



Druckguss aus NE-Metallen

Technische Richtlinien



Verband Deutscher
Druckgießereien (VDD)
und
Bundesverband der
Deutschen
Gießerei-Industrie (BDG)

Vorwort

Impressum

Herausgeber

Verband Deutscher Druckgießereien (VDD)
und
Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (BDG)
Hansaallee 203, 40549 Düsseldorf
Telefon: 02 11 / 68 71 - 348
Telefax: 02 11 / 68 71 - 40 348
E-Mail: maria.graefenstein@bdguss.de
Internet: www.bdguss.de

Bearbeitung:

Dennis Bibbó
Matthias Kuhr
Heinrich Lange
Marco Matthes
Gerd Röders
Didier Rollez
Christoph Schendera
Robert Seiler
Cesare Troglia
Peter Ubl
Tino Widmaier
Arbeitskreise und Fachausschuss Druckguss im BDG

Gestaltung: Weusthoff Noël, Köln, Hamburg, www.wnkd.de

Titelfotos: Fotolia, A. Bednarek

Überarbeitete Fassung Januar 2016

Diese Richtlinien für Druckguss aus NE-Metallen sind in erster Linie für den Konstrukteur und den Fertigungsingenieur bestimmt. Sie geben einen Überblick über die Möglichkeiten des technisch und wirtschaftlich gleichermaßen vorteilhaften Druckgießverfahrens und vermitteln Kenntnisse über Faktoren, die bereits bei der Entwicklung und Formgebung von Druckgussstücken zu beachten sind.

Diese technischen Anleitungen unterstützen die Techniker vieler Industriezweige auf dem Wege zu einer funktionsgerechten, aber auch werkstoff- und druckgießgerechten Konstruktion ihrer Bauelemente aus NE-Metallen.

Wenn druckgießgerecht konstruiert wird, kann mit dem Druckgießverfahren eine sehr hohe Maßgenauigkeit und Oberflächenbeschaffenheit im Vergleich mit anderen Gießverfahren erzielt werden. Im Interesse von Auftraggeber und Gießer muss möglichst vor dem Bau der Gießformen eine frühzeitige und eingehende Abstimmung über die Gestaltung des Gussstückes erfolgen, da nachträgliche Änderungen an den Druckgießformen aus gehärtetem Warmarbeitsstahl nur sehr schwer möglich sind und hohe Kosten verursachen. Bei schwierigen, hoch beanspruchten Neuentwicklungen kann es daher sinnvoll sein, erste Prototypen aus Sandguss oder Niederdrucksandguss zu fertigen. Mit einer einfachen, leichter abwandelbaren und auch billigeren Modelleinrichtung ist es möglich, eine kostengünstige Gestaltung des als Druckgussstück geplanten Konstruktionselementes zu erreichen. Mit dem Niederdruck-Sandgießverfahren können auch sehr geringe Wanddicken, die nahe an den Druckguss heranreichen, erzeugt werden.

Düsseldorf, im Januar 2016

**Verband Deutscher
Druckgießereien (VDD)**

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

Zusätzliche technische Auskünfte können bei den Institutionen eingeholt werden, die im Impressum genannt sind. Grundsätzlich empfiehlt sich ein frühzeitiger Kontakt mit leistungsfähigen Druckgießereien, die im Lieferantenverzeichnis „Wer gießt was?“ auf der Internetseite www.bdguss.de aufgeführt sind.

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	1			
1	Verfahren	4			
1.1	Druckgießmaschinen	4			
1.2	Druckgießformen	6			
1.3	Vorteile des Druckgießverfahrens	8			
2	Druckgusswerkstoffe	10			
2.1	Genormte Legierungen	10			
2.2	Beurteilung der Eigenschaften	11			
2.2.1	Aluminiumlegierungen	11			
2.2.2	Zinklegierungen	15			
2.2.3	Magnesiumlegierungen	17			
2.2.4	Kupfer-Zink-Druckgusslegierungen	19			
3	Gestaltung	20			
3.1	Formteilung und Anguss	20			
3.1.1	Formteilung	20			
3.1.2	Anschnittlage	21			
3.2	Wanddicken und Übergänge	22			
3.3	Aushebeschrägen und Auswerferaugen	24			
3.4	Bohrungen und Durchbrüche	28			
3.5	Kerne	30			
3.6	Hinterschneidungen	32			
3.7	Schieber	33			
3.8	Partielle Nachverdichtung	34			
3.9	Entlüftung	34			
3.10	Schweißbeignung von Druckguss	35			
3.11	Wärmebehandelbarkeit von Druckguss	36			
3.12	Gewinde und Verzahnungen	36			
3.12.1	Gegossene Gewinde	37			
3.12.2	Gewinde durch Bearbeitung des Gussstücks	38			
3.12.3	Gewinde erzeugen durch Einbringen von Buchsen	40			
3.12.4	Kernstifte für Gewinde furchende Schrauben	41			
3.12.5	Verzahnungen	43			
3.13	Eingießteile für Mischbauweise	43			
3.14	Schriftzeichen	44			
3.15	Entgraten von Druckgussstücken	45			
3.16	Bearbeitungszugaben von Druckgussstücken	46			
3.17	Umformung von Druckgussstücken	46			
3.18	Fügeverfahren	48			
3.18.1	Allgemeine Regeln	48			
3.18.2	Besonderheiten bei Fügeverfahren mit Magnesiumlegierungen	48			
3.19	Toleranzen	50			
3.19.1	Größe	50			
3.19.2	Anzahl der Kavitäten	50			
3.19.3	Lage der Maße	51			
3.19.4	Allgemeintoleranzen	52			
3.19.5	Form- und Lagetoleranzen	53			
3.19.6	Gültige Normen (Auszug)	54			
3.20	Oberflächenrauheit von Druckgussstücken	54			
4	Oberflächenbehandlung	56			
5	Qualität	58			
5.1	Werkstoff	58			
5.1.1	Chemische Zusammensetzung	58			
5.1.2	Wasserstoffgehalt	58			
5.1.3	Gefüge	58			
5.1.4	Oberflächenrauheit von Druckgussstücken	60			
5.2	Prozessfähigkeit	60			
5.3	Bemusterung	61			
5.4	Rückverfolgbarkeit	61			
5.4.1	Kennzeichnungsinhalte	62			
5.4.2	Beispiele für Kennzeichnungsarten	62			
6	Hinweise zur Gussteilanfrage und Wirtschaftlichkeit	64			
7	Weiterführende Literatur	66			
7.1	Literatur	66			
7.2	Normen und Richtlinien	67			
8	Anhang	68			

1 Verfahren

Beim Druckgießverfahren wird flüssiges Metall unter hohem Druck und mit großer Geschwindigkeit in Dauerformen aus Warmarbeitsstahl gegossen. Das Verfahren ist anwendbar für Legierungen der Nichteisenmetalle.

Aluminium – Zink – Magnesium – Kupfer – Blei – Zinn

Den drei erstgenannten Werkstoffen kommt mit Abstand die größte Bedeutung zu.

1.1 Druckgießmaschinen

Bei den zur Herstellung von Druckgussstücken erforderlichen Maschinen unterscheidet man zwischen Warmkammer- und Kaltkammer-Druckgießmaschinen. Bei Warmkammer-Druckgießmaschinen liegt die Gießkammer im beheizten Metallbad; bei der Kaltkammer-Druckgießmaschine wird das Metall getrennt von der Druckgießmaschine in einem besonderen Ofen geschmolzen bzw. warmgehalten und dann über eine Dosiereinrichtung in die Gießkammer der Druckgießmaschine gebracht. Aus der Gießkammer wird das Metall mit einem Kolben in die geschlossene Form gepresst. Das rasch erstarrende Druckgussstück wird dann mit dem Öffnen der Form ausgeworfen bzw. kann entnommen werden. In der Großserie werden heute in Gießzellen automatisiert Teile hergestellt.

Warmkammermaschinen arbeiten in der Regel mit kürzeren Zykluszeiten, die Gussstückgröße ist jedoch begrenzt. Aluminium lässt sich auf Warmkammer-Druckgießmaschinen (noch) nicht vergießen (Tabelle 1).

Die erreichbaren Abmessungen und Gewichte von Druckgussstücken sind von der Größe und Zuhaltkraft der zur Verfügung stehenden Druckgießmaschinen und dem Gusswerkstoff abhängig.

Tabelle 1: Druckgießmaschinen für die wichtigsten Druckgießwerkstoffe				
Maschinentyp	Werkstoffgruppe			
	Aluminium	Zink	Magnesium	Kupfer
Warmkammer	-	x	x	-
Kaltkammer	x	(x)	x	x

Die Tabelle 1 gibt an, welche Druckgießmaschinen für die wichtigsten Druckgießwerkstoffe in Betracht kommen.

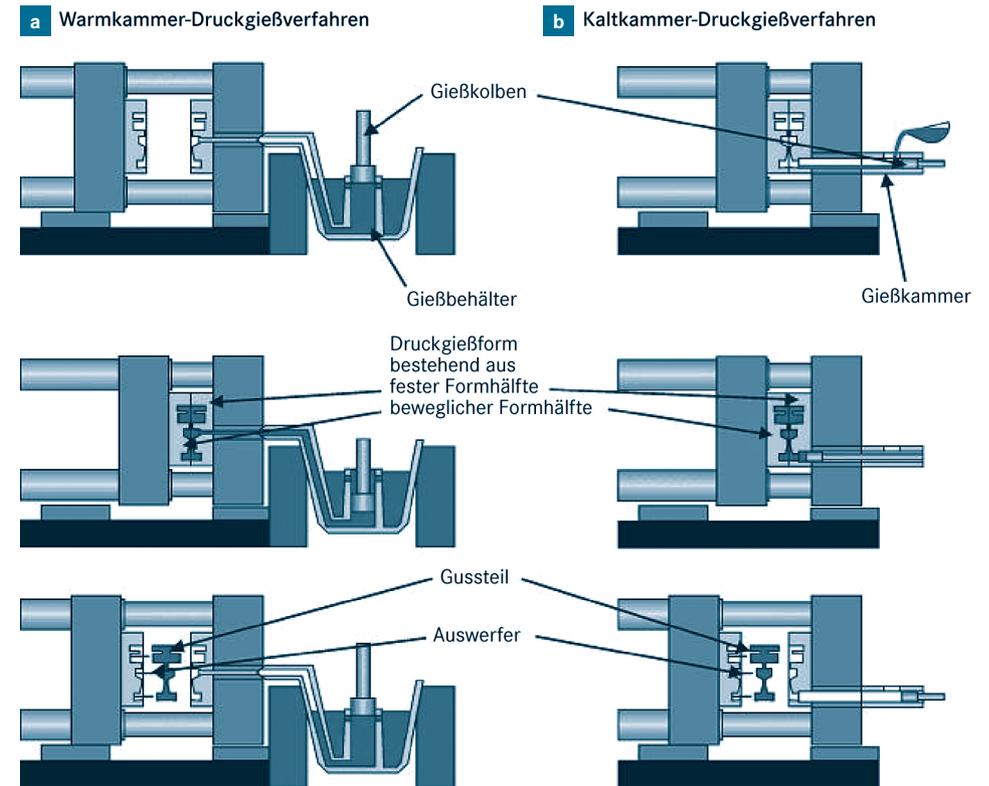


Bild 1: Schematische Darstellung zum Ablauf des Druckgießverfahrens: (a) Warmkammer-Druckgießmaschine, (b) Kaltkammer-Druckgießmaschine

Eine maßgebende Größe für die Auswahl der Druckgießmaschine ist die erforderliche Zuhaltkraft, welche durch die metallbeaufschlagte Projektionsfläche in der Formteilungsebene und den Gießdruck des einströmenden Metalls bestimmt wird. Die Gewichtsgrenze nach unten liegt im Allgemeinen bei einigen Gramm, bei Zink bei weniger als 1 g.

Mögliche Zuhaltkräfte für Warmkammergießmaschinen reichen bis 8000 kN (800 t), bei Kaltkammergießmaschinen gehen die Zuhaltkräfte bis 45000 kN (4500 t).

Durch die Weiterentwicklung der Maschinenteknik insbesondere durch Einführung der Vakuumgießtechnik, bei der der Formhohlraum zwangsentlüftet wird, können im Druckguss schweißgeeignete und wärmebehandelbare Bauteile hergestellt werden.

Selten eingesetzte weitere Verfahren sind das Thixocasting (auch SSM – Semi-solid metal molding, NRC – New RheoCasting, ...) und das Thixomolding für Magnesium. Bei diesen Verfahren wird der Gusswerkstoff im teilflüssigen Zustand verarbeitet.

In Bild 1 sind die Gießaggregate der beiden Systeme skizziert. Bei Kaltkammer-Druckgießmaschinen ist die Gießkammer entweder senkrecht oder waagrecht angeordnet.

1.2 Druckgießformen

Die Ausführung der Druckgießform bestimmt in hohem Maße die technischen Eigenschaften der Druckgussstücke und die Wirtschaftlichkeit. Bei der Auslegung und Herstellung der Druckgießform müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Dimensionierung der Druckgießform
- Auswahl Formenstahl einschließlich Wärmebehandlung
- Auslegung der Formentemperatur
- Auslegung und Berechnung des Gießsystems und der (Zwangs-)Entlüftung
- Wartungsfreundlichkeit
- Standzeitangepasste Fertigung
- Auslegung der Formteilung
- Anzahl der Kavitäten (Gussstücke in der Form)

Die Konstruktion des Druckgussstückes und der Druckgießform müssen aufeinander abgestimmt sein. Prozessbedingt unterliegen die Formen außerordentlich hohen thermischen und mechanischen Beanspruchungen, wodurch die Lebensdauer begrenzt wird. Je nach Anforderung und Komplexität der Druckgussstücke können aus einer Druckgießform folgende Schusszahlen erreicht werden (Richtwerte):

- | | |
|------------------------|------------------------------|
| ■ Aluminiumlegierungen | 50.000 bis 200.000 Schuss |
| ■ Zinklegierungen | 500.000 bis 2.000.000 Schuss |
| ■ Magnesiumlegierungen | 120.000 bis 300.000 Schuss |
| ■ Kupferlegierungen | 5.000 bis 50.000 Schuss |

Nachträgliche Formänderungen können zu Standzeitverkürzungen führen!

Zur Verkürzung der Entwicklungszeit neuer Teile werden unter Umständen Prototypenwerkzeuge gefertigt, die kürzere Standzeiten aufweisen können.

In **Bild 2** sind die wichtigsten Elemente einer Druckgießform und deren Bezeichnung zusammengestellt. Die detaillierte Auslegung der Formen, wie etwa Lage und Gestaltung des Eingusses, Ausführung der Formteilung und Luftabführung oder vorteilhafte Anordnung und Führung notwendiger Kerne und Kernzüge wird wesentlich bestimmt durch die Erfahrungswerte der Gießerei.

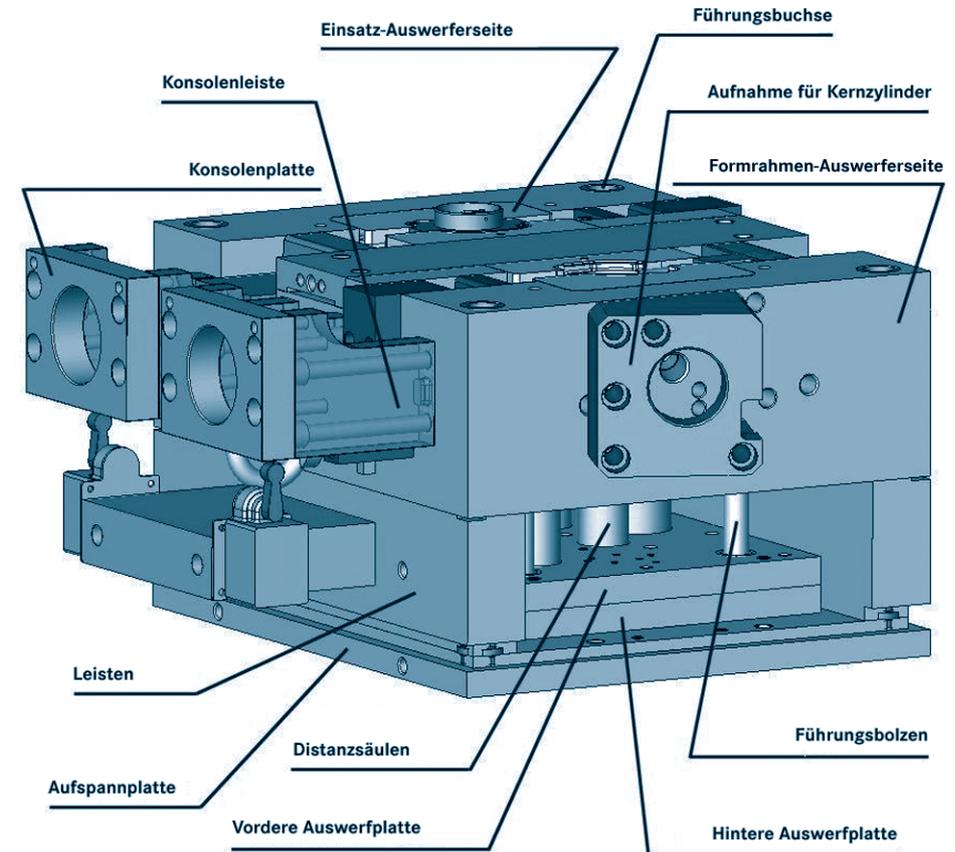


Bild 2a: Beispiel Formplan einer Druckgießform (Elemente und Bezeichnungen)

copyright G.A. Röders, 2002; Praktikant Frantisek Broz

1 Verfahren

Man kann auch mehrere Gussstücke gleichzeitig in einer Form gießen. Bei unterschiedlichen Druckgussstücken darf deren Größe und Schwierigkeitsgrad nicht zu ungleich sein, sonst muss mit verminderter Gießleistung und höherem Ausschuss gerechnet werden.

1.3 Vorteile des Druckgießverfahrens

Zusammenfassend ergeben sich für den Auftraggeber folgende technische und wirtