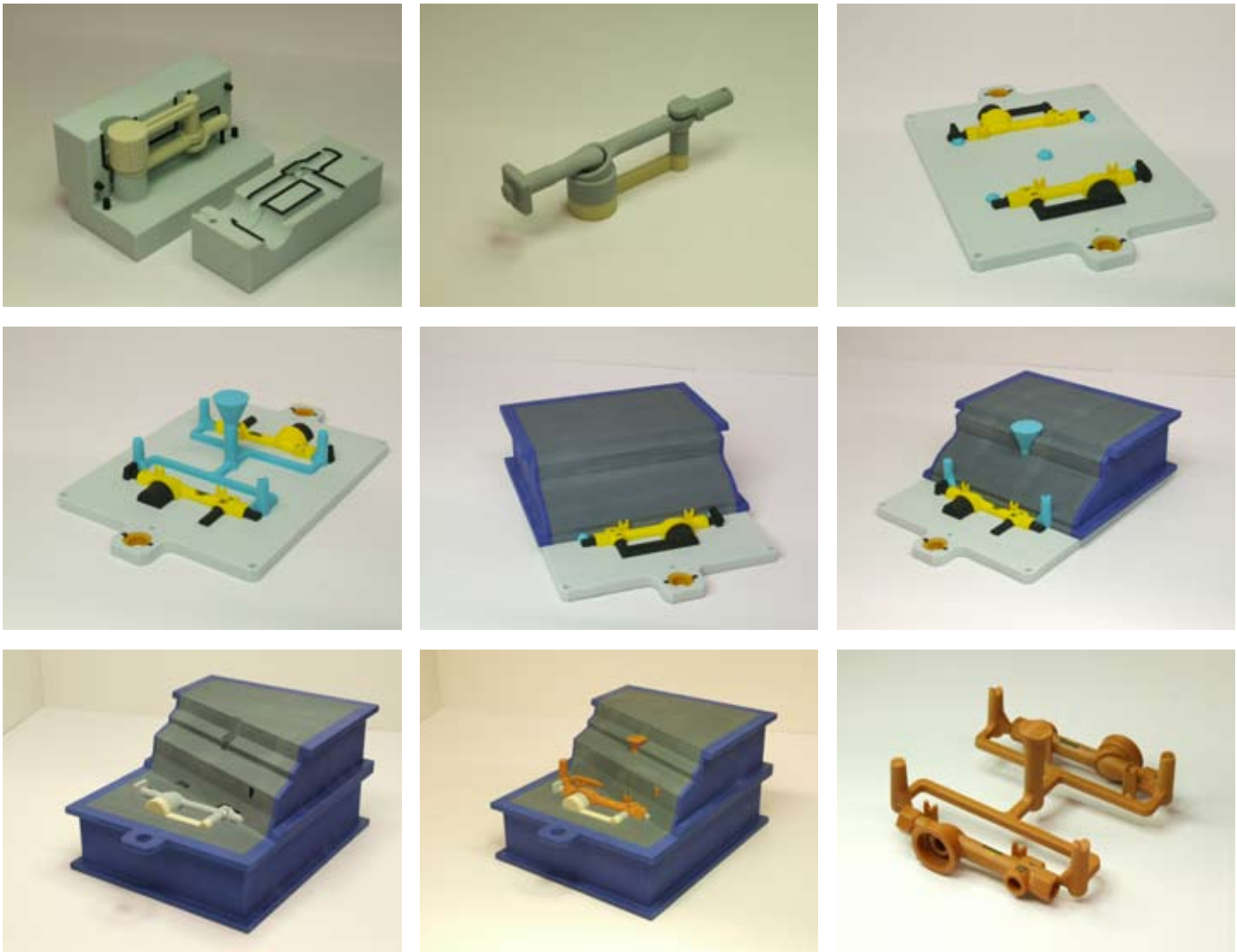


Bild 3: Übersicht über die Form- und Gießverfahren für Kupferlegierungen



WERKBILDER GEBR. KEMPER GMBH & CO. KG

Kern- und Formherstellung

2.1 Sandgießverfahren

Beim Sandgießverfahren werden Verfahrensvarianten nach dem jeweils verwendeten Binder unterschieden:

- > Ton (Bentonit) zusammen mit Wasser oder
- > organische Harze (z. B. Polyurethan, Furanharz).

Darüber hinaus finden weitere anorganische Bindersysteme Verwendung.

Als Formgrundstoff wird – von Ausnahmen abgesehen – Quarzsand verwendet.

Das Verfahren, bei dem mit Bentonit als Binder gearbeitet wird, wird in der Gießereipraxis als Grünsandverfahren bezeichnet. Formen werden erzeugt, indem der Formsand (tonmineralumhüllter Quarzsand) auf eine Modellplatte in einem Kasten oder auch kastenlos aufgebracht und anschließend verdichtet wird. Die Verdichtung des Formsandes kann von Hand (Handformguss) oder maschinell (Maschinen-

formguss) erfolgen. Nach Entfernen des Modells wird durch das Zusammenlegen der Formhälften der Hohlraum erzeugt, in den das Metall eingegossen werden kann.

Nach dem Zement-Formverfahren, bei dem die Bindung des Quarzsandes mit Zement erfolgt, werden z. B. Schiffspropeller gegossen.

Alternativ zum Grünsandverfahren kann an Stelle des tongebundenen Formsandes auch mit kunstharzgebundenem Sand gearbeitet werden. Die abgießfähige Festigkeit des Formsandes wird dabei über eine chemische Reaktion erreicht.

In Verbindung mit Kernen bieten die Sandgießverfahren sehr weitreichende Konstruktionsmöglichkeiten. Es ist möglich Gussstücke mit mehr als 2 m Raumdiagonale zu erzeugen. Hinsichtlich der Stückzahlen reicht die Bandbreite von der Einzelstückfertigung bis zu Serien in größter Stückzahl.

Über den Grad der Mechanisierung des Formverfahrens sowie über die Güteklasse der Mo-

delle kann die Maßgenauigkeit der Gussstücke gesteuert werden (vergleiche auch Kapitel 3.10 Bearbeitungszugaben und 3.12 Toleranzen). Bei entsprechender Auslegung ist es möglich die Genauigkeit von Kokillengussstücken zu erreichen oder sogar zu überbieten (Kernpaketverfahren). Im Allgemeinen liegt die Maßgenauigkeit aber unterhalb der der Dauerformverfahren. Gleiches gilt für die Oberflächengüte, die ebenfalls unter denen der Kokillen- oder Sonderformverfahren liegt. Durch Anwendung besonders feiner Formsande oder spezieller Schichten lässt sich die Oberflächengüte verbessern.

Bedingt durch die geringere Erstarrungsgeschwindigkeit im Sandguss lassen sich im Vergleich zum Kokillenguss nicht ganz so hohe Festigkeitswerte erreichen. Ein deutliches Steigerungspotenzial besteht aber durch den lokalen Einsatz von Kühlkörpern oder Eingießteilen. Diese Kühlkörper werden gezielt in Bereichen positioniert, in denen höhere Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften gestellt werden.



WERKBILDER ED. FITSCHER GMBH & CO. KG

Fertigungsablauf Schleuderguss

2.2 Kokillengießverfahren

Die Formen, Kokillen genannt, bestehen vornehmlich aus Stählen mit hoher Temperaturwechselbeständigkeit. Auch Gusseisen und Kupferlegierungen werden verwendet. Bestehen Kokille und Kerne aus Stahl, so spricht man von einer Vollkokille. Werden Sandkerne eingelegt, spricht man von einer Halbkokille. Die Formfüllung geschieht vornehmlich mittels Schwerkraft. Das Niederdruckgießverfahren ist eine Variante des Kokillengießverfahrens.

2.2.1 Schwerkraft-Kokillengießverfahren

Mit dem Kokillengießverfahren lassen sich maßgenaue Gussstücke mit guter Oberflächenbeschaffenheit herstellen. Die relativ schnelle Erstarrung beim Kokillengießverfahren ergibt gegenüber dem Standard-Sandguss günstigere mechanische Werkstoffkennwerte. Unter Berücksichtigung der Werkzeugkosten können breit gespannte Seriengrößen abgedeckt werden.

Die Kokillen (=Formen) werden aus Warmarbeitsstählen oder hochfesten Kupfer-Legierungen gefertigt.

Wie Sandgussstücke sind auch Kokillengussstücke uneingeschränkt warmbehandlungsfähig, schweißgeeignet und dekorativ anodisch oxidierbar, wenn die hierfür geeigneten Legierungen gewählt werden.

2.2.2 Niederdruck-Kokillengießverfahren

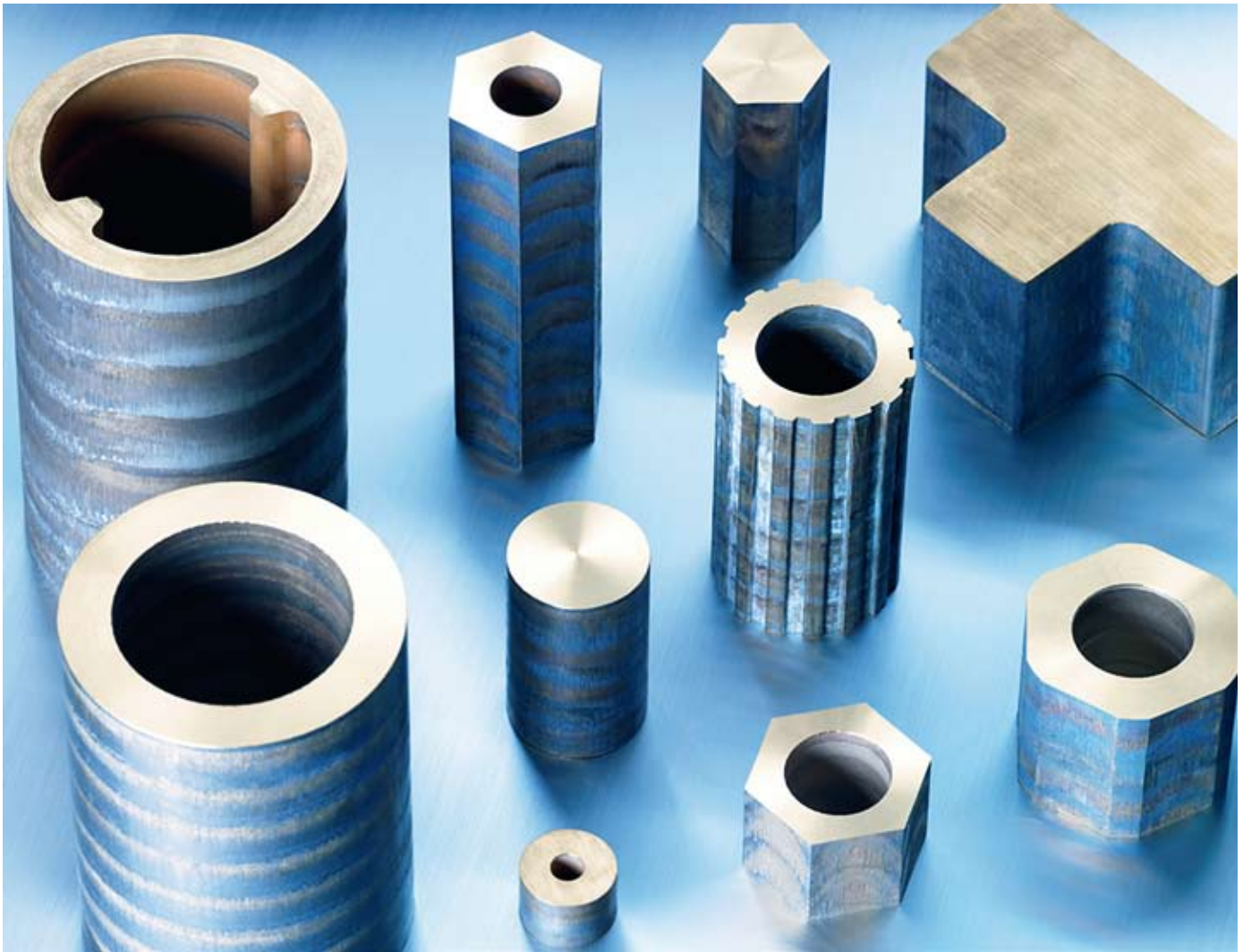
Diese Technologie stellt eine Variante des Kokillengießverfahrens dar. Während beim oben beschriebenen Kokillengießverfahren die Formfüllung mittels Schwerkraft erfolgt, geschieht dies beim Niederdruck-Kokillengießverfahren durch einen geringen Überdruck von etwa 0,3 – 0,7 bar. Dazu wird ein druckdichter Gießofen über ein Steigrohr mit der darüber angeordneten Kokille verbunden. Durch eine Druckerhöhung steigt der Metallspiegel durch das Steigrohr von unten in den Formhohlraum. Damit wird eine ruhige Formfüllung und bei geeigneter Gussstückgestalt eine gute Speisung erzielt. Vorteilhaft sind die mit dem Prinzip verbundene ruhige Metallzuführung und der geringe Kreislaufanteil. Die relativ lange Erstarrungszeit und damit zeitliche Beanspruchung des teuren Gießaggregates senkt die Produktivität. Bei entspre-

chenden Gussstücken und Seriengrößen lässt sich auch das Niederdruck-Kokillengießverfahren weitgehend mechanisieren.

2.2.3 Schleuder-Kokillengießverfahren

Das Schleuder-Kokillengießverfahren lässt sich vorteilhaft zur Herstellung von dickwandigen Büchsen und Rohren aus Kupfergusslegierungen anwenden. Bei diesem Verfahren wird das flüssige Metall in eine sich drehende rohrförmige Kokille mit horizontal liegender oder vertikal stehender Längsachse eingefüllt.

Auf hydraulisch geführten Schleudergießmaschinen mit gekühlten Dauerkokillen werden unter Ausnutzung einer hohen Zentrifugalbeschleunigung Gussprodukte gefertigt, die höchsten Ansprüchen genügen. Durch hohe Zentrifugalkräfte entsteht ein dichtes, feinkörniges Gefüge mit sehr guten mechanischen Eigenschaften. Die Werkstoffauswahl ist sorgfältig mit dem Gießer abzustimmen.



WERKBILD KS GLEITLAGER GMBH

Stranggussprofile

2.3 Stranggießverfahren

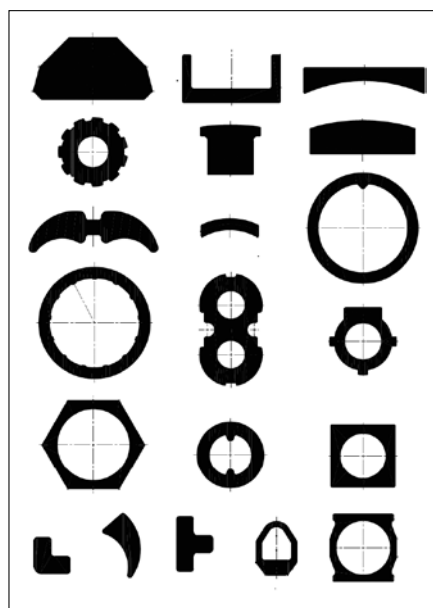
Das Stranggießverfahren ist das bevorzugte Verfahren zur kontinuierlichen Produktion von Röhren, Stangen und Profilen.

Die Schmelze erfährt in wassergekühlten, kupfer- oder stahummantelten Grafitkokillen ihre Formgebung.

Das Abziehen des gegossenen Stranges geschieht meist nicht gleichförmig, sondern in Stop and Go Schritten. Man unterscheidet zwischen vertikalem und horizontalem Strangguss. Beim Vertikalguss benötigt man eine große Bauhöhe für große Stranglängen. Der Nachteil der Horizontalverfahren liegt in der bei größeren Strangdurchmessern möglichen Verformung und Entmischung des noch heißen und schweren Stranges unter Einfluss der Schwerkraft. Die benötigte Einzellänge wird durch eine mitlaufende Säge während des Abziehens vom Strang abgetrennt.

Da in ähnlicher Weise wie beim Schleudergießverfahren eine gerichtete und schnelle Erstarrung erfolgt, ergibt sich ein regelmäßiger Gefügebau mit guten mechanischen Werk-

stoffeigenschaften. Eine Prüfung der Druckdichtheit ist aufgrund des Gefügebau nicht zwingend erforderlich.



Beispiele für mögliche Querschnitte von Profilen gibt Bild 4.

2.4 Druckgießverfahren

Beim Druckgießverfahren wird flüssiges Metall unter hohem Druck und mit großer Geschwindigkeit in Dauerformen aus Warmarbeitsstahl gegossen. Werkstoffseitig ist der Druckguss fast ausschließlich auf CuZn-Legierungen eingeschränkt, die mit einer Gießtemperatur von 900 – 1000 °C verarbeitet werden. Die hohe Gießtemperatur begrenzt die Lebensdauer der Druckgießformen. Bei den anderen Kupfergusswerkstoffen liegen die Gießtemperaturen noch höher, woraus sich eine weitere Reduzierung der Formenstandzeit ergibt.

Neben den Gusskomponenten aus CuZn-Legierungen wird Reinkupfer zur Herstellung von Rotoren für Elektromotoren im Druckgießverfahren verarbeitet.

Bild 4: Beispiele für im Stranggießverfahren herstellbare Profilquerschnitte



WERKBILDER ED. FITSCHER GMBH & CO. KG

Fertigungsablauf Stranggießverfahren

	Kernkastenwerkstoff			Arbeitstemperatur	Fertigung	
	Holz	Kunststoff	Metall		manuell	maschinell
gashärtend organisch	(x)	x	x	RT	x	x
gashärtend anorganisch	(x)	x	x	RT	x	x
thermisch aushärtend organisch			x	200 - 350°C		x
thermisch aushärtend anorganisch			x	150 - 250°C	(x)	x

Tabelle 11: Übersicht Kernherstellungsverfahren

Durch die Verwendung von Stahlkernen und Schiebern ergeben sich weitreichende Gestaltungsmöglichkeiten.

Wegen der hohen Strömungsgeschwindigkeiten bei der Formfüllung können Sandkerne im Druckgießverfahren allerdings nicht eingesetzt werden.

2.5 Feingießverfahren

Das Feingießen nach dem Wachsaußschmelzverfahren ist gekennzeichnet durch die Herstellung von einteiligen, keramischen Schalenformen. Damit entfällt die Form-(Modell-)Teilung und damit auch die hierdurch verursachten Toleranzen und Grate.

Für jede herzustellende Form und damit auch für jedes Gussstück ist ein Wachsmo- dell erforderlich. Diese Modelle werden ähnlich wie Kunststoff-Spritzgussstücke mittels Wachs- spritzmaschinen in Metallformen hergestellt. Die Wachsmo- delle werden einzeln (bei großen Stücken) oder zu mehreren als Gießtrauben mit dem ebenfalls aus Wachs gefertigten Gießsystem verschweißt.

Diese Wachsmo- delle werden dann durch mehrmaliges Tauchen in einen Keramikschricker mit anschließendem „Besanden“ und Trocknen mit einer Keramikscha- le überzogen. Das Wachs wird anschließend ausgeschmolzen und die Formen werden bei etwa 1.000 °C gebrannt. Die Gusslegierung wird in die noch heiße Form gegossen; dadurch werden feinste Konturen exakt wiedergegeben, und sehr dünne Wände und Querschnitte sind gießbar. Die Genauigkeit und Oberflächenbeschaffenheit der Gussstücke ist sehr gut. Über die erzielbaren Genauigkeiten gibt die BDG-Richtlinie P 690 „Feinguss“ Auskunft.

2.6 Herstellung und Verwendung von Sandkernen

Mit Hilfe von in die Form eingelegten Kernen lassen sich Hohlräume, Kanäle, Durchbrüche und Hinterschneidungen gießtechnisch erzeugen.

Kerne sollten nur dann verwendet werden, wenn dies aus Formgebungsgründen erforderlich ist. Auf eine sichere Positionierung der Kerne in der Form ist zu achten. Die Verwendung

von Kernen ist mit erhöhten Kosten verbunden. Die nachstehende Übersicht in **Tabelle 11** gibt einen zusammenfassenden Überblick über die wichtigsten Kernfertigungsverfahren.

Als Formgrundstoff wird allgemein Quarzsand verwendet. Motivation für die Entwicklung der anorganischen Verfahren ist die geringere Arbeitsplatz- und Umweltbelastung. Darüber hinaus können sich weitere technische Vorteile wie eine geringere Gasentwicklung beim Abguss ergeben. Jede Kernherstellungsmethode hat ihre besonderen verfahrens- und anwendungstechnischen Merkmale, die auf die unterschiedlichen Anforderungen (z. B. erforderliche Stückzahl, Kernfestigkeit, Kernzerfall, ...) entwickelt worden sind. Für besondere Anforderungen stehen weitere Techniken zur Verfügung. Die neuen in der Entwicklung befindlichen thermisch aushärtenden anorganischen Verfahren erfordern u. U. alternative Formstoffe (synthetische Sande), um optimale Oberflächengüten erzielen zu können.

3 Wärmebehandlung von Gussstücken aus Kupferwerkstoffen

Eine Wärmebehandlung kann aus folgenden Gründen vorgenommen werden:

- > Zum Abbau von Spannungen, die infolge rascher Erstarrung in der Form, durch schroffes Abschrecken nach dem Gießen oder bei spanender Bearbeitung der Gussstücke entstehen (Spannungsarmglühen).
- > Zur Steigerung der Festigkeitswerte oder zur Verbesserung der Duktilität (Homogenisieren).
- > Zum Vorwärmen von Gussstücken, an denen Schweiß- oder Lötarbeiten ausgeführt werden sollen.

Art und Zeitpunkt der Wärmebehandlung richten sich nach der Legierungszusammensetzung, dem Gießverfahren, der Wanddicke/ dem Gussstückgewicht und dem jeweils beabsichtigten Zweck, siehe **Tabelle 12**. Vor der Bearbeitung erfolgt ein Spannungsarmglühen, werkstoffabhängig bei 200 bis 730 °C – von Fall zu Fall auch zwischen einzelnen Bearbeitungsstufen (z. B. vor dem letzten Spanen). Grundsätzlich besteht ein Zusammenhang zwischen Zeit und Temperatur, d. h., ein gleiches Ergebnis lässt sich mit kurzer Zeit und hoher Temperatur (wird in Durchlauföfen genutzt) wie auch mit langer Zeit und niedriger Temperatur erzielen.

Die Zeiten hängen zudem ab:

- > vom Ofen (Temperaturverteilung, Temperaturgleichmäßigkeit),
- > von der Anzahl der Teile im Ofen und der Chargierung sowie
- > von der Größe bzw. der Masse der einzelnen Teile.

Die Durchführung der Wärmebehandlung erfolgt in der Regel in der Gießerei, die über die notwendige Erfahrung verfügt.

Hinsichtlich der Kosten für die Wärmebehandlung ist zu beachten, dass vor allem die Lösungsglühbehandlung sehr energieintensiv ist und damit hohe Kosten verursacht.



Tabelle 12: Übersicht über die Wärmebehandlungsparameter differenziert nach Werkstoffgruppen

Werkstoffgruppe	Spannungsarmglühen	
	Temperatur * [°C]	Zeit * [h]
Kupfer-Zinn-Legierungen	200 - 450	0,5 - 3
Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen	350 - 450	4 - 5
Kupfer-Zinn-Blei-Legierungen	200 - 250	4 - 5
Kupfer-Zink-Legierungen (+ Mn, Fe, Al)	250 - 300	0,5 - 3
Kupfer-Aluminium-Legierungen	250 - 600	0,5 - 3
Werkstoffgruppe	Homogenisieren	
	Temperatur * [°C]	Zeit * [h]
Kupfer-Zinn-Legierungen	650	6

* Kerntemperatur und Haltezeit

Die Zeiten gelten ab dem Zeitpunkt, an dem die gesamte Charge durchgewärmt ist



4 Werkstoff- und gießgerechte Konstruktion

4.1 Allgemeines

Nach Vorgabe des funktionsbestimmten Anforderungsprofils (Lastenheft) sind zur gießtechnischen Auslegung von Bauteilen folgende grundlegende Punkte vom Konstrukteur in Zusammenarbeit mit dem Gießer zu klären:

- > Welches Fertigungsverfahren ist für das Bauteil das technisch am besten geeignete und wirtschaftlich günstigste?
- > Welcher Werkstoff in Kombination mit dem Fertigungsverfahren (=Gießverfahren) kann das Anforderungsprofil am besten erfüllen?

Diese grundlegende Klärung erfordert einen großen Erfahrungshorizont. Im Idealfall sollten verfahrensspezifische Vorteile möglichst bereits vor der endgültigen Festlegung der Bauteilgeometrie berücksichtigt werden. Folgende Punkte sollten stets geprüft und berücksichtigt werden:

1. Wirtschaftlich
2. Funktions- und beanspruchungsoptimiert
3. Gießverfahrens- und werkstoffoptimiert
4. Modell- und formoptimiert
5. Putz- und bearbeitungsoptimiert
6. Prüfgerecht
7. Formschön

Die bei der Erstarrung auftretende Volumenkontraktion (bei den Kupfergusslegierungen beträgt sie etwa 5 - 7%) und dadurch entstehende Speisungsdefizite können durch gelenkte Erstarrung in einem hohen Maße aufgefangen werden. Dazu sind folgende Grundvoraussetzungen zu erfüllen:

- > Materialanhäufungen möglichst vermeiden, Knotenpunkte auflösen
- > Wanddicken sollten zum Speiser hin größer werden
- > Keine scharfen Wandstärkenübergänge
- > Querschnittsabstufungen sollten mit der Modulrechnung präzise ermittelt werden (Gießer mit einbeziehen!)

Darüber hinaus bestehen weitere Möglichkeiten, die Dichtheit des Gussgefüges zu optimieren:

- > Erstarrungslenkung durch *Anlegen von Kühlkörpern* (Kühleisen) im Sandguss
- > Erstarrungslenkung durch *Temperierung* (Kühlen/Heizen) *der Kokille*

Die Modelleinrichtungen bzw. Kokillen haben einen hohen Anteil an den Fertigungskosten. Zur optimalen Werkzeuggestaltung sind folgende Punkte zu beachten:

- > möglichst keine Hinterschneidungen
- > möglichst ungehinderte Schwindung/ Gussstückkontraktion
- > zweckmäßige Anordnung der Formteilung
- > ausreichend große Kernlagerung
- > Versteifung großer Flächen durch Verrippung
- > Beachtung des Schwindmaßes (siehe Kapitel 4.11)
- > ausreichend große Aushebeschrägen (siehe Kapitel 4.5)

Zur Berücksichtigung der spezifischen Belange der Kupfer-Gusslegierungen sollten bei der Konstruktion der Bauteile folgende Punkte beachtet werden:

- > wenn die Option besteht, auf Druckbeanspruchung auslegen
- > zur Minimierung lokaler Belastungsspitzen Krafteinwirkung auf große Querschnittsbereiche verteilen (z. B. Verwendung von Eingießeilen und Gewindeeinsätzen)

In Sonderfällen kann es aus technischen und wirtschaftlichen Gründen zweckmäßig sein, von Guss-Schweiß-Konstruktionen Gebrauch zu machen. Dabei stehen Bauteile aus Kupfer-Aluminium-Legierungen im Vordergrund des Interesses. Aus sandgegossenen Kupfer-Aluminium-Gussstücken fertigt man z. B. Pumpenlaufräder und Gehäuse für Pumpen als Guss-Schweiß-Konstruktion. Es lassen sich auch Guss-Verbund-Schweißkonstruktionen, d. h. Verbindungen von Gusswerkstoffen mit Knetwerkstoffen, z. B. Stahlblechen, herstellen.

Die Gussstückkonstruktion soll in enger Abstimmung mit dem Gießer erfolgen.

4.2 Teilung

Die Teilungsebene einer Sandform oder Kokille soll so einfach wie möglich gestaltet werden. Der Teilungsverlauf am Gussstück soll geradlinig sein und nicht durch Flächen gehen, deren Aussehen durch Abschleifen des Teilungsgrates beeinträchtigt werden könnte.

Häufig erlaubt die Konstruktion des Gussstücks keinen ebenen Teilungsverlauf. Auftraggeber und Gießer sollten gemeinsam versuchen, die einfachste und damit auch wirtschaftlichste Lösung zu finden.

4.3 Speiserflächen und Anschnittleisten

Speiserflächen und Anschnittleisten sind notwendig, um eine optimale Formfüllung und Erstarrung zu gewährleisten.

Das Putzen und Entgraten von Gussstücken (Entfernen von Graten, des Speiser- und Anschnittsystems, ...) verursacht Kosten. Bei der Konstruktion sollten daher folgende Punkte beachtet werden:

Ebene Flächen konstruieren, Innen- und Außenflächen müssen für die Putzwerkzeuge gut zugänglich sein.

Die Beispiele in **Bild 5** zeigen, wie man durch geringfügige konstruktive Änderungen wirtschaftlicher und besser putzen kann:

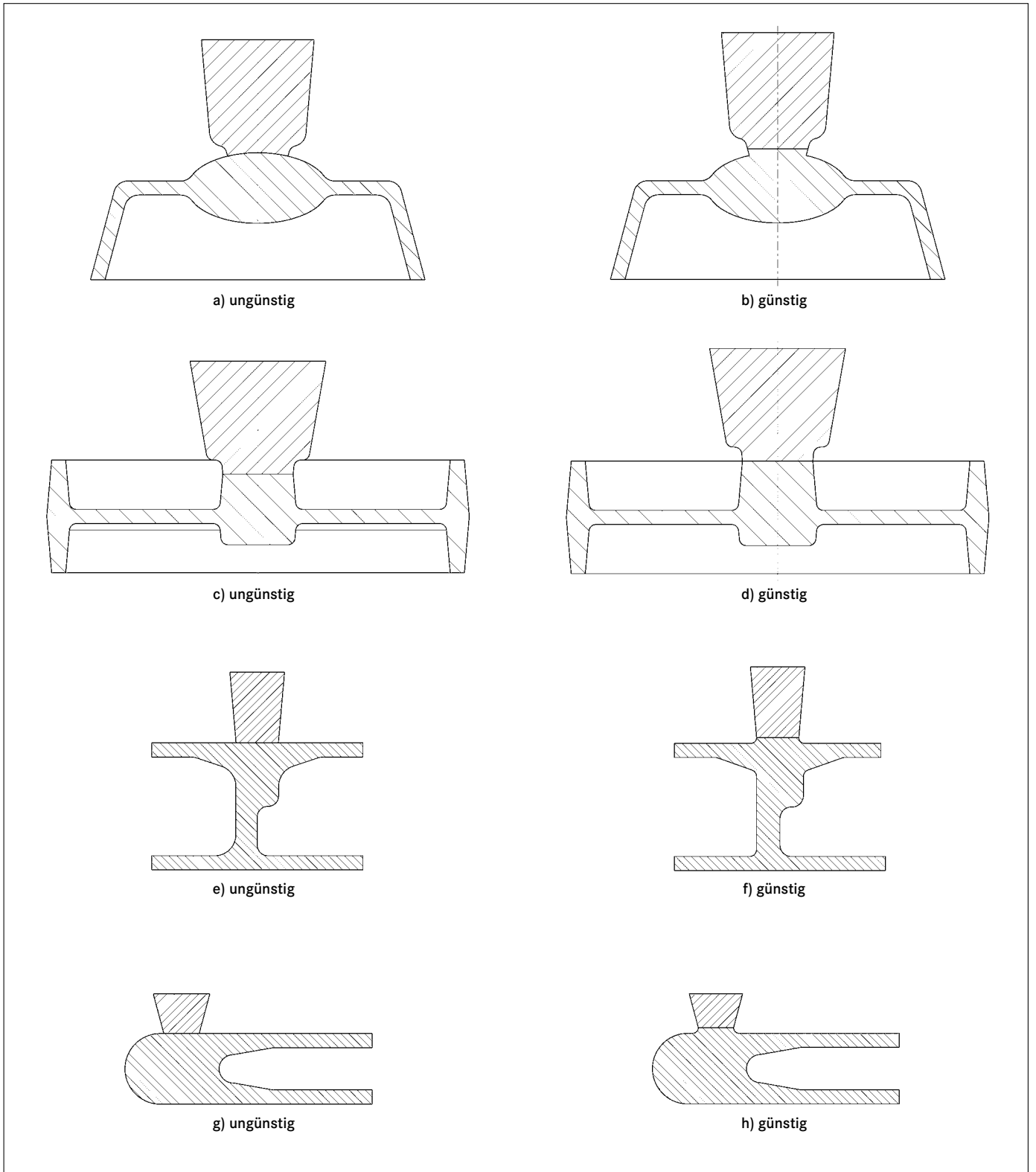


Bild 5: Beispiele für konstruktive Änderungen zur Optimierung des Abtrennens von Anschnitten und Speisern

Wanddicken	Sandguss	Feinguss	Kokillenguss	Druckguss	Schleuder- guss
minimal [mm]	3 ... 10	0,5	2,5	1	10 *
maximal [mm]	200	10	30	10	50 ... 300

* erst nach mechanischer Bearbeitung

Tabelle 13: Erreichbare Wanddicken für die verschiedenen Gießverfahren

4.4 Wanddicken, Übergänge, Verrippungen

Um optimale Bauteileigenschaften zu erzielen, sollten die Wandstärken nur so dick wie nötig ausgelegt werden. Die spezifische Festigkeit ist umso geringer, je dicker die Wand ist. Wanddickenübergänge sollten so ausgelegt werden, dass die Wanddicken zum Speiser hin zunehmen. Dadurch wird eine optimale Speisung in allen Querschnitten des Bauteils erreicht und schrumpfungsbedingte Porositäten minimiert. Durch gießtechnische Maßnahmen (z. B. Anlegen von Kühlkörpern) kann die Erstarrung gezielt beeinflusst werden.

Die kleinstmögliche Wanddicke wird bestimmt von:

- > der Größe des Gussstückes,
- > dem Gießverfahren und
- > der Legierung.

Die **Tabelle 13** gibt einen Überblick über die erzielbaren Wanddicken für die verschiedenen Gießverfahren.

Für die Fertigung von *Hohlprofilen im Stranggießverfahren* gibt **Bild 6** einen Überblick über mögliche Wanddicken in Abhängigkeit vom Außendurchmesser.

Nachfolgend sind einige Konstruktionsbeispiele mit gießtechnisch optimierten Lösungen (für den Formguss) aufgeführt:

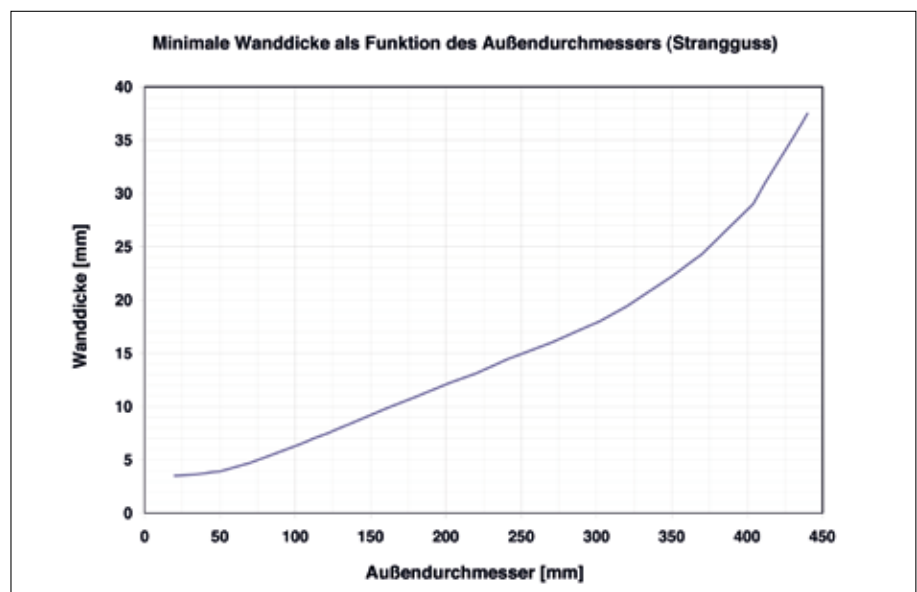


Bild 6: Zusammenhang zwischen Wanddicke und Außendurchmesser für stranggegossene Hohlprofile

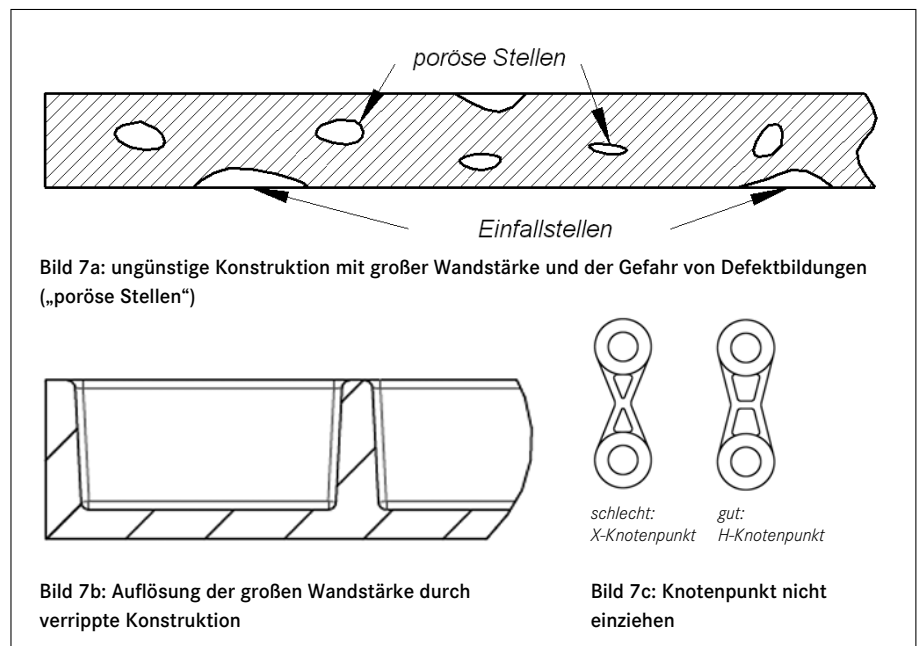


Bild 7a: ungünstige Konstruktion mit großer Wandstärke und der Gefahr von Defektbildungen („poröse Stellen“)

Bild 7b: Auflösung der großen Wandstärke durch verrippte Konstruktion

schlecht: X-Knotenpunkt gut: H-Knotenpunkt

Bild 7c: Knotenpunkt nicht einziehen

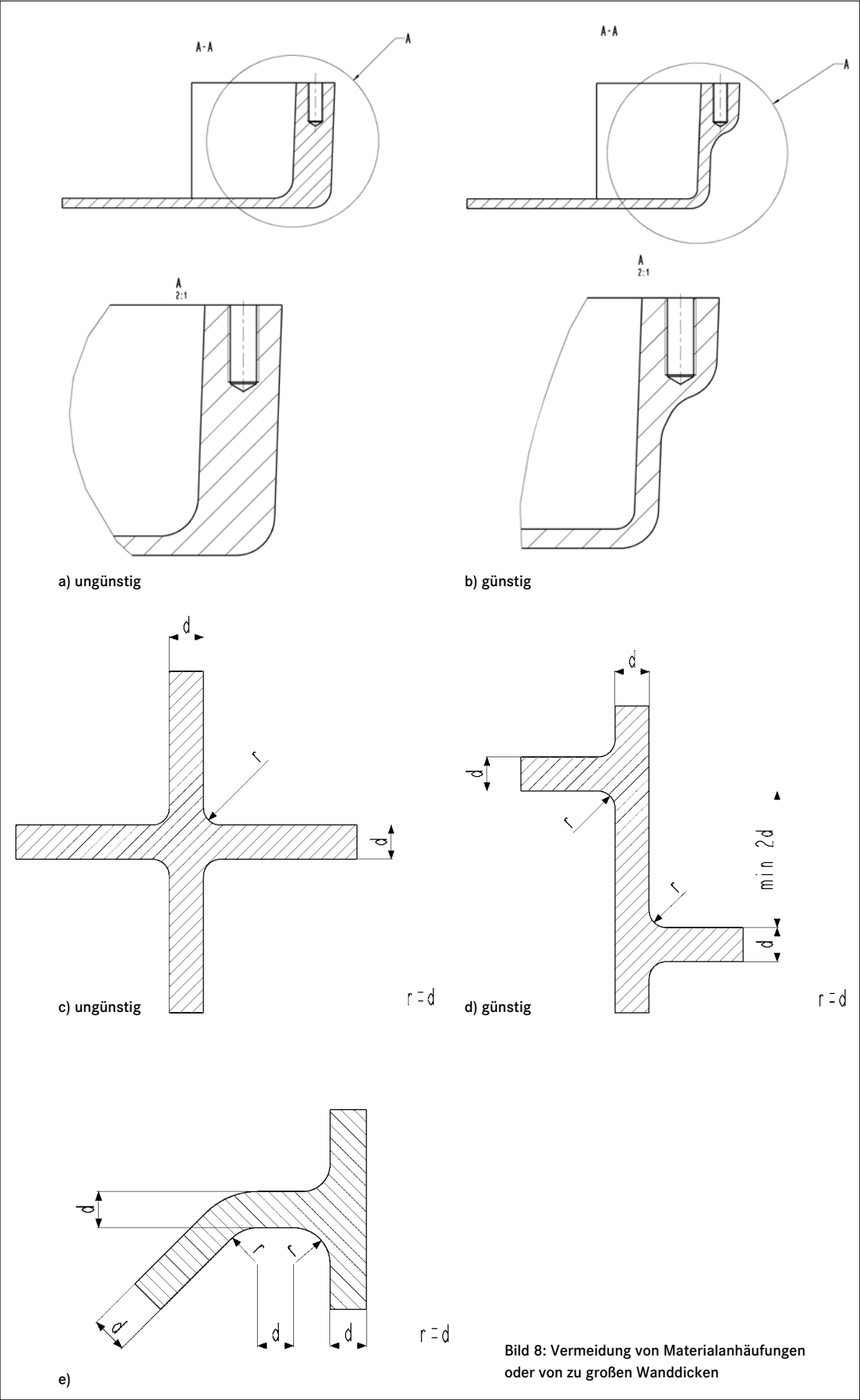


Bild 8: Vermeidung von Materialanhäufungen oder von zu großen Wanddicken

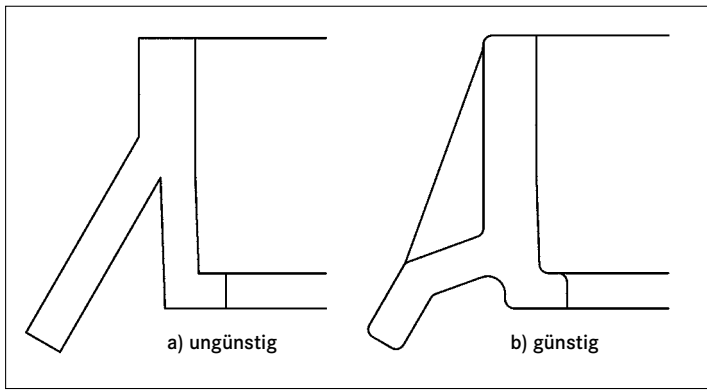


Bild 9: Vermeidung von Formspitzen

Weiterhin ist es wichtig, dass Übergänge allmählich erfolgen und in den Ecken ausgerundet werden. Die Ausbildung solcher Übergänge und Hohlkehlen sind in den **Bildern 9** und **10** skizziert.

4.5 Aushebeschrägen, Auswerferaugen

Beim Sandgießen muss ein einwandfreies Ausheben des Modells ohne Beschädigung der sehr empfindlichen Sandform möglich sein. Dazu sind an den Modellwerkzeugen Formschrägen vorzusehen, Formschrägen kleiner als 2° sind unbedingt zu vermeiden!

Beim Kokillenguss entstehen durch die Erstarrung des Metalls Schrumpfkkräfte, die es nötig machen, Abzugsflächen und Formeinsätze der Kokillen mit Schrägen zu versehen, um den Abguss einwandfrei aus der Form entnehmen zu können. Die Konizität richtet sich nach der Gestalt des Gusstückes.

Auch Sandkerne erfordern Aushebeschrägen, um sie fehlerfrei aus dem Kernkasten entnehmen zu können.

Bezüglich der Formschrägen für Gusstücke findet man in der DIN EN ISO 10135 Zeichnungsangaben und in der DIN EN 12890 Wertevor-

schläge für Sandformen. Weiterhin werden in der DIN EN ISO 8062 Ausformschrägen definiert.

Es ist geplant zukünftig in der DIN EN ISO 8062-3 einen Anhang mit Zahlenangaben für Ausformschrägen in Abhängigkeit der jeweiligen Fertigungsverfahren (Sand-, Kokillen-, Druck- und Feinguss) zu ergänzen. Details standen bei Drucklegung der vorliegenden Schrift noch nicht fest.

4.6 Bohrungen, Durchbrüche

Beim Sandgießen muss man sich in der Regel auf das Eingießen durchgehender und genügend großer Bohrungen und Durchbrüche beschränken. Bei zu geringen Durchmessern kann die erforderliche Kernlagerung nicht realisiert und damit keine ausreichende Genauigkeit gewährleistet werden.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Ränder von Durchbrüchen bei hoher Belastung mit Spannungsspitzen behaftet sein können, die Rissbildungen verursachen können. Dem kann durch Anbringung von Wülsten entgegengewirkt werden. In größeren ebenen Flächen werden Bohrungen am besten ein- oder beidseitig durch

Augen verstärkt. Das bringt neben einer höheren Festigkeit und Steifigkeit auch Vorteile bei der spanenden Bearbeitung, da nur die Augenflächen bearbeitet werden müssen.

Demgegenüber lassen sich beim Kokillengießen durch die Verwendung genau geführter Stahlkerne kleine Bohrungen und Sacklöcher gießen. Der Durchmesser muss in einem ausreichenden Verhältnis zur Länge der Bohrung stehen, siehe **Tabelle 14**, die Formschräge der Kerne muss ausreichend sein.

Falls die Funktion des Gusstückes eine Abstufung des Bohrungsdurchmessers zulässt, sollte diese Möglichkeit ausgenutzt werden. Dadurch wird die Betriebssicherheit der Gießform erhöht, siehe **Bild 11**.

Kritische Schrumpfkkräfte bei großen Lochabständen und relativ dünnem Kern fängt man zweckmäßig durch Anordnung besonderer „Stützflächen“ zwischen diesen Bohrungen ab, siehe **Bild 12**.

Gestaltungsbeispiele von Augen und Wülsten zeigt **Bild 13**.

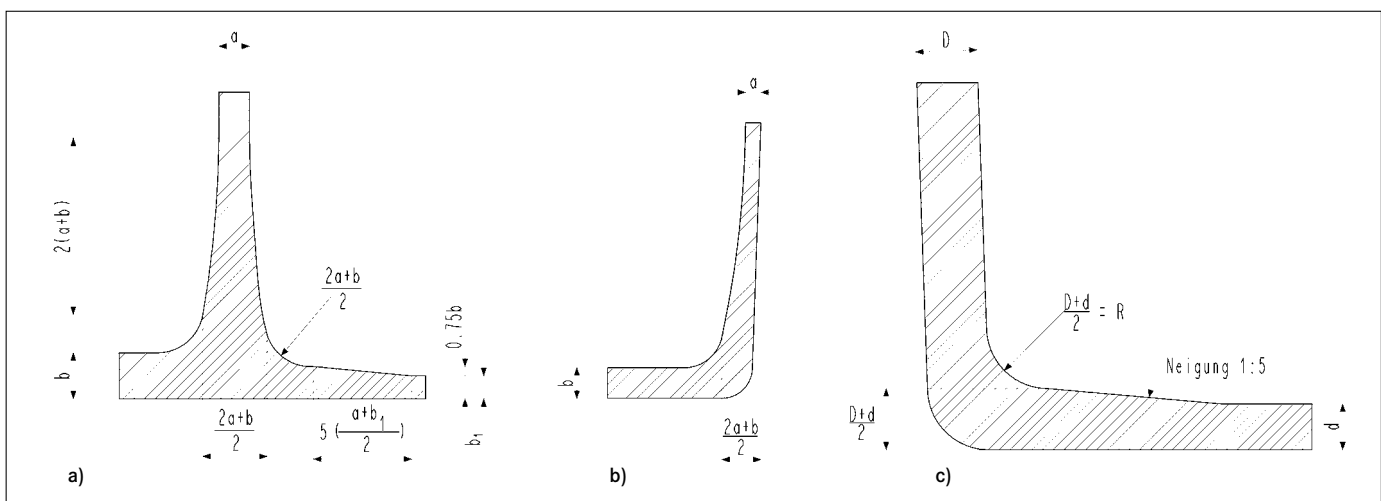


Bild 10: Beispiele richtig ausgelegter Querschnittsübergänge

	Sandguss	Kokillenguss	Bemerkungen
minimaler Bohrungsdurchmesser	$d \geq 8 - 15 \text{ mm}$	$d \geq 4 - 5 \text{ mm}$	im Sandguss nur durchgehende Bohrungen
Verhältnis Länge/Durchmesser	$L = 2 - 4 \cdot d$	$L = 10 \cdot d$	im Kokillenguss Sacklöcher max. $L = 4 \cdot d$

Tabelle 14: Empfohlene Grenzwerte (Durchmesser und Länge) für gegossene Bohrungen

(L) Bohrungslänge
(d) Bohrungsdurchmesser

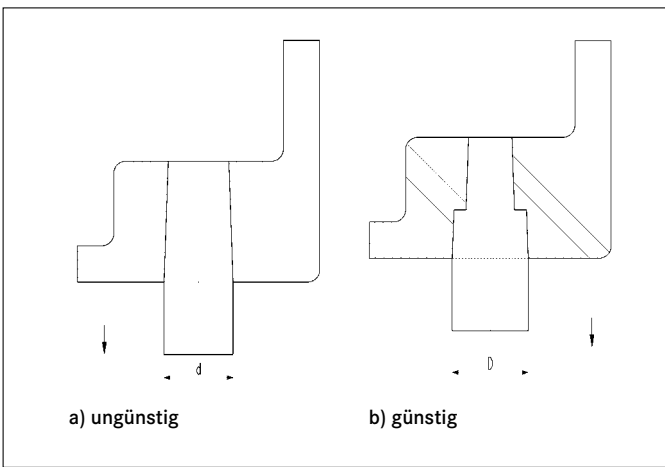


Bild 11: Abstufung bei gegossenen Bohrungen

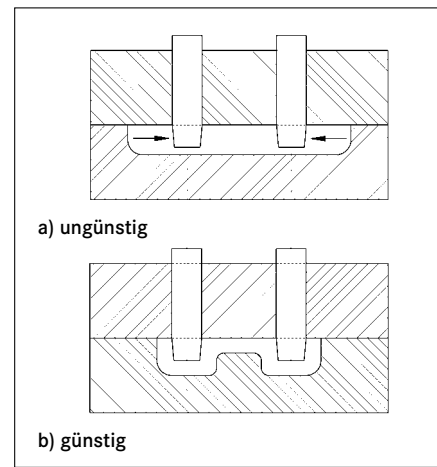


Bild 12: Stützflächen zum Abfangen der Schrumpfkkräfte bei Bohrungen

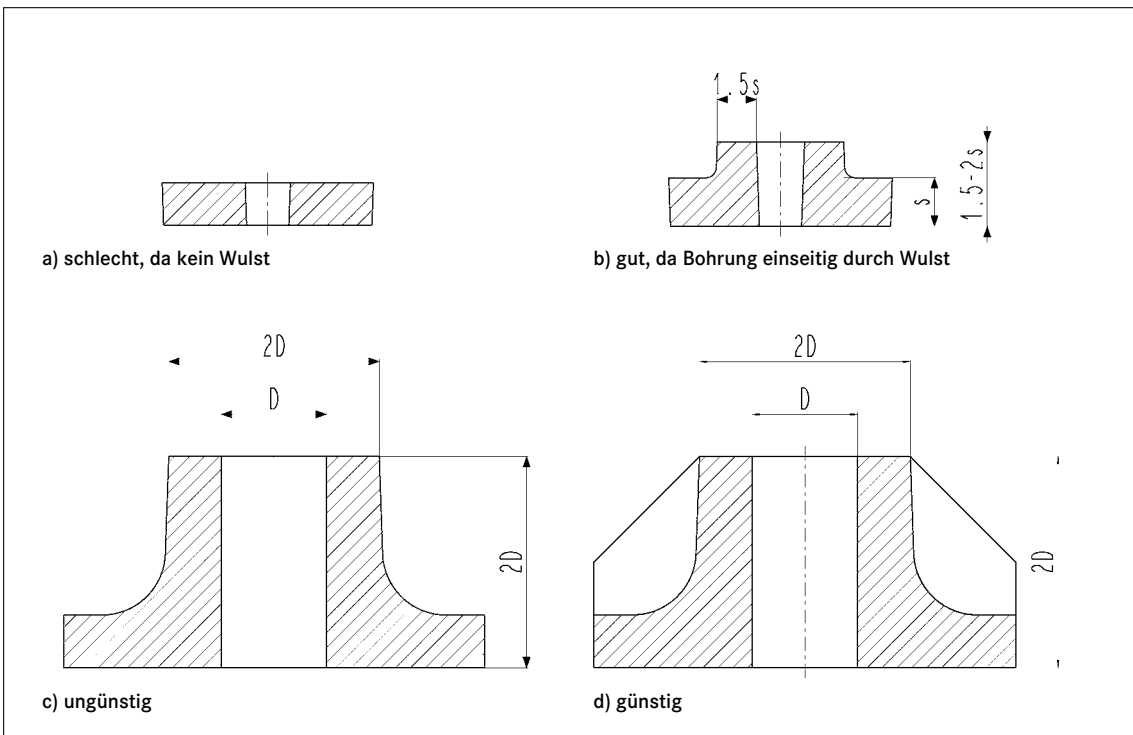


Bild 13: Gestaltung von Augen und Wülsten

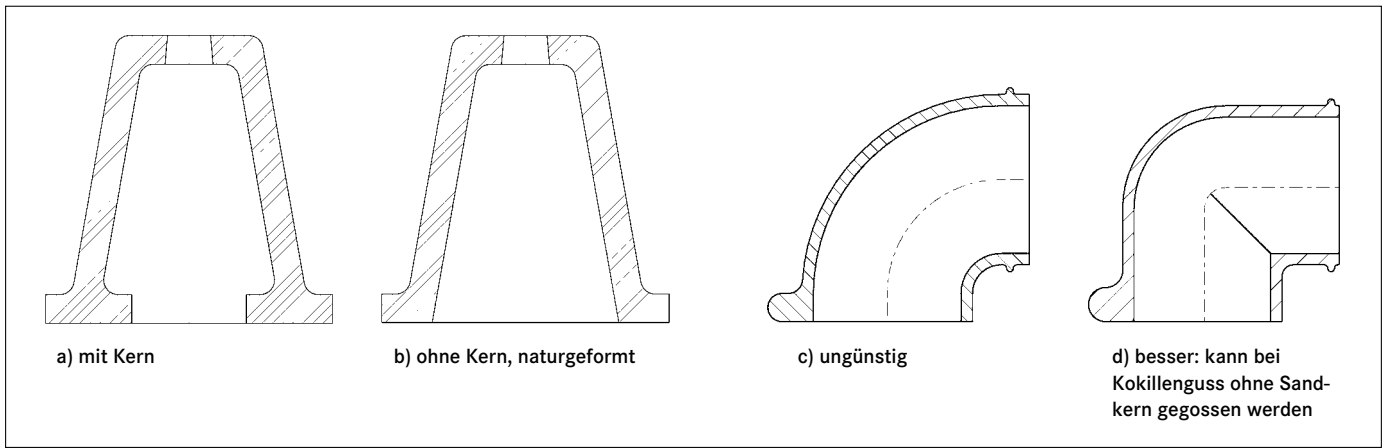


Bild 14: Beispiele zur Vermeidung von Sandkernen

4.7 Kerne

Eine möglichst einfache Formteilung ohne Abstufungen oder seitliche Durchbrüche liegt im Interesse von Gießerei und Abnehmer. **Bild 14** zeigt einige Beispiele wie Sandkerne vermieden, vereinfacht oder deren Anzahl minimiert werden können.

Bei Gussstücken mit Sandkernen ist besonders darauf zu achten, dass ausreichend und genügend große Austrittsöffnungen am Gussstück vorhanden sind, um

- > eine gute Lagerung des Kernes in der Form zu erreichen und
- > das Abführen der Gießgase beim Abguss sicherzustellen sowie
- > das einwandfreie Entfernen des Kernsandes aus dem Gussstück zu ermöglichen.

Bei manchen Gussstücken mit mehreren Hohlräumen ist es oft durch entsprechende Verbindung der Hohlräume miteinander möglich, die Anzahl der Sandkerne zu verringern, siehe **Bild 15**.

4.8 Hinterschnidungen/ Schieber

Generell sollten vom Gussstückkonstrukteur Konturen vermieden werden, die beim Entformen eine Hinterschneidung bilden und somit nur kompliziert oder gar nicht entformbar sind.

Sollte dies nicht möglich sein, besteht die Möglichkeit aufwändige, möglicherweise auch komplexe geteilte Schieber in der Form einzusetzen. **Bild 16** gibt ein Beispiel, wie ein mehrteiliger Schieber über eine Konstruktionsanpassung durch einen einfachen Schieber ersetzt werden kann.

Komplizierte Bauelemente mit nicht formbaren Hohlräumen lassen sich vielfach in zwei einfache Gussstücke unterteilen, die anschließend zusammengefügt werden müssen. Eine besondere Eignung weisen hier Kupfer-Aluminium-Gusslegierungen auf.

Für die Verwendung von Schiebern (auch Stahlkern oder Kernzug) in Kokillen ist folgendes wichtig:

- > Schieber können hydraulisch oder mechanisch bewegt werden
- > es ist eine Anordnung in Richtung der Formöffnung (senkrecht zur Formteilung) anzustreben
- > seitliche Schieber können parallel zur Formteilung auch schräg zu diesen oder in einem bestimmten Winkel zur Formteilung angeordnet werden, wenn genügend Platz vorhanden ist
- > ineinandergreifende Schieber sind störanfällig und nach Möglichkeit zu vermeiden
- > die Genauigkeit eines Lochabstandes ist am größten, wenn die betreffenden Bohrkern in derselben Formhälfte oder in demselben Schieber untergebracht werden

4.9 Schriftzeichen

Warenzeichen, Ziffern, Einstellmarken, Verzerrungen und dergl. können auf Außen- und Innenflächen von Gussstücken – bei Beachtung der nachfolgenden Richtlinien – fertig mitgegossen werden.

Die Ausführung nach **Bild 17 a** ist die gebräuchlichste, da sie den geringsten Aufwand an Zeit und Kosten beim Anfertigen des Modells und der Kokille verursacht. Beim Sandgussmodell wird das Schriftzeichen aufgesetzt, während es in die Kokille vertieft eingearbeitet wird. Das Schriftzeichen muss so angebracht werden, dass keine Hinterschneidung entsteht. Diese Ausführung ist gegenüber dem einströmenden Gießmetall am wenigsten empfindlich.

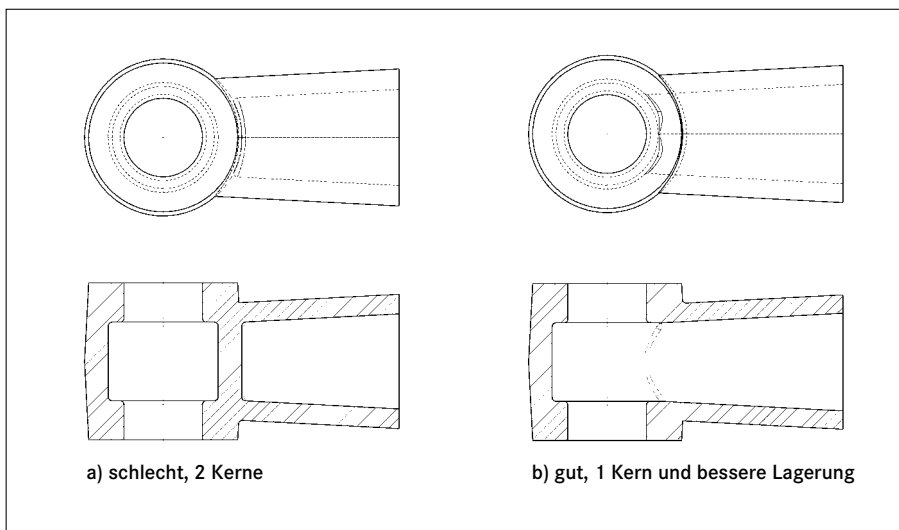


Bild 15: Konstruktionsbeispiele zur Reduzierung der erforderlichen Anzahl an Kernen

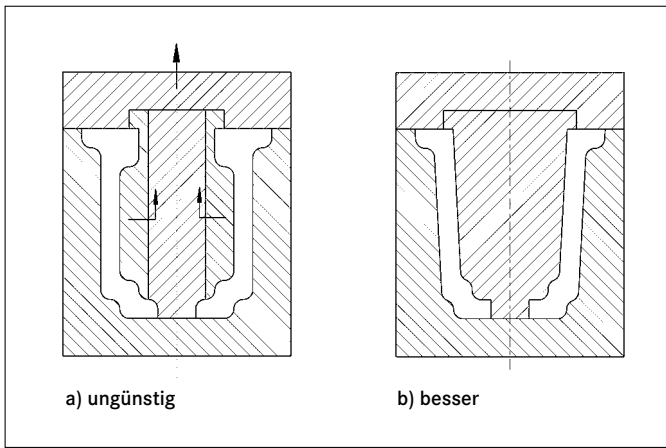


Bild 16: Eliminierung eines mehrteiligen Schiebers durch Überarbeitung der Bauteilgeometrie

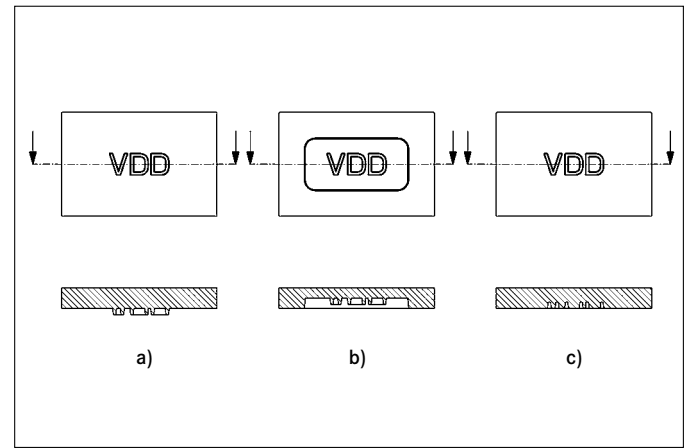


Bild 17: Ausführung mit gegossener Schriftzeichen

Bei Gussstücken, auf deren Oberfläche hervorstehende Schriftzeichen stören würden oder beschriftete Flächen bearbeitet bzw. geschliffen werden müssen, sind die erhabenen Schriftzeichen entsprechend Bild 17 b versenkt anzuordnen.

Die Ausführung nach Bild 17 c ist sehr teuer. Zudem sind die in der Form erhabenen stehenden Gravuren der Gefahr der Beschädigung und des starken Verschleißes ausgesetzt.

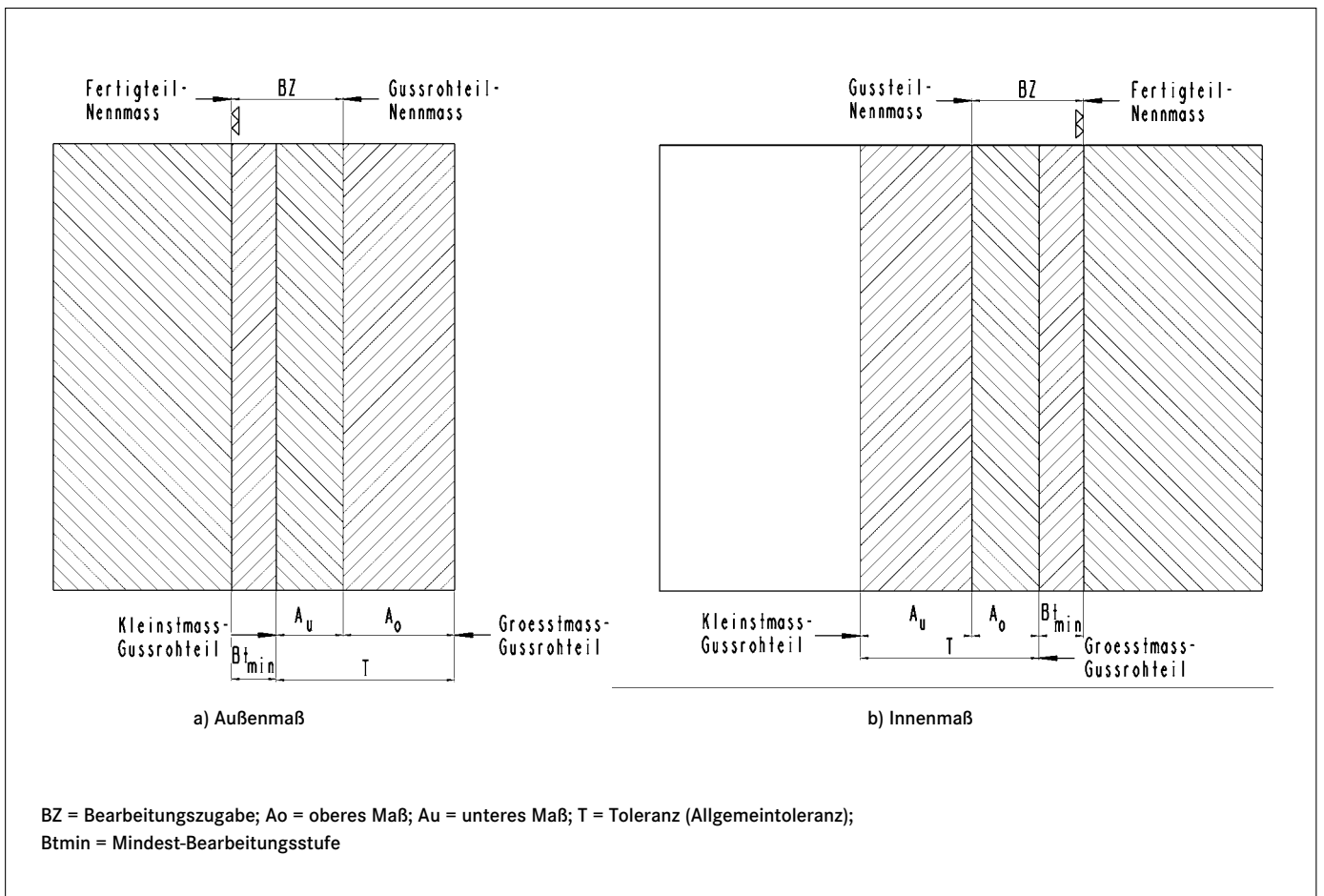
4.10 BEARBEITUNGSZUGABEN

Neben der Maßgenauigkeit wird die Bearbeitungszugabe von folgenden Größen bestimmt:

- > Formverfahren,
- > Schwindungsverhalten der Gusslegierung,
- > Werkstückgröße,
- > Art der Wärmebehandlung.

Die DIN EN ISO 8062 (DIN 1680, gilt nicht für Neukonstruktionen) macht allgemeine Angaben über Bearbeitungszugaben. Wird die Bearbeitungszugabe minimiert, so begünstigt dies auch die Dichtspeisung, den Materialeinsatz und Zerspanungsaufwand.

Den Zusammenhang zwischen Bearbeitungszugaben und Allgmeintoleranzen erläutert Bild 18.



BZ = Bearbeitungszugabe; Ao = oberes Maß; Au = unteres Maß; T = Toleranz (Allgemeintoleranz); Btmin = Mindest-Bearbeitungsstufe

Bild 18: Zusammenhang zwischen Bearbeitungszugabe und Allgmeintoleranz

Größtmaß [mm]		Erforderliche Bearbeitungszugabe [mm]									
		Grad der erforderlichen Bearbeitungszugabe (RMAG)									
		A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
-	≤ 40	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	1	2
	> 40	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	3
> 63	≤ 100	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4
	> 100	0,3	0,4	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	6
> 160	≤ 250	0,3	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8
	> 250	0,4	0,7	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10
> 400	≤ 630	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	6	9	12
	> 630	0,6	0,9	1,2	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14
> 1000	≤ 1600	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8	11	16
	> 1600	0,8	1,1	1,6	2,2	3,2	4,5	6	9	13	18
> 2500	≤ 4000	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14	20
	> 4000	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8	11	16	22
> 6300	≤ 10000	1,1	1,5	2,2	3	4,5	6	9	12	17	24

Die Grade A und B sind nur in besonderen Fällen anzuwenden, z. B. bei Serienfertigungen, wenn die Modelleinrichtung, das Gießverfahren und das Bearbeitungsverfahren unter Berücksichtigung der Spannfächen und der Bezugsflächen oder -stellen zwischen Kunde und Gießerei vereinbart wurden.

Die Tabellen 15a und b enthalten die Bearbeitungszugaben für den Sand-, Kokillen-, Druck- und Feinguss nach DIN EN ISO 8062.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass der Gießerei nicht nur die Rohteilzeichnung/-daten für die Herstellung des Gussstücks, sondern auch die Fertigteilzeichnung/-daten des Werkstücks zur Verfügung gestellt werden soll.

4.11 Schwindmaße

Die Schwindmaße sind stark von der Gusslegung sowie von der Bauteilkonstruktion abhängig. Daher können nur Richtwerte angegeben werden. Die DIN EN 12890 macht dazu entsprechende Angaben. Die in der Norm angegebenen Richtwerte sind in Tabelle 16 aufgeführt, erweitert um Spannen für konstruktionsbedingte Abweichungen: Bei sehr langen, dünnen Gussstücken mit ungehinderter Schwindung sind die Schwindmaße größer, bei behinderter Schwindung z. B. durch Absätze oder Hinterschneidungen sind die Schwindmaße kleiner.

4.12 Toleranzen

Die Maßgenauigkeit von Sandgussstücken und von Konturen, die über Sandkerne abgebildet werden (dies gilt auch für den Kokillenguss) ist verfahrensabhängig:

- > Maschinengeformter Sandguss ist maßgenauer als handgeformter.
- > Maschinell hergestellte Kerne sind genauer als handgefertigte.
- > Metallkernkästen gestatten ein genaueres Arbeiten als Holzkernkästen.

Die Modell- und Kokillentoleranzen und die tolerierten Maße bzw. Allgmeintoleranzen (Maße ohne Toleranzangabe) sind zwar unabhängig voneinander festgelegt, müssen aber einander zugeordnet werden.

Empfehlung: Von einer einseitigen Gussstücktolerierung ist abzusehen.

Über die oben genannten Faktoren hinaus wird die Maßgenauigkeit von folgenden Faktoren beeinflusst:

Tabelle 15a: Erforderliche Bearbeitungszugaben nach DIN EN ISO 8062-3

- > Schwindungsverhalten des Gussstücks in der Form
- > Größe und Komplexität des Gussstücks
- > Schwindung der Gusslegung
- > Dicke der Wandungen und Lage der betreffenden Partie zur Schwindungsrichtung
- > Art und Lagerung der Kerne (Kernmarken)
- > Spiel der Kerne und Schieber in ihren Führungen
- > Zustand und Abnutzungsgrad des Modells und der Dauerform

Die größere Genauigkeit ist stets bei Maßen zu erzielen, deren Begrenzungsflächen innerhalb einer Formhälfte liegen (formgebundene Maße) und nicht durch die Teilung (nicht formgebundene Maße) beeinflusst werden, siehe Bild 19.

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen tolerierten Maßen und Allgmeintoleranzen. Bei tolerierten Maßen sind die einhaltbaren Toleranzen, d. h. die erzielbaren Genauigkeiten, zu berücksichtigen.

Der Strangguss ist hinsichtlich der Toleranzen gesondert zu betrachten.

Verfahren	Grad der erforderlichen Bearbeitungszugabe RMAG
Sandguss, handgeformt	F bis H
Sandguss, maschinengeformt, Maskenformverfahren	E bis G
Kokillenguss (außer Druckguss)	D bis F
Druckguss	B bis D
Feinguss	E

Tabelle 15b: Typische, erforderliche Bearbeitungszugaben für Rohgussstücke aus Kupferlegierungen (nach DIN EN ISO 8062-3)

Werkstoffgruppe	Richtwert	unterer Richtwert *	oberer Richtwert *
Kupfer und Kupfer-Chrom-Legierung	1,9	1,5	2,1
Kupfer-Zink-Legierungen	1,2	0,8	1,8
Kupfer-Zink-Legierungen mit Mn, Fe, Al	2,0	1,8	2,3
Kupfer-Zinn-Legierungen	1,5	0,8	2,0
Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen	1,3	0,8	1,6
Kupfer-Aluminium-Legierungen *	2,1	1,9	2,3

Tabelle 16: Schwindmaße für Kupfergusswerkstoffe

* Werte nicht in der Norm 12890 enthalten

Anmerkung: der untere Richtwert gilt für Gussstücke mit stark behinderter Schwindung. Im oberen Bereich liegen Gussstücke mit geringer bis unbehinderter Schwindung. U.U. kann es erforderlich sein in Länge, Breite und Höhe mit unterschiedlichem Schwindmaß zu arbeiten

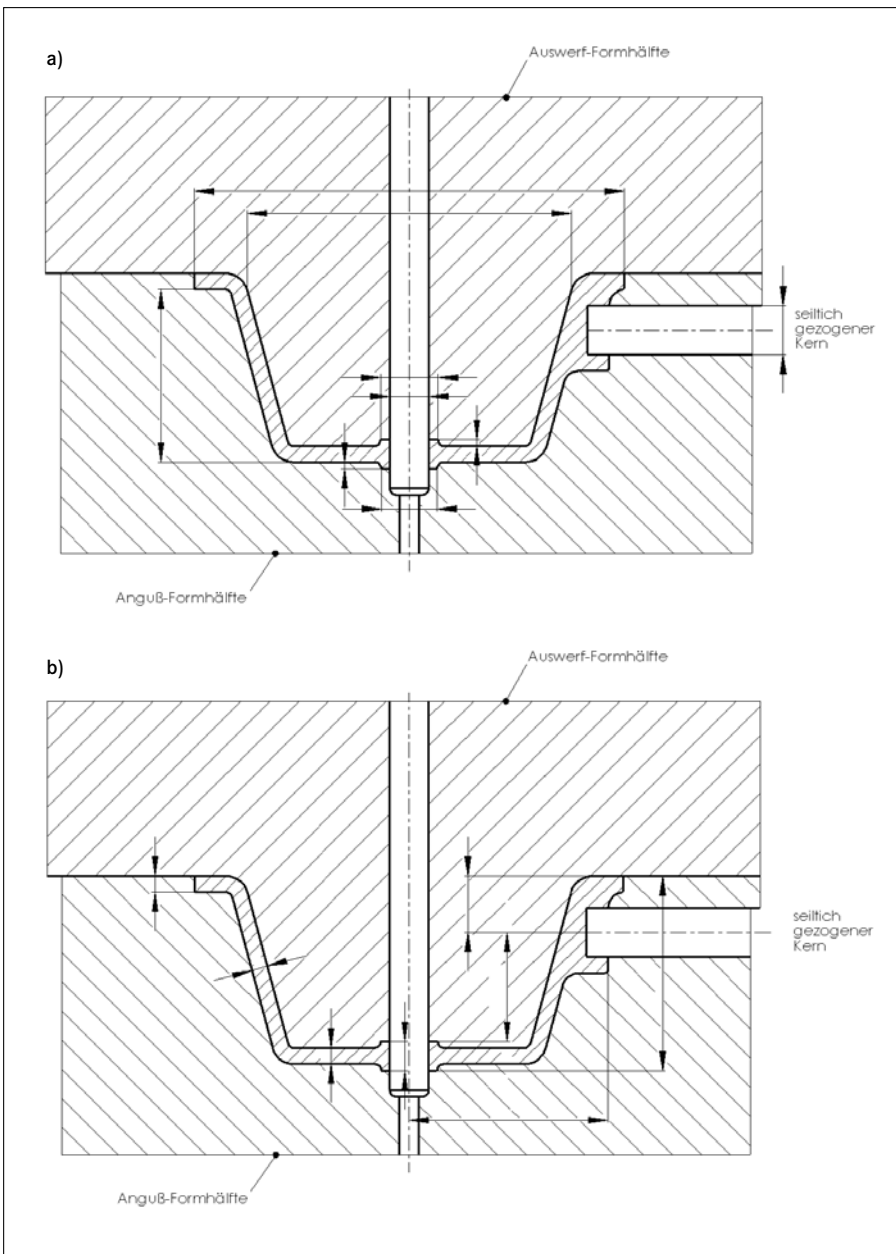


Bild 19: (a) formgebundene Maße, (b) nicht formgebundene Maße

Bereich Raumdiagonale [mm]	Art	Einhaltbare Toleranzen (Druckguss-Rohrteile aus Kupferlegierungen) [mm]								
		Nennmaßbereich [mm]								
		bis 6	6 bis 10	10 bis 18	18 bis 30	30 bis 50	50 bis 80	80 bis 120	120 bis 180	IT-Reihe
bis 50	A	± 0,06	± 0,08	± 0,09	± 0,11	± 0,13	-	-	-	IT 12
	B	± 0,12	± 0,14	± 0,15	± 0,17	± 0,19	-	-	-	IT 12*
50 bis 180	A	± 0,08	± 0,09	± 0,11	± 0,13	± 0,16	± 0,19	± 0,22	± 0,25	IT 12/5
	B	± 0,16	± 0,17	± 0,19	± 0,21	± 0,24	± 0,27	± 0,30	± 0,33	IT 12/5*

*) mit Zugabe

Toleranzarten:

(A) Formgebundene Maße

(B) Nicht formgebundene Maße

Tabelle 17: Einhaltungbare Toleranzen für Druckguss-Rohrteile aus Kupferlegierungen

4.12.1 Einhaltungbare Toleranzen (erzielbare Genauigkeit)

Über erzielbare Genauigkeiten gibt es vom Verein Deutscher Giessereifachleute (VDG) aufgestellte Festlegungen, siehe **Tabelle 17** für Druckguss-Rohrteile aus Kupferlegierungen.

Die Teile werden entsprechend ihrer Raumdiagonale (Erläuterung der Raumdiagonale siehe **Bild 20**) in Größenklassen eingeteilt. Die Raumdiagonale ergibt sich aus:

$$R = \sqrt{l^2 + b^2 + h^2}$$

Diese einhaltbaren Toleranzen (erzielbare Genauigkeit) sind bei der Festlegung von tolerierten Maßen zu berücksichtigen. Erhöhte Ansprüche an die Maßgenauigkeit setzen einen entsprechend höheren Aufwand für die Kokillen/Druckgussformen und für die Fertigung voraus. Nicht zuletzt aus Kostengründen sollten daher allgemein nur funktionsnotwendige Genauigkeiten gefordert werden; so genau wie notwendig, so grob wie möglich. Bei allen Gieß-

verfahren lassen sich durch spezielle, aufwändige Maßnahmen noch engere Toleranzen einhalten. Hier ist jedoch die Absprache mit der Gießerei zwingend erforderlich.

4.12.2 Allgmeintoleranzen

Die Allgmeintoleranzen sind umfassend in DIN EN ISO 8062 festgelegt. Die Norm gilt für Neukonstruktionen ab 2008.

Für ältere Konstruktionen vor 2008 enthält die DIN 1680, Teile 1 und 2 das Grundsätzliche über Allgmeintoleranzen sowie Angaben über die Berücksichtigung der Formschrägen.

Ebenfalls für ältere Konstruktionen sind die Allgmeintoleranzen für Längen- und Dickenmaße in DIN 1687, Teil 1 für den Kupfer-Sandguss, in DIN 1687, Teil 3 für den Kupfer-Kokillenguss und in DIN 1687, Teil 4 für den Kupfer-Druckguss aufgeführt.

Die DIN EN ISO 8062 enthält ausschließlich für Sandguss:

- > Toleranzgrade für die Großserienfertigung, **Tabelle 18a**
- > Toleranzgrade für Einzelfertigung oder Kleinserien von Rohgussstücken, **Tabelle 18b**
- > Gusstoleranzen als Zahlenwerte, **Tabelle 18c**

Anmerkung zur Tabelle 18a:

Die angegebenen Toleranzgrade können üblicherweise bei Großserienfertigung von Gussstücken eingehalten werden und wenn Fertigungsfaktoren, die sich auf die Maßgenauigkeit des Gussstückes auswirken, voll beherrscht werden. Die unter Feinguss aufgeführten Grade sind in Abhängigkeit vom Größtmaß zu wählen.

Für komplizierte Gussstücke wird ein Grad größer empfohlen.

Anmerkung zur Tabelle 18b:

Die Werte in dieser Tabelle gelten allgemein für Nennmaße über 25 mm. Für kleinere Abmessungen können üblicherweise aus wirtschaftlichen und praktischen Gründen engere Toleranzen wie folgt festgelegt werden:
Nennmaß bis 10 mm: drei Grade enger
Nennmaß 10 bis 16 mm: zwei Grade enger
Nennmaß 16 bis 25 mm: ein Grad enger

Anmerkung zur Tabelle 18c:

Für Wanddicken gilt der nächsthöhere Grad.

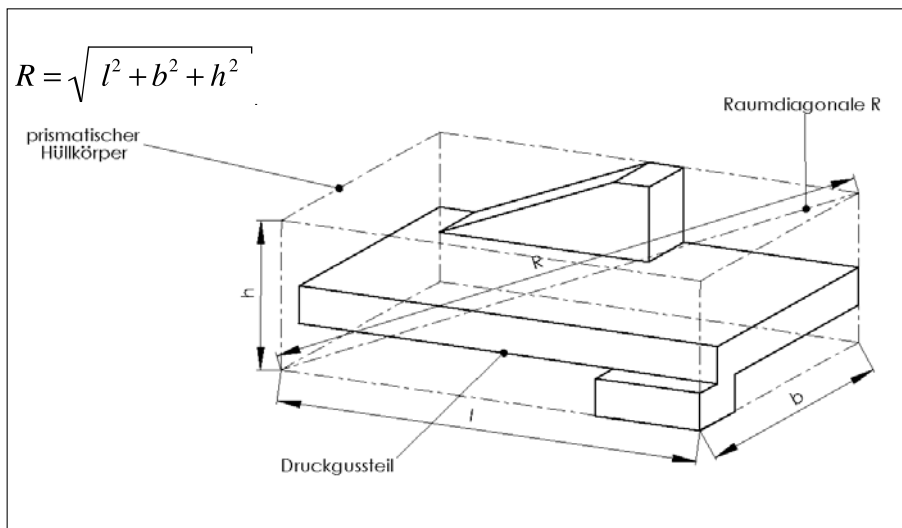


Bild 20: Erläuterung der Raumdiagonale „prismatischer Hüllkörper“

Verfahren		Toleranzgrad DCTG
Sandguss, handgeformt		10 bis 13
Sandguss, maschinengeformt, Maskenformverfahren		8 bis 10
Kokillenguss (außer Druckguss)		7 bis 9
Druckguss		6 bis 8
Feinguss	≤ 100 mm	4 bis 6
	> 100 ≤ 400 mm	4 bis 8
	> 400 mm	4 bis 9

Tabelle 18a: Typische Maßtoleranzgrade für die Großserienfertigung von Rohgussstücken aus Kupferlegierungen

Verfahren	Formstoff	Toleranzgrad DCTG
Sandguss, handgeformt	tongebunden	13 bis 15
	chemisch gebunden	10 bis 13

Tabelle 18b: Typische Maßtoleranzgrade für Kleinserien- oder Einzelfertigung von Rohgussstücken aus Kupferlegierungen

Nennmaß des Formteils [mm]	Längenmaßtoleranzen DCT in mm (Auszug)												
	Toleranzgrad DCTG												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
-	≤ 10	0,26	0,36	0,52	0,74	1	1,5	2	2,8	4,2	-	-	-
> 10	≤ 16	0,28	0,38	0,54	0,78	1,1	1,6	2,2	3	4,4	-	-	-
> 16	≤ 25	0,3	0,42	0,58	0,82	1,2	1,7	2,4	3,2	4,6	6	8	10
> 25	≤ 40	0,32	0,46	0,64	0,9	1,3	1,8	2,6	3,6	5	7	9	11
> 40	≤ 63	0,36	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	6,6	8	10	12
> 63	≤ 100	0,4	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6	9	11	14
> 100	≤ 160	0,44	0,62	0,88	1,2	1,8	2,5	3,6	5	7	10	12	16
> 160	≤ 250	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	14	18
> 250	≤ 400	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6,2	9	12	16	20
> 400	≤ 630	0,64	0,9	1,2	1,8	2,6	3,6	5	7	10	14	18	22
> 630	≤ 1000	-	1	1,4	2	2,8	4	6	8	11	16	20	25
> 1000	≤ 1600	-	-	1,6	2,2	3,2	4,6	7	9	13	18	23	29
> 1600	≤ 2500	-	-	-	2,6	3,8	5,4	8	10	15	21	26	33
> 2500	≤ 4000	-	-	-	-	4,4	6,2	9	12	17	24	30	38
> 4000	≤ 6300	-	-	-	-	-	7	10	14	20	28	35	44
> 6300	≤ 10000	-	-	-	-	-	-	11	16	23	32	40	50

Tabelle 18c: Längenmaßtoleranzen des Gussstückes (DCT)

Tabelle 19a:
Toleranzmaße für
Kupfer-Strangguss:
Rundstangen und
Büchsen aus Kupfer-Zinn, Kupfer-Zinn-Zink, Kupfer-Zinn-Blei
(nur zur Information)

Durchmesser (Nennmaß)		Toleranzen		Ø Aufmaß / Fertigteil Fertigteillänge < 250 mm ¹⁾	Geradheit	Mittenversatz
von	bis	Außen	Innen			
in mm	in mm	in mm / plus	in mm / minus	in mm	in mm/m	in mm
11	39	0,2 - 0,6	0,6	1,0 - 2,0	0,25	0,25
40	49	0,3 - 0,6	0,6	1,0 - 2,0	0,25	
50	70	0,4 - 1,0	0,6 - 1,0	1,0 - 3,0	1	
71	99	0,6 - 1,5	0,6 - 1,5	1,0 - 3,5	1	
100	150	0,6 - 2,0	0,6 - 2,0	1,0 - 3,5	1	
151	172	0,6 - 3,0	0,6 - 3,0	2,0 - 3,5	1	0,50
173	200	1,0 - 3,0	1,0 - 3,0	2,0 - 3,5	5	
201	238	1,0 - 3,0	1,0 - 3,0	2,0 - 3,5	5	
239	252	1,0 - 3,0	1,0 - 3,0	2,0 - 3,5	5	
253	300	1,5 - 3,0	1,5 - 3,0	2,0 - 3,5	5	
301	436	1,5 - 3,0	1,5 - 3,0	4,0 - 5,5	5	1,25

¹⁾ Sonderfertigteillängen auf Anfrage möglich.

Tabelle 19b:
Toleranzmaße für
Kupfer-Strangguss:
Rundstangen und
Büchsen aus Kupfer-Zinn-Legierungen
(+ Mn, Fe, Al) (nur zur Information)

Durchmesser (Nennmaß)		Toleranzen		Ø Aufmaß / Fertigteil Fertigteillänge < 250 mm ¹⁾	Geradheit	Mittenversatz	Wanddicke
von	bis	Außen	Innen				
in mm	in mm	in mm / plus	in mm / minus	in mm	in mm/m	in mm	in mm
50	70	0,6 - 1,0	0,6 - 1,0	3,0 - 4,0	1,5	0,30	> 10
71	86	0,6 - 1,5	0,6 - 1,5	3,0 - 4,0	1,5		
87	100	1,0 - 1,5	0,6 - 1,5	3,0 - 4,0	1,5		
101	120	1,0 - 1,5	0,6 - 1,5	3,0 - 5,0	1,5	0,50	mindestens 10% vom Außendurchmesser
121	172	1,0 - 2,0	0,6 - 2,0	4,0 - 5,0	1,5	0,50	
173	200	1,5 - 3,0	1,0 - 3,0	8,0 - 10,0	5	0,60	
201	238	1,5 - 3,0	1,0 - 3,0	8,0 - 10,0	5	0,60	
239	252	1,5 - 3,0	1,0 - 3,0	8,0 - 10,0	5	0,85	
253	300	2,0 - 3,0	1,5 - 3,0	8,0 - 10,0	5	1,00	
301	436	2,0 - 3,0	1,5 - 3,0	8,0 - 10,0	5	1,50	

¹⁾ Sonderfertigteillängen auf Anfrage möglich.

Tabelle 19c:
Toleranzmaße für
Kupfer-Strangguss:
Rundstangen und
Büchsen aus Kupfer-Aluminium-Legierungen
(nur zur Information)

Durchmesser (Nennmaß)		Toleranzen		Ø Aufmaß / Fertigteil Fertigteillänge < 250 mm ¹⁾	Geradheit	Mittenversatz	Wanddicke
von	bis	Außen	Innen				
in mm	in mm	in mm / plus	in mm / minus	in mm	in mm/m	in mm	in mm
50	70	0,6 - 1,0	0,6 - 1,0	1,5 - 5,0	1,5	0,30	> 10
71	86	0,6 - 1,5	0,6 - 1,0	1,5 - 7,0	1,5		
87	100	1,0 - 1,5	0,6 - 1,0	2,0 - 7,0	1,5		
101	120	1,0 - 1,5	0,6 - 1,0	2,0 - 8,0	1,5	0,50	mindestens 10% vom Außendurchmesser
121	172	1,5 - 2,0	1,0 - 2,0	2,5 - 8,0	1,5	0,60	
173	200	1,5 - 3,0	1,0 - 2,0	2,5 - 8,0	5	0,60	
201	238	1,5 - 3,0	1,0 - 3,0	2,5 - 8,0	5	0,60	
239	252	2,0 - 3,0	1,5 - 3,0	3,0 - 8,0	5	0,85	
253	300	2,0 - 3,0	1,5 - 3,0	3,5 - 8,0	5	1,00	
301	350	2,0 - 3,0	1,5 - 3,0	4,5 - 8,0	5	1,50	
301	436	2,0 - 3,0	1,5 - 3,0	6,0 - 8,0	5	1,50	

¹⁾ Sonderfertigteillängen auf Anfrage möglich.

4.12.3 Form- und Lagetoleranzen

Mit Form- und Lagetoleranzen können Zeichnungen oft sowohl funktions- als auch fertigungsgerecht erstellt werden. Für Form- und Lagetoleranzen muss zunächst ein Bezugssystem definiert werden. Idealerweise liegt dies in einer Formhälfte. Der Gießer sollte seine Form nach diesem Bezugssystem auslegen. Die Form- und Lagetoleranzen sind mit dem Gießer abzustimmen.

4.12.4 Tolerierung Strangguss

Toleranzen für den Strangguss werden in Tabelle 19 ausgeführt. Die angegebenen Werte sind informativ und als Richtwerte anzusehen.

Im Strangguss gelten legierungsabhängige Toleranzen für Geradheit (Bild 2 1a), Verwindung (Bild 2 1b) sowie Mittenversatz für Rundhohlstangen.

SW 6- u. 8-Kant Ø außen		Toleranzen		Geradheit	Mittenversatz
von	bis ¹⁾	Außen	Innen		
in mm	in mm	in mm / plus	in mm / minus	in mm/m	in mm
17	28	0,2	0,6	1	0,25
29	32	0,3	0,6	1	0,25
33	55	0,4	0,6	1	0,25
56	80	0,4	0,6	1,5	0,25
81	152	0,6	0,6	1,5	0,25

4-Kant Profile liegen in ihren Toleranzen, Aufmaß und Geradheit ähnlich wie 6- und 8-Kant Profile. Eine Fertigung ist von 6 x 20 mm bis 250 x 304 mm möglich, einschließlich Hohlstangen.

¹⁾ Größere Schlüsselweiten auf Anfrage möglich

Tabelle 19d: Toleranzmaße für Kupfer-Strangguss: Profile (Vollmaterial) und Hohlprofile aus Kupfer-Zinn-, Kupfer-Zinn-Zink- und Kupfer-Zinn-Blei-Legierungen (nur zur Information),



WERKBILD HUNDT & WEBER GMBH

Pumpengehäuse

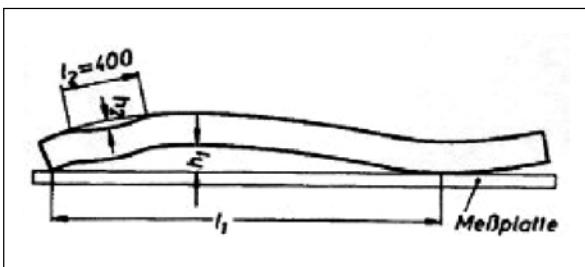


Bild 2 1a: Definition der Geradheit

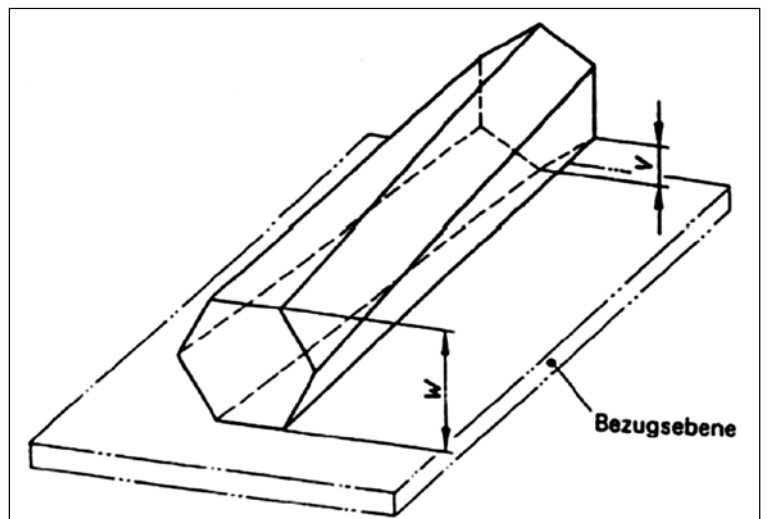


Bild 2 1b: Definition der Verwindung für Hohlprofile und Stangen (nach DIN EN 12163)



Schiffspropeller



5 Prozesssimulation zur Bauteil- und Werkzeugauslegung

Die gießtechnische Simulation ist heute eine akzeptierte und zuverlässige Technik, mit der der gesamte Entwicklungsprozess eines Bauteils bis hin zur Gießwerkzeug- und Prozessauslegung begleitet wird.

Die zunehmende Integration der gießtechnischen Simulation in die virtuelle Entwicklung, verknüpft mit anderen CAE-Techniken, wie der FE-Analyse, hilft bei der Umsetzung von Forderungen nach immer komplexer werdenden Bauteilen. Seit vielen Jahren wird damit die Bauteilentwicklung bei der Erstellung gießgerechter Konstruktionen unterstützt und die Auslegung der Gießprozesse vorhersagbar und sicherer gemacht. Für den Bauteilentwickler treten die neuen Möglichkeiten zur Simulation von lokalen Bauteileigenschaften immer stärker in den Vordergrund, um die noch vorhandenen Werkstoffpotenziale in der Konstruktion auszuschöpfen.

5.1 Zielsetzungen der gießtechnischen Simulation

- > Unterstützung bei der gießgerechten Entwicklung von Bauteilen
- > Bereitstellen von lokalen Bauteileigenschaften zur optimalen Ausnutzung des Werkstoffpotenzials und Verbesserung von Aussagen zur Lebensdauervorhersage
- > Auslegung der Gießwerkzeuge
- > die Erkennung und Vermeidung von Gussfehlern vor ihrem Auftreten in der Gussstückproduktion und /oder
- > die Planung der Optimierung der Gussproduktion

5.2 Mathematische und physikalische Modelle

Bei der gießtechnischen Simulation wird mit Hilfe von numerischen Methoden der gesamte Gießprozess möglichst realitätsnah abgebildet, d. h. modelliert.

Die numerische Simulation nutzt für die Berechnung der einzelnen Prozessschritte verschiedene mathematische Modelle. Folgende Modelle haben sich etabliert:

Formfüllung bzw. Gießvorgang

Die Modellierung der Formfüllung bzw. des Gießvorgangs erfolgt unter Verwendung der dreidimensionalen Navier-Stokes'schen Differentialgleichungen, die mit der Fourier'schen Wärmeleitungsgleichung gekoppelt gelöst werden müssen.

Erstarrung:

Zum Modellieren der Erstarrung wird die Fourier'sche Wärmeleitungsgleichung verwendet, unter Berücksichtigung der Wärmeübergänge zwischen Gussstück und Form bzw. Formstoff, Gussstück und Kühlleisen, Form und Kühlkanälen sowie Form und Umgebung.

Gusseigenspannungen und Verzug:

Die dreidimensionale Modellierung der Entstehung von Eigenspannungen und Verzug erfolgt unter Berücksichtigung des realen, nicht linearen Werkstoffverhaltens. Bei dünnwandigen, flächigen Bauteilen muss das Gleiten des Bauteils entlang der Werkzeugoberfläche während des Abkühlens in der Gießform im Rechenmodell berücksichtigt werden. Dies wird durch Integration eines Kontaktalgorithmus in die Berechnung realisiert.

Lokale Gefüge:

Mit Mikromodellen kann die Bildung von Gefügen berechnet werden. Die Berechnung der Gefüge erfolgt auf der Grundlage der Legierungszusammensetzung aus den Gleichgewichtsphasen, der Kinetik, mit der einzelne Phasen bei einer Temperatur wachsen kön-

nen und dem Steigerungsverhalten von einzelnen Legierungselementen, die zu einer Verschiebung einzelner Phasenanteile oder sogar zu neuen Phasen führen können. Die Berechnung erfolgt für jeden Zeitschnitt und in jedem Volumenelement.

Porositäten:

Die Mechanismen für die Bildung von Porositäten sind Speisungsdefizite des schwindenden Werkstoffes während der Erstarrung und die Ausscheidung von Gaspartikeln. Porositätsmodelle in den gießtechnischen Simulationsprogrammen berücksichtigen diese Bildungsmechanismen.

Lokale Bauteileigenschaften:

Aus der Berechnung der Gefügeausbildung im Bauteil können mit dem gießtechnischen Simulationsprogramm quantitative Aussagen zu lokalen Bauteileigenschaften abgeleitet werden.

5.3 Aufbau der Programme

Die gießtechnischen Simulationsprogramme sind wie alle Programme zur numerischen Simulation in drei Hauptbereiche gegliedert.

- > *Preprocessing*: Modellierung von Gussstück und Gießsystem. Schnittstellen zu CAD und FE-Programmen
- > *Mainprocessing*: Eingabe der Prozess- und Berechnungsparameter und Durchführung der Berechnung mit dem Lösungsprogramm, dem Solver
- > *Postprocessing*: Auswertung der Simulationsergebnisse, FE-Schnittstellen

Datenbank:

Bestandteil der gießtechnischen Simulationsprogramme ist eine umfangreiche Datenbank mit den thermophysikalischen und thermomechanischen Materialdaten für die bei der Berechnung relevanten Werkstoffe wie Gusslegierungen, Formstoffe usw.



Zahnstange, verwendet
in der Medizintechnik

Verfahrens-spezifische Module:

In den heute verfügbaren Softwarepaketen zur gießtechnischen Simulation sind verfahrens-spezifische Module enthalten, mit denen man in die Lage versetzt wird, die unterschiedlichen Gießverfahren mit ihren spezifischen Prozessabläufen und Parametern genau abzubilden.

Damit ist die Bauteilentwicklung in einem sehr frühen Stadium des Projekts in der Lage, mit gießtechnischer Simulation das geeignete Gießverfahren auszuwählen.

5.4 Ablaufbeschreibung der Simulationsrechnung

Basis für die Simulation ist die 3D-Geometrie des Rohgussstücks oder die Geometrie des fertig bearbeiteten Teiles, welche dann um die Bearbeitungszugaben ergänzt werden muss.

Falls keine 3D-Geometrie vorhanden ist, muss diese aus den Zeichnungen des Bauteils erstellt werden.

Geometrien des Angussystems, der Speiser und der Temperierung des Werkzeugs werden abhängig von dem Projektfortschritt ebenfalls in das Simulationsmodell aufgenommen.

Der Detaillierungsgrad des Gesamtmodells hängt von der Verfügbarkeit der Daten und des Zeitpunkts, zu dem die erste Simulation durchgeführt werden soll, ab (siehe organisatorische Integration).

Die 3D-Daten werden über eine Schnittstelle in den Preprocessor des Simulationsprogramms übernommen. Im Preprocessor des Programms wird das gesamte Modell, bestehend aus Rohgussstück, Angussystem, Speiser und falls vorhanden die Werkzeugsegmente mit Temperierkanälen zusammengestellt. Für die nachfolgende Berechnung muss das gesamte Modell vernetzt werden.

Das im jeweiligen Programm angewandte numerische Lösungsverfahren bestimmt die Art der Vernetzung. Bei der Finite Volumen Methode können die Netze vollständig automatisch erzeugt werden, bei der Finite Elemente Methode werden die Netze automatisch generiert, die in der Regel von Hand nachgearbeitet werden.

Der zeitliche Prozessablauf und die Prozessparameter für den zu berechnenden Gießprozess müssen festgelegt werden und in das Programm als Randbedingungen für die Berechnung eingegeben werden. Die geschieht interaktiv in den entsprechenden Eingabefenstern.

Sind die Eingaben abgeschlossen wird die Berechnung gestartet. Es kann nun der Prozessablauf mit seinen einzelnen Teilen wie der Formfüllung, der Erstarrung, der Berechnung von Eigenspannungen und lokalen Eigenschaften berechnet werden. Die Rechenzeit für solche Berechnungen hängt von mehreren Faktoren ab und kann mit leistungsfähigen PC's von einer Stunde bis zu einigen Tagen reichen. Mit dem Einsatz der Clustertechnik können diese Zeiten auch auf Minuten und Stunden reduziert werden.

Nach erfolgter Berechnung wird die Ergebnisauswertung mit dem Postprocessor durchgeführt.

Hier werden die Ergebnisse der einzelnen Prozessschritte in entsprechenden Ansichten und Schnitten durch Bilder und Filme in 3D visualisiert. Kritische Bereiche im Bauteil werden mit Kriteriumsfunktionen abgebildet.

Die Berechnung liefert Ergebnisse zur:

- > *Formfüllung:* Darstellung der Temperaturen, Strömungsgeschwindigkeiten und Drücke
Kriteriumsergebnisse: Füllzeit, Formerosion usw.

- > *Erstarrung:* Darstellung der Temperaturen, Wärmezentren, Wärmehaushalt von Kokillen und Kernen usw.
Kriteriumsergebnisse: Erstarrungszeiten, Abkühlraten, Porositäten, Nachspeisung, Niyama-Kriterium, Fraction Solid, thermischer Modul usw.
- > *Eigenspannungen:* Darstellung der Spannungsverteilung bei Raumtemperatur (mit allen Spannungskomponenten), Darstellung der Ursachen der Spannungen, Wärmespannungen in Dauerformen (Kokillen)
- > *Verzug:* Darstellung des Gesamtverzuges durch eine verformte Darstellung des Bauteils sowie der ausgewerteten Verschiebungen.
- > *Gefüge:* Gefügeverteilungen, wie Dendritenarmabstand und stöchiometrische Phasen werden ermittelt.
- > *Porositäten:* Die Ergebnisse der Berechnung geben Aufschluss über die lokale Verteilung und Größe der Poren im Gussstück.
- > *Lokale Bauteileigenschaften:* quantitative Aussagen zur lokalen Bauteileigenschaften, wie Zugfestigkeit, 0,2%-Dehngrenze, Dehnung.

Ausgehend von diesen Ergebnissen über die Bauteilqualität und die Prozessabläufe werden Maßnahmen abgeleitet, die dann in weiteren Iterationsschleifen erneut berechnet und auf ihre Wirksamkeit hin überprüft werden.

5.5 Simulation in der Lebensdauervorhersage

Die Ergebnisse der Gefügeberechnung, der Berechnung der Gusseigenspannungen und der lokalen Bauteileigenschaften können über Schnittstellen auf FE-Modelle der Lebensdauerberechnung übertragen werden und verbessern so die Aussagefähigkeit dieser Berechnungen wesentlich.

5.6 Technische und organisatorische Integration

Dem frühzeitigen Einbinden der gießtechnischen Simulation in die Bauteilentwicklungskette kommt eine große Bedeutung zu. Nur so kann das gesamte Potenzial der Möglichkeiten in die Entwicklung der Bauteile und in die Prozessplanung einfließen, damit Maßnahmen aus den Ergebnissen eingeleitet und umgesetzt werden.

Die technische Integration erfolgt über Schnittstellen, mit deren Hilfe die Informationen aus der gießtechnischen Simulation auf andere CAE-Programme zur weiteren Verwendung transferiert werden können. Die Schaffung von organisatorischen Strukturen zur Integration der gießtechnischen Simulation ist ein weiterer wichtiger Aspekt.

Es sind Fragestellungen, sowohl für den internen Ablauf von Simulationsprojekten in den Gießereien und bei den Gussstückendabnehmern, als auch in der Kooperation derselben miteinander zu klären.

Die organisatorische Einbindung der gießtechnischen Simulation in die QS-Systeme wird heute von Unternehmen erfolgreich praktiziert.

Hierzu empfiehlt es sich, nachfolgende Fragestellungen zu klären und verbindlich festzulegen:

- > In welchen Fällen wird simuliert?
- > Welche Ressourcen werden in welchem Umfang eingesetzt?
- > Integration der gießtechnischen Simulation: Wann wird mit der Simulation begonnen?

Empfohlen wird diese schon mit dem ersten 3D-Bauteildesign durchzuführen, um in diesem sehr frühen Stadium der Bauteilentwicklung erste Erkenntnisse über das gießtechnische Verhalten des Bauteils zu erhalten und mögliche Problembereiche konstruktiv zu verändern. Zu diesem Zeitpunkt kann eine solche sehr schnell durchzuführende Erstarrungssimulation für die Absicherung des späteren Fertigungsprozesses sehr hilfreich sein.

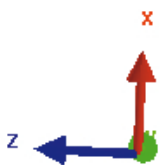
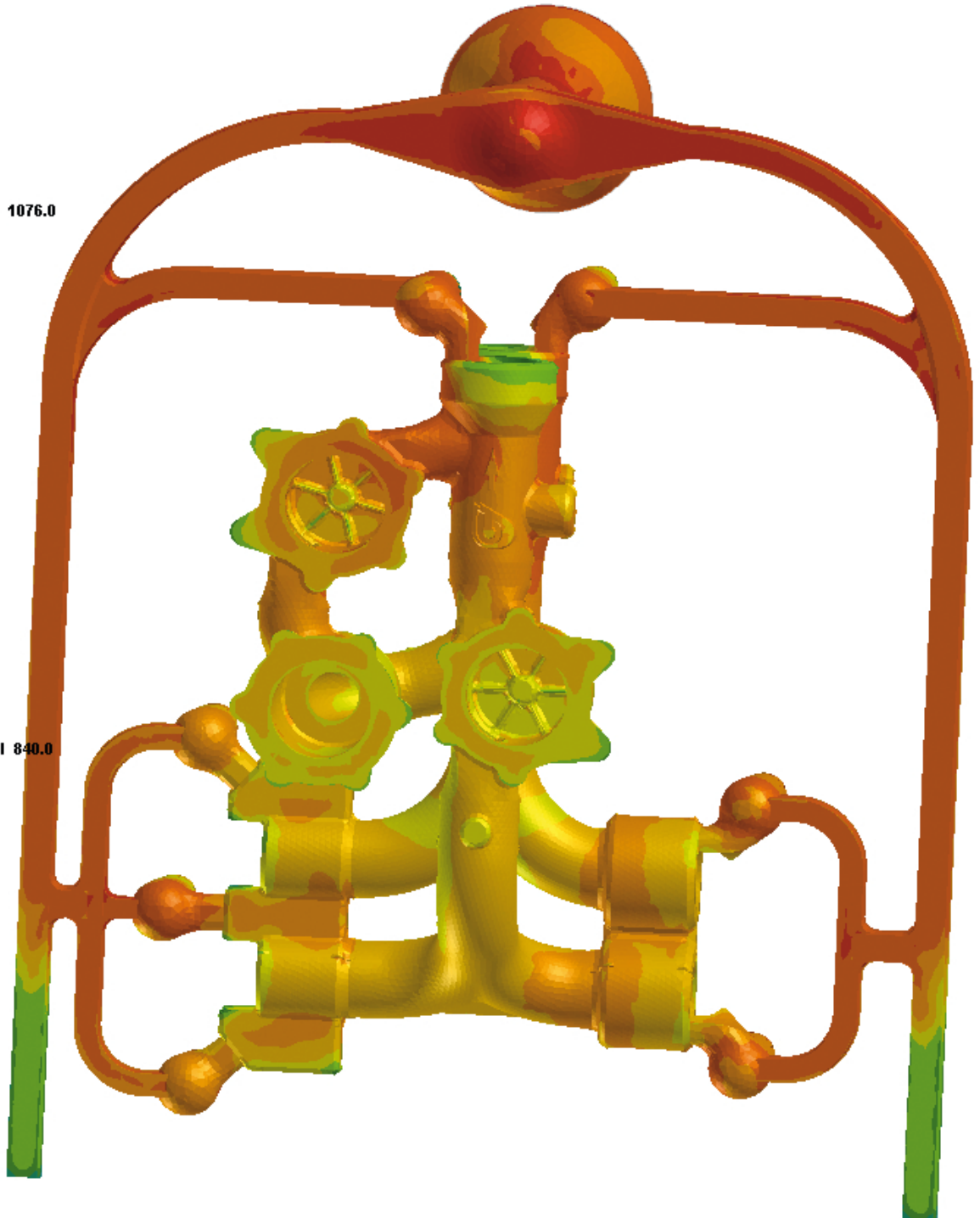
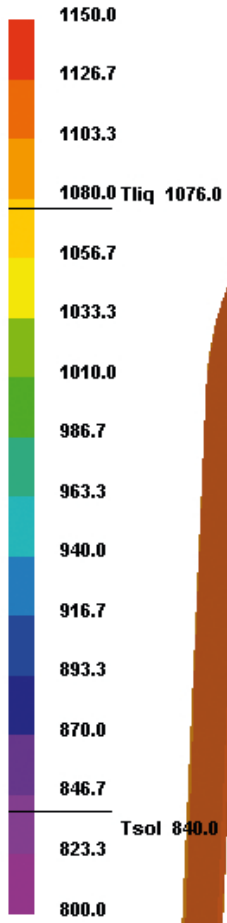
- > Wann und von wem werden die Ergebnisse ausgewertet?
- > Wem werden die Ergebnisse zur weiteren Verwendung zur Verfügung gestellt?
- > Welche Maßnahmen werden auf Grund der Simulation zur Durchführung freigegeben?
- > Wer gibt Maßnahmen frei und wer ist für deren Umsetzung zuständig?
- > Wie wird dokumentiert und berichtet?

Diese Punkte sollen dafür sensibilisieren, dass mit den technischen Möglichkeiten der Simulation eine große Menge an zusätzlichen Informationen geschaffen wird. Diese können nur dann erfolgreich genutzt werden, wenn auch eine Integration dieser Technologie in die Organisationsstrukturen der Unternehmen erfolgt.

Temperature [C]

v01

Step / Time Step : 630 / 8.447e-003
Total Time : 4.1191 sec



Simulation Formfüllung und Erstarrung

6 Spanabhebende Bearbeitung

Die Zerspanungseigenschaften der Kupfergusslegierungen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Bearbeitungs- und damit der Herstellkosten. Nachfolgende Zerspanungsgruppen werden definiert:

- I sehr gut zerspanbare Kupferwerkstoffe
Cu-Legierungen mit > 2% Blei
(CuSn-, CuSnPb-, CuSnZn- und CuZn-Gusslegierungen): bilden kurze bröckelnde Späne, sehr hohe Werkzeugstandzeiten
- II gut bis mäßig zerspanbare Kupferwerkstoffe
CuSn-, CuSnZn-, CuZn-Legierungen ohne Blei (höhere Festigkeit als Werkstoffe in Zerspanungsklasse I)
- III mäßig bis schwer zerspanbare Kupferwerkstoffe
 - > hochfeste CuAl-, CuNi- und CuZn-Gusslegierungen: bilden kurz brechende Späne, aber wegen der großen Härte hoher Werkzeugverschleiß
 - > rein-Cu, CuCr: bilden extrem lange Wendelspane
 - > CuZn15As-C bildet extrem lange Wendelspane

Weitere Detailangaben zur Zerspanung enthält der Informationsdruck des Deutschen Kupferinstitutes: „i.18 – Richtwerte für die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen“.

Tabelle 20:
Einteilung der Kupfer-
Gusslegierungen nach
Zerspanungsklassen

Werkstoff	Gießverfahren	Zerspanbarkeitsgruppe *	Zerspanbarkeitsindex **
Kupfer und Kupfer-Chrom-Legierung			
Cu-C	GS, GM	III	20
CuCr1-C	GS, GM	III	25
Kupfer-Zink-Legierungen			
CuZn33Pb2-C	GS, GZ	I	80
CuZn33Pb2Si-C	GP	I	85
CuZn33Pb2Al-C	GM, GP	I	90
CuZn37Pb2Ni1AlFe-C	GM	I	90
CuZn39Pb1Al-C	GS, GM, GP, GZ	I	80
CuZn15As-C	GS	III	30
CuZn16Si4-C	GS, GM, GP	I	70
CuZn25Al5Mn4Fe3-C	GS, GM, GZ, GC	III	30
CuZn32Al2Mn2Fe1-C	GS, GP	II	40
CuZn34Mn3Al2Fe1-C	GS, GM, GZ	II	40
CuZn35Mn2Al1Fe1-C	GS, GM, GZ, GC	II	50
CuZn37Al1-C	GM	II	40
CuZn38Al-C	GM	II	40
Kupfer-Zinn-Legierungen			
CuSn10-C	GS, GM, GC, GZ	III	30
CuSn11P-C	GS, GM, GC, GZ	III	25
CuSn11Pb2-C	GS, GM, GC	I	70
CuSn12-C	GS, GM, GC, GZ	II	50
CuSn12Ni2-C	GS, GM, GC, GZ	II	40
Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen			
CuSn3Zn8Pb5-C	GS, GM, GC, GZ	I	90
CuSn5Zn5Pb2-C	GS, GM, GC, GZ	I	90
CuSn5Zn5Pb5-C	GS, GM, GC, GZ	I	90
CuSn7Zn2Pb3-C	GS, GM, GC, GZ	I	80
CuSn7Zn4Pb7-C	GS, GM, GC, GZ	I	90
Kupfer-Zinn-Blei-Legierungen			
CuSn5Pb9-C	GS, GM, GC, GZ	I	90
CuSn10Pb10-C	GS, GM, GC, GZ	I	90
CuSn7Pb15-C	GS, GM, GC	I	90
CuSn5Pb20-C	GS, GM, GC, GZ	I	90
Kupfer-Aluminium-Legierungen			
CuAl9-C	GM, GZ	III	25
CuAl10Fe2-C	GS, GM, GZ, GC	III	20
CuAl10Ni3Fe2-C	GS, GM, GZ, GC	II	50
CuAl10Fe5Ni5-C	GS, GM, GZ, GC	II	50
CuAl11Fe6Ni6-C	GS, GM, GZ, GC	II	40
Kupfer-Nickel-Legierungen			
CuNi10Fe1Mn1-C	GS, GZ, GC	III	20
CuNi30Fe1Mn1-C	GS, GZ	III	20
CuNi30Cr2FeMnSi-C	GS	III	20
CuNi30Fe1NbSi-C	GS	III	20

* Zerspanbarkeitsgruppen

Hauptgruppe I:
Hauptgruppe II:
Hauptgruppe III:

sehr gut zerspanbare Kupferwerkstoffe
gut bis mäßig zerspanbare Kupferwerkstoffe
mäßig bis schwer zerspanbare Kupferwerkstoffe

** Referenzwerkstoff CuZn39Pb3 = 100

7 Oberflächenbehandlung

Tabelle 21: Übersicht Oberflächenbeschichtungsverfahren für Kupfergusswerkstoffe

Nach dem Abguss erfolgt zur Verbesserung der Oberfläche eine Reihe von Nachbehandlungsverfahren. Diese Verfahren werden angewendet, um das Gussstück von Graten und gießtechnisch bedingten Fremdstoffen zu befreien (Gussputzen).

Für Gussstücke, die dekorativen Anforderungen genügen müssen, z. B. Armaturen (Badezimmer-Armaturen), sind folgende Punkte besonders zu beachten:

Die Grundregeln der Oberflächenbehandlung sind bereits bei der Gussstück- und Formkonstruktion zu beachten.

Die Güte der Oberflächenbeschichtung hängt dann in starkem Maße von der sorgfältig aufeinander abgestimmten Abfolge der Vor- und Endbehandlungsschritte sowie deren sicheren technischen Beherrschung ab. Es kann erforderlich sein, dass mehrere Vorbehandlungsschritte durchgeführt werden müssen, bevor die Endschicht aufgebracht werden kann.

Tabelle 21 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Behandlungsverfahren. Die mechanische und chemische Behandlung werden in der Regel als Vorbehandlungsschritte durchgeführt. Tabelle 22 gibt eine qualitative Bewertung der Kupfer-Gusswerkstoffe hinsichtlich einer Anwendbarkeit für verschiedene Oberflächenbehandlungsverfahren.

Neben den genannten Verfahren existiert eine Vielzahl weiterer Oberflächenbehandlungs- und -beschichtungstechnologien. Auf eine weiterführende Auflistung und Erläuterung wurde aber verzichtet, um die Übersichtlichkeit der Darstellung zu erhalten.

Details zu den Beschichtungsverfahren bietet der DKI-Informationsdruck „i.023 Mechanische, chemische und elektrische Oberflächenbehandlung von Kupfer und Kupferlegierungen“.

Oberflächenbehandlungsverfahren			
Mechanische Verfahren	Chemische Verfahren	Galvanische Verfahren	Organische Schichten
Strahlen	Entfetten	Verkupfern	Lackieren
Schleifen	Beizen	Vernickeln	u.a.
Polieren	Ätzen	Verchromen	Pulverlackbeschichtung
	Chemisch Oxidieren	Vergolden	Kunststoffüberzüge
	Chromatieren	Verzinnen	
	Phosphatieren		

Vorbehandlung
Endbehandlung
Vor- oder Endbehandlung

Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Behandlungsverfahren			
		mechanisches Polieren	elektrochemisches Polieren	Galvanisierbarkeit	Eignung für Tauchverzinnung
Kupfer-Zinn-Legierungen					
CuSn10-C	CC480K	gut	gut	gut	gut
CuSn11Pb2-C	CC482K	gut	gut	gut	gut
CuSn12-C	CC483K	gut	gut	gut	gut
CuSn12Ni2-C	CC484K	gut	gut	gut	gut
Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen					
CuSn3Zn8Pb5-C	CC490K	gut	gut	gut	gut
CuSn5Zn5Pb5-C	CC491K	gut	gut	gut	gut
CuSn7Zn2Pb3-C	CC492K	gut	gut	gut	gut
CuSn7Zn4Pb7-C	CC493K	gut	gut	gut	gut
Kupfer-Zink-Legierungen					
CuZn33Pb2-C	CC750S	sehr gut	mittel	gut	sehr gut
CuZn39Pb1Al-C	CC754S	sehr gut	mittel	gut	sehr gut
CuZn15As-C	CC760S	sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut
CuZn16Si4-C	CC761S	sehr gut	gut	gut	sehr gut
CuZn25Al5Mn4Fe3-C	CC762S	sehr gut	schlecht	mittel	schlecht
CuZn34Mn3Al2Fe1-C	CC764S	sehr gut	schlecht	mittel	schlecht
CuZn35Mn2Al1Fe1-C	CC765S	sehr gut	schlecht	mittel	schlecht
CuZn37Al1-C	CC766S	sehr gut	schlecht	mittel	schlecht
Kupfer-Aluminium-Legierungen					
CuAl10Fe2-C	CC331G	gut	mittel	-	-
CuAl10Ni3Fe2-C	CC332G	gut	mittel	-	-
CuAl10Fe5Ni5-C	CC333G	gut	mittel	-	-

Tabelle 22: Eignung der Kupfer-Gusswerkstoffe für unterschiedliche Oberflächenbehandlungsverfahren.

8 Verbindungstechnik

Bei den Verbindungsverfahren wird gemäß **Tabelle 23** in lösbare und unlösbare Verbindungen unterteilt.

Kupferlegierungen sind löt- wie auch schweißbar und klebgeeignet. Bei der Eignung der Kupferlegierungen zum Löten und Schweißen bestehen deutliche Unterschiede, **Tabelle 24**. Klebverfahren setzen sich in einigen Anwendungsfällen durch. Sie eignen sich für alle aufgeführten Werkstoffe.

Nachfolgend werden Hinweise zum Löten, Schweißen und Pressen für die verschiedenen Werkstoffgruppen gegeben. Details sind verschiedenen DKI-Informationsdrucken zu entnehmen.

8.1 Löten

Die Lötverfahren werden eingeteilt in das Weichlöten (Prozesstemperatur < 450 °C) und das Hartlöten (Prozesstemperatur > 450 °C). Die Prozesstemperaturen liegen meist im Bereich der Schmelzintervalle der Lote.

Die Weichlote sind nach DIN EN ISO 9453 und DIN 1707-100 genormt.

Die Flussmittel beim Weichlöten nach DIN EN ISO 9454 wirken korrosiv und müssen nach dem Lötvorgang sorgfältig entfernt werden.

Hartlote sind nach DIN EN 1044 genormt. Sie werden unterteilt in:

- Kupfer-Zink-Lote (Messinglote) und
 - Kupfer-Silber-Lote (Silberlote).
- > Rein-Kupfer (Cu-C) lässt sich ausgezeichnet

löten. Die Hartlötbarkeit ist nur dann gewährleistet, wenn eine Wasserstoffaufnahme beim Lötvorgang durch Schutzgas verhindert wird. Beim Hartlöten von CuCr1-C kann ein Verlust an Festigkeit in Abhängigkeit von Arbeitstemperatur und Dauer der Wärmeeinwirkung erfolgen.

- > Die Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Blei-Gusslegierungen verhalten sich beim Löten ähnlich wie Kupfer. Zu beachten ist, dass bei höheren Bleigehalten die Löttemperaturen so niedrig zu halten sind, dass kein Blei aus-schmilzt. Mit steigendem Aluminiumgehalt wird die Lötbarkeit verschlechtert.
- > Die Kupfer-Nickel-Gusslegierungen können beim Löten wie Kupfer behandelt werden. Da bei Bauteilen aus diesen Legierungen meist Meerwasserbeständigkeit gefordert wird, ist die Korrosionsbeständigkeit ein wichtiges Auswahlkriterium für das Lot.
- > Die CuAl-Gusswerkstoffe sind wegen des Aluminiumgehaltes nur bedingt weich- und hartlötbar.

Flussmittel für das Hartlöten von Kupferlegierungen sind nach DIN EN 1045 genormt.

8.2 Schweißen

Kupfer und Kupferlegierungen sind gut schweißbar, jedoch bestehen Unterschiede zwischen den Legierungsgruppen. Das MIG- und das WIG-Schweißverfahren werden hauptsächlich

eingesetzt. Wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit der Kupfer-Gusslegierungen müssen einige zu verschweißende Bauteile auf 500-700 °C vorgewärmt werden.

- > Bei nicht sauerstofffreiem Cu-C ist durch eine Schutzgasabdeckung die Wasserstoffaufnahme aus der Atmosphäre zu verhindern (⇒ Wasserstoffkrankheit).
- > Bei CuCr1-C kann das Schweißen nur im lösungsgeglühten Zustand durchgeführt werden. In der Regel wird dieser Werkstoff nur fertigungsgeschweißt.
- > Das Schweißen von CuZn-Gusslegierungen ist schwierig, da Zink bereits ab 906 °C verdampft. Durch Siliciumzusätze im Schweißzusatzwerkstoff wird die Zinkausdampfung eingedämmt. Punkt- und Stumpfschweißungen sind möglich.
- > CuSn- und CuSnZn-Gusslegierungen werden nach dem WIG- und MIG-Verfahren unter Verwendung der Zusatzwerkstoffe S-CuSn6P und S-CuSn12P geschweißt. Legierungen mit höheren Bleigehalten sind wegen der Ausschmelzgefahr nur bedingt schweißbar. CuSnPb-Gusslegierungen werden wegen der hohen Blei-Gehalte nicht geschweißt. Widerstandsschweißungen an CuSn- und CuSnZn-Gusslegierungen sind möglich.
- > CuNi-Gusslegierungen können durch Legierungszusätze hinsichtlich ihrer Schweiß-eignung entscheidend verbessert werden. Um die Korrosionsbeständigkeit sicherzustellen, ist S-CuNi30Mn1FeTi als Schweißzusatzwerkstoff bevorzugt einzusetzen. Widerstandsschweißungen sind wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit dieser Legierungen sehr gut möglich.
- > Die CuAl-Gusslegierungen sind relativ gut schweißbar. Zum Widerstandsschweißen eignet sich diese Legierungsgruppe ebenfalls gut.

Schweißzusatzwerkstoffe für Kupfer und seine Legierungen sind nach DIN EN ISO 24373 genormt. Daneben gibt es analysengleiche Schweißzusatzwerkstoffe für die Gusslegierungen, die insbeson-

Verbindungstechniken	
unlösbar	lösbar
Weich- und Hartlötverbindungen	Verschraubungen
Schweißverbindungen	Klemmringverbindungen
Pressverbindungen	Flanschverbindungen
Steckverbindungen	Rohrkupplungen

Tabelle 23: Übersicht Verbindungstechniken

Tabelle 24: Eignung von Kupfer-Gusswerkstoffen für das Löten und Schweißen

Werkstoffkurzzeichen	Werkstoffnummer	Fügeverfahren					
		Weichlöten	Harthlöten	Gasschweißen	Schutzgasschweißen	Lichtbogenhandschweißen	Widerstandsschweißen
Kupfer-Zinn-Legierungen							
CuSn10-C	CC480K	gut	gut	mittel	gut	mittel	-
CuSn11Pb2-C	CC482K	gut	mittel	mittel	mittel	mittel	-
CuSn12-C	CC483K	gut	gut	mittel	mittel	mittel	-
CuSn12Ni2-C	CC484K	gut	gut	mittel	mittel	mittel	-
Kupfer-Zinn-Zink-Legierungen							
CuSn3Zn8Pb5-C	CC490K	gut	mittel	schlecht	schlecht	schlecht	-
CuSn5Zn5Pb2	CC499K	gut	mittel	schlecht	schlecht	schlecht	-
CuSn5Zn5Pb5-C	CC491K	gut	mittel	schlecht	schlecht	schlecht	-
CuSn7Zn2Pb3-C	CC492K	gut	mittel	schlecht	schlecht	schlecht	-
CuSn7Zn4Pb7-C	CC493K	gut	mittel	schlecht	schlecht	schlecht	-
Kupfer-Zink-Legierungen							
CuZn33Pb2-C	CC750S	gut	gut	mittel	mittel	mittel	mittel
CuZn39Pb1Al-C	CC754S	gut	gut	mittel	mittel	mittel	mittel
CuZn15As-C	CC760S	sehr gut	sehr gut	gut	sehr gut	mittel	gut
CuZn16Si4-C	CC761S	sehr gut	sehr gut	gut	gut	mittel	gut
CuZn25Al5Mn4Fe3-C	CC762S	schlecht	schlecht	mittel	mittel	mittel	mittel
CuZn34Mn3Al2Fe1-C	CC764S	schlecht	schlecht	mittel	mittel	mittel	mittel
CuZn35Mn2Al1Fe1-C	CC765S	schlecht	schlecht	mittel	mittel	mittel	mittel
CuZn37Al1-C	CC766S	schlecht	schlecht	mittel	mittel	mittel	mittel
Kupfer-Aluminium-Legierungen							
CuAl10Fe5Ni5-C	CC333G	schlecht	schlecht	schlecht	gut	gut	gut

dere bei korrosionsbeanspruchten Schweißkonstruktionen zu verwenden sind.

DIN 8552-3 enthält Richtlinien für die Schweißnahtvorbereitung.

8.3 Kleben

Das Kleben als Fügeverfahren ist auf Kupfer und seine Legierungen anwendbar, wobei durch Zusätze zum Klebstoff entweder eine gute elektrische Leitung oder eine hohe Isolierwirkung der Klebschicht erreicht werden kann. Die zu klebenden Flächen müssen vor-

behandelt werden. Die Bindefestigkeit und Alterungsbeständigkeit der Klebnaht hängen entscheidend von der sorgfältigen Reinigung und mechanischen bzw. chemischen Vorbehandlung der zu klebenden Flächen ab.

8.4 Pressen

Das Pressen gehört zu den unlösbaren Verbindungsverfahren. Verbindungsstücke (Pressfittings) werden aus Kupfer, CuZn-Legierungen (Messing) oder CuSnZn-Legierungen (Rotguss) gefertigt. Für Trinkwasser- und Gasinstallatio-

nen müssen Pressfittings ein DVGW-Prüfzeichen besitzen.

Eine Zusammenstellung von Bestimmungen und gültigen technischen Regeln für das Verbinden von Kupferrohren in Gas- und Wasserinstallationen hat der DVGW im Arbeitsblatt GW2 herausgegeben.

9 Qualität

Die Technische Richtlinie beschreibt, wie Gussstücke konstruiert werden sollen, damit diese prozessfähig herstellbar sind. In diesem Kapitel werden die vom Kunden gestellten allgemeinen Spezifikationen zu Gefüge, Oberfläche oder Bemustern behandelt. Weiterhin wird beschrieben wie die geforderten Eigenschaften in den Gießereien geprüft werden können.

9.1 Werkstoff, Gefüge, mechanische Eigenschaften, Oberfläche

9.1.1 Chemische Zusammensetzung

Die chemische Zusammensetzung des Gusswerkstoffs, die naturgemäß das Gefüge beeinflusst, wird in der Regel mit einem Funkenspektrometer (F-OES) überprüft.

9.1.2 Gefüge

Das Gussgefüge wird neben dem Werkstoff maßgeblich von den Fertigungsbedingungen sowie der Gussstückgeometrie beeinflusst. Bei Gussstücken mit höheren mechanischen Beanspruchungen oder zur Schichtdickenbestimmung bei oberflächenveredelten Gussstücken werden metallografische Schlitze zur Beurteilung der Gefüge angefertigt.

Grundsätzlich sollen Gussstücke so konstruiert werden, dass diese im Anwendungsfall mit den verfahrenstechnisch bedingten Gefügedefekten (Gasporositäten, Volumendefiziten) den Beanspruchungen standhalten. Die *BDG-Richtlinie P 211* zur Kennzeichnung von Porosität gibt Hinweise, wie der Kunde Porenforderungen in der Zeichnung definieren kann.

Üblicherweise werden Teile im Hinblick auf Poren bei Fertigungsbeginn und während der Fertigung, je nach Anforderungen, statistisch oder bis zu 100% geprüft durch:

- > *Röntgen*: schneller qualitativer Überblick, bei dem jedoch nur mit hohem Aufwand die Porengröße und Anzahl bestimmt werden kann
- > *Computertomografie (CT-Röntgen)*: vorwiegend in der Produktentwicklung

eingesetzt, da der Aufwand für eine Serienüberwachung zu hoch ist; die Porenverteilung kann mit dieser Prüftechnik genau bestimmt werden

- > *Probefräsung, Schlitze*: Porenauswertung (mikroskopisch) am vereinbarten Schliff entweder nach Vergleichstabellen, Grenzmustern oder durch rechnerunterstützte Bildanalyse

Da die Volumendefizite in Gussstücken stochastisch schwanken, geben die Verfahren nur einen Hinweis auf die auftretenden Porositäten für die einzelnen Gussstücke. Daher sind auch Grenzmuster für die Porenbestimmung problematisch.

Die rechnerische Simulation der Formfüllung und Erstarrung für Gussstücke ist soweit entwickelt, dass bereits in der Konstruktionsphase porengefährdete Bereiche aufgezeigt werden. Durch geeignete Änderungen am Gussstück und im Anschnittsystem lassen sich Gegenmaßnahmen bereits vor der Werkzeugherstellung treffen und die Gefahr zur Porenbildung im Gussstück minimieren.

9.1.3 Mechanische Eigenschaften

Zur Bestätigung der Konformität von Gussstücklosen werden die mechanischen Eigenschaften im Zugversuch allgemein nach DIN EN ISO 6892-1 an Proportionalstäben geprüft. Der Zugversuch liefert Werte zur Zugfestigkeit, Dehngrenze und Bruchdehnung. Die DIN EN 1982 regelt für den Sand-, Kokillen- und Strangguss spezifische Vorschriften zum Gießen und zur Entnahme der erforderlichen Probestäbe. Vorgaben zur Härteprüfung nach Brinell macht die Norm DIN EN ISO 6506-1.

9.1.4 Rissprüfung (Farbeindringverfahren)

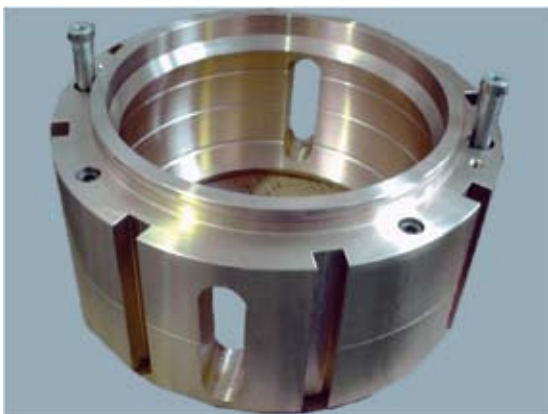
Eine Rissprüfung (auch Farbeindringprüfung) kann zur Detektion von oberflächenoffenen Fehlern bei Gussstücken aus nicht porösem Material angewandt werden. Zu diesen Fehlern zählen zum Beispiel Risse, Überlappungen, Falten und Poren.

Das Prinzip der Prüfung ist es, dass zunächst ein sogenanntes Eindringmittel über einen zu prüfenden Bereich eines zuvor gereinigten und getrockneten Gussstücks aufgebracht wird. Das Eindringmittel entspricht einer gefärbten bzw. fluoreszierenden Flüssigkeit mit niedriger Viskosität, welche aufgrund der Kapillarkwirkung auch in sehr feine Risse eindringen kann. Nach diesem Vorgang wird das Gussstück zwischengereinigt. Anschließend wird eine Schicht Entwickler – eine saugfähige Flüssigkeit, welche das Eindringmittel aus den Rissen herauszieht – aufgebracht. Die Fehlstellen können dann beispielsweise in einem abgedunkelten Raum und unter Schwarzlicht sichtbar gemacht werden. Die optische Prüfung erfolgt mit dem bloßen Auge; ggf. können auch Vergrößerungsgläser oder kontrastverstärkende Brillen benutzt werden.

Weitere Angaben zu diesem Prüfverfahren sind der DIN EN 571-1 und der DIN EN 1371-1 zu entnehmen. Von der DIN EN 1371-1 sind einige Werkstoffgruppen ausgenommen. Grund dafür ist das Erstarrungsverhalten, das zu möglicher Fehlinterpretation führt.

9.1.5 Druckdichtheitsprüfung

Die Druckdichtheitsprüfung kann bei Gussstücken angewendet werden, die Bestandteil eines Bauteiles sind, das einem Innendruck ausgesetzt ist. Es wird geprüft, ob Undichtheit auftritt. Die Druckdichtheitsprüfung kann nach Absprache hydraulisch oder pneumatisch ausgeführt werden.



Geteilte Kugelbüchse

WERKBILD DILLENBERG GMBH

a) Hydraulische Prüfung

Das Gussstück ist in geeigneter Weise dicht abzuschließen. Es wird dann über eine festgelegte Zeitspanne einem definierten Wasserdruck ausgesetzt. Zeitspanne und Wasserdruck sind zwischen Lieferant und Abnehmer zu vereinbaren. Gussstücke, die die Prüfung nicht bestehen, gelten als undicht. Bevorzugte Prüf- flüssigkeit ist Wasser. Nach Absprache sind auch andere Flüssigkeiten als Prüf- flüssigkeit zulässig.

b) Pneumatische Prüfungen Blasenprüfung (Bubble Test):

Das Gussstück ist in geeigneter Weise dicht abzuschließen. Anschließend ist es bis in eine Tiefe von maximal 150 mm in sauberes Wasser zu tauchen und einem festgelegten pneumatischen Druck auszusetzen. Der Druck ist eine festgelegte Zeitspanne aufrechtzuerhalten. Prüfdruck und Haltezeit sind zwischen Lieferanten und Abnehmer abzustimmen. Für jedes Gussstück, bei dem sich innerhalb der Haltezeit Blasen bilden und aufsteigen gilt, dass die Prüfung nicht bestanden ist.

Druckdifferenzprüfung:

Das zu prüfende Gussstück ist in geeigneter Weise dicht abzuschließen und mit einem Referenzvolumen parallel zu schalten. Ist das Gussstück nicht zu 100% dicht, stellt sich zwischen Gussstück und Referenzvolumen eine Druckdifferenz ein. Die relative Druckänderung wird dann mit einem geeigneten Messgerät erfasst. Der einzustellende Prüfdruck und die zulässige relative Druckänderung sind zwischen Lieferanten und Abnehmern abzustimmen.

Für jedes Gussstück, bei dem der ermittelte Differenzdruckwert größer als der zugelassene Grenzwert ist, gilt die Prüfung als nicht bestanden.

Testgasprüfung (z. B. Heliumverfahren):

Das Gussstück ist in geeigneter Weise unter einer geschlossenen Haube dicht abzuschließen. Je nach Nachweismethode wird die Prü-

fung entweder im Überdruck- oder im Vakuumverfahren durchgeführt. Zum Nachweis der Undichtigkeit verwendet man ein auf das Prüf- gas (Helium) eingestelltes, massenspektrometrisches Messsystem.

Der zu verwendende Prüfdruck und die zulässige maximale Helium-Konzentration sind zwischen Lieferanten und Abnehmer abzustimmen.

Für jedes Gussstück, bei dem der so ermittelte integrale Wert größer als der vereinbarte zulässige Grenzwert ist, gilt die Prüfung als nicht bestanden.

9.1.6 Oberflächenrauheit von Gussstücken

Die Oberfläche der Gussstücke ist beim Sandgießverfahren rauer als beim Kokillengießverfahren.

Zur Prüfung der Oberflächenrauheit werden in der Regel keine Messwerte festgelegt, vielmehr ist auf Vergleichsmuster Bezug zu nehmen. Vergleichsmuster können andere oder ähnliche Teile sein, die auch den Werkzeugverschleiß bereits widerspiegeln. Es können auch Grenzmuster der gegossenen Teile sein, die jedoch mit zunehmendem Verschleiß der Modellwerkzeuge/Formen dann neu definiert werden müssen. Die betreffenden Flächen sind genau zu bestimmen.

Wertvolle Hinweise sind beschrieben im VDG-Merkblatt K 100 „Rauheit von Gussoberflächen, Hinweise und Erläuterungen“.

Orientierende Angaben zur Rauheit von Guss- oberflächen liegen im Sandguss für R_a zwischen $12,5 \mu\text{m}$ und $125 \mu\text{m}$, bei Kokillenguss zwischen $3,2 \mu\text{m}$ und $30 \mu\text{m}$ und im Feinguss zwischen $1 \mu\text{m}$ und $7 \mu\text{m}$.

Im Strangguss verarbeitete Kupfer-Aluminium-Legierungen weisen verfahrensbedingt an der Oberfläche umlaufende Schwindungsrisse auf. Durch erhöhte Bearbeitungszugaben werden diese Vertiefungen aufgefangen.

9.2 Prozessfähigkeit

Der Prozessfähigkeitsnachweis erfolgt über die vereinbarten Merkmale und Toleranzen.

Es gilt zu beachten:

- > Spezifische Merkmale müssen dem Gießer schon zum Angebotszeitpunkt bekannt sein
- > Spezifische Merkmale müssen gussgerecht toleriert sein.

Im Formguss gilt insbesondere, dass Maße über die Formteilung, Schiebermaße oder Kerne verfahrensbedingt nur mit höheren Toleranzen zu fertigen sind. Diese Maße weisen auch keinen Verlauf im Sinne der Prozessfähigkeit auf, sondern schwanken von Abguss zu Abguss. Soll eine Prozessfähigkeit über solche Maße hergestellt werden, ist eine größere Toleranzbemaßung notwendig.

9.3 Rückverfolgbarkeit

Die Kennzeichnung der Gussstücke ist aus logistischen Gründen und gesetzlichen Vorgaben sinnvoll. Die Identifikation von Gussstücken kann nach DIN EN 10204 festgelegt werden.

Die Angabe/Darstellung folgender Kennzeichnungen kann beispielsweise vereinbart werden:

- > Teilenummer, teilweise zzgl. Zeichnungsindex
- > Hersteller-Land
- > Kennzeichen (Symbol) des Bestellers oder endverbauenden Kunden
- > Kennzeichen (Symbol) des Gussstückherstellers
- > Legierungsbezeichnung
- > Nummer der Ofencharge
- > Werkzeugnummer
- > Fertigungsdatum des Gussstücks

Sicherheitsrelevante Bauteile erfordern möglicherweise weitere Kennzeichnungen.

Wohnungs-Wasser-
zählerstrecke

Der Hersteller sollte auch im Eigeninteresse eine präzise Kennzeichnung der Teile anbringen. Damit ist er in der Lage schnell und erfolgreich fehlerhafte Teile zu identifizieren. Hier wird die Bedeutung der Identifizierbarkeit von Bauteilen zur Rückverfolgung bis zum jeweiligen Fertigungsschritt deutlich. Eindeutige Identifikation und präzise Rückverfolgbarkeit bzgl. des Fertigungsdatums können helfen, wirtschaftliche Schäden zu minimieren.

9.4 Beispiele für Kennzeichnungsarten

Gegossene Schriftzüge und Gießdatumsstempel: Herkömmlich werden Beschriftungen an Gussstücken direkt durch das Gießen realisiert. Damit kann ein Großteil der oben genannten Kennzeichnungsvorgaben realisiert werden. Unterschiedliche Ausführungen können zum Anbringen des Gießdatums angewendet werden. Bewährt haben sich verschiedene Arten von in das Gießwerkzeug eingeschraubten Datumsstempeln. Diese können abhängig vom erforderlichen Detaillierungsgrad Angaben zu Jahr, Monat, Tag und Schicht beinhalten. Dazu sind dann jeweils ein bis zwei Datumsstempel vorzusehen. Voraussetzung dafür ist, dass konstruktiv im Gießwerkzeug, d. h. letztlich am Bauteil selbst ausreichend Platz für diese Schraubstempel zur Verfügung steht.

Prägen und Drucken: Deutlich unabhängiger von der Bauteilgeometrie sind Kennzeichnungen, die nach dem Gießen angebracht werden. Als moderne Verfahren zur dauerhaften Kennzeichnung werden hier das Ritzprägen, das Nadelprägen oder die Laserbeschriftung genannt. Weniger haltbar, aber genauso gut geeignet sind Farbdruckverfahren.

Etikettieren: Neben den vorstehend genannten „unverlierbaren“ Kennzeichnungen kann auch der Einsatz von Beschriftungsetiketten infrage kommen. Sinnvoll ist dies immer dann, wenn die Größe eines Bauteils, seine Geometrie oder der Wunsch des Kunden eine Kennzeichnung mit anderen Verfahren nicht

zulassen. Das Etikettieren kann manuell mit herkömmlichen Etikettiergeräten (Handauszeichner) oder automatisiert mit Labeldruckern erfolgen. Es stehen diverse Etikettengrößen und -materialien sowie unterschiedlich stark haftende Klebstoffe zur Verfügung. In der Wahl der Beschriftung ist der Anwender relativ frei; beschränkt wird diese lediglich durch die Größe des gewählten Etiketts sowie durch die gewünschte Schriftgröße.

Im Regelfall werden für kleine und mittlere Serien und für Teile ohne besonderen Anspruch (z. B. Gehäuse) Monatsdatumsstempel verwendet. Für anspruchsvolle und dokumentationspflichtige Teile hat sich in der Praxis das manuelle Etikettieren mit Handauszeichnern bewährt. Eine komplette Rückverfolgbarkeit über jeden Prozessschritt ist bei allen Verfahren nur bedingt oder sehr kostenaufwändig darstellbar (siehe hierzu auch Stellungnahme des Arbeitskreises QM im BDG zum Thema Rückverfolgbarkeit).

Data Matrix Code: Die Größe des rechteckigen 2D-Codes ist variabel. Die Symbolelemente sind quadratisch. Das Suchelement besteht aus einer waagerechten und einer senkrechten Begrenzungslinie, die die Ecke beschreibt, die bei der Lesung zur Orientierung dient. Größere Codes besitzen sogenannte Gitterausrichtungsbalken. Das Auslesen ist in Stillstand und Bewegung möglich und richtungsunabhängig. Aufgebracht werden kann der Code direkt auf das Gussstück oder auf ein Etikett oder einen Beleg. Die Rekonstruktion des Dateninhaltes ist selbst dann noch möglich, wenn bis zu 25% des Codes zerstört oder abgedeckt sind. Data Matrix ist bei AIM standardisiert, eine Spezifikation ist dort erhältlich.



10 Schrifttum

10.1 Literaturnachweis

- [1] Arnoud; D.: The Elevated Temperature Properties of Cast Copper Alloys, 1972, Incra Project No 182
- [2] Landolt-Börnstein IV Bd., Teil 2b, 1964, S.720
- [3] Copper Alloy Casting Design Reference Data and Foundry Design Requirements CDA Publication 76, 1970
- [4] Standards Handbooks: Cast Products; Data Specifications /7, 1970
- [5] Arnoud, D.: Mechanical Properties of Some Cast Copper Alloys at Very Low Temperatures, Fonderie, 249, S. 431-457, 1966
- [6] Schmidt: Vergleich einzelner Nichteisenmetalle – Gießverfahren Werkstatt u. Betrieb 111, 1978, S. 457/460
- [7] Kaufmann, H.: Betriebsfestigkeit, konstruieren + gießen 32 (2007) S. 76-85
- [8] Nass, U.: „Tragfähigkeitssteigerung von Schneckengetrieben durch Optimierung der Schneckenradbronze“ Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 1995, ISBN 3-89194-120-X

10.2 Normen

- DIN EN 1981 Kupfer und Kupferlegierungen – Vorlegierungen
- DIN EN 1982 Kupfer und Kupferlegierungen – Blockmetalle und Gussstücke
- DIN EN 1173 Kupfer und Kupferlegierungen – Zustandsbezeichnungen
- DIN EN 1412 Kupfer und Kupferlegierungen – Europäisches Werkstoffnummernsystem
- DIN EN 1655 Kupfer und Kupferlegierungen – Konformitätserklärungen
- ISO 1190-1 Kupfer- und Kupferlegierungen
- DIN EN 12163 Kupfer und Kupferlegierungen – Stangen zur allgemeinen Verwendung
- DIN EN 12164 Kupfer und Kupferlegierungen – Stangen für die spanende Bearbeitung
- DIN 1680-1 Gussrohnteile – Allgemeintoleranzen und Bearbeitungszugaben – Teil 1: Allgemeines
- DIN 1687-1 Gussrohnteile aus Schwermetalllegierungen – Sandguss – Teil 1: Allgemeintoleranzen, Bearbeitungszugaben
- DIN 1687-3 Gussrohnteile aus Schwermetalllegierungen – Kokillenguss – Teil 3: Allgemeintoleranzen, Bearbeitungszugaben
- DIN 1687-4 Gussrohnteile aus Schwermetalllegierungen – Druckguss – Teil 4: Allgemeintoleranzen, Bearbeitungszugaben
- DIN EN ISO 8062-1 Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Maß-, Form- und Lagetoleranzen für Formteile – Teil 1: Begriffe
- DIN EN ISO 8062-3 Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Maß-, Form- und Lagetoleranzen für Formteile – Teil 3: Allgemeine Maß-, Form- und Lagetoleranzen und Bearbeitungszugaben für Gussstücke
- DIN EN ISO 6892-1 Metallische Werkstoffe – Zugversuch – Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur
- DIN EN ISO 6506-1 Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Brinell – Teil 1: Prüfverfahren
- DIN EN ISO 2624 Kupfer und Kupferlegierungen – Bestimmen der mittleren Korngröße



10.3 Richtlinien (Merkblätter) und Schriften des BDG und VDG

- BDG Richtlinie (VDG-Merkblatt) P 211: Volumendefizite von Gusstücken aus Kupfer und Kupfer-Legierungen
- BDG Richtlinie (VDG-Merkblatt) P 378: Gießen von Probestäben aus Kupfer-Legierungen für Zugversuch (Sand- und Kokillenguss)
- BDG Richtlinie (VDG-Merkblatt) P 379: Prüfung von Kupfer-Gusslegierungen, Werkstoffeigenschaften in größeren Wanddicken (Schleuderguss)
- BDG Richtlinie (VDG-Merkblatt) P 690: Feingusstoleranzen
- BDG Richtlinie (VDG-Merkblatt) W 66: Sicherheitsdatenblätter für Gussprodukte, Buntmetallguss (Kupfer-, Nickel- und Zinkbasis)
- VDG-Fachbericht 39: Untersuchung der Zerspanbarkeit von Cu-Legierungen

10.4 Schriften des DK1

- Kupfer
- Chemische Färbungen von Kupfer und Kupferlegierungen
- DKI-Informationsdrucke**
- i.003 Löten von Kupfer und Kupferlegierungen
- i.004 Kupfer /Vorkommen, Gewinnung, Eigenschaften, Verarbeitung, Verwendung
- i.005 Kupfer-Zink-Legierungen (Messing und Sondermessing)
- i.006 Kupfer-Aluminium-Legierungen
- i.007 Kleben von Kupfer und Kupferlegierungen
- i.008 Niedriglegierte Kupferlegierungen
- i.012 Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen
- i.013 Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber)
- i.014 Kupfer-Nickel-Legierungen
- i.018 Richtwerte für spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen
- i.019 Kupfer – Lebensmittel – Gesundheit
- i.023 Mechanische, chemische und elektrolytische Oberflächenvorbehandlung
- i.025 Kupfer-Zinn-, Kupfer-Zinn-Zink- und Kupfer-Zinn-Blei-Gusslegierungen (Guss-Zinnbronze, Rotguss und Guss-Zinn-Bleibronze)

- DKI-Sonderdrucke
- S.133 Konstruktive Gestaltung von Formgussstücken aus Kupferwerkstoffen
- S.165 Schwermetall-Schleuder- und -Strangguss – technische und wirtschaftliche Möglichkeiten
- S.176 Grundlegende korrosionschemische Eigenschaften von Kupferwerkstoffen

** DKI-Informationsdrucke, DKI-Sonderdrucke, DKI-Werkstoffdatenblätter und das DKI-Dienstleistungs- und Verlagsverzeichnis werden in kleinen Mengen kostenlos abgegeben.

Die Wiedergabe der Auszüge aus den EN-Normen bzw. den DIN-Normen erfolgt mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für die Anwendung der Normen ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH (Berlin) www.beuth.de erhältlich sind.





WERKBILDER PIAD PIEL & ADEY GMBH & CO. KG



**Bundesverband
der Deutschen
Gießerei-Industrie (BDG)**

Hansaallee 203
40549 Düsseldorf
Internet: www.bdguss.de

Telefon: +49 (0)2 11/68 71-0
Telefax: +49 (0)2 11/68 71-3 33
E-mail: info@bdguss.de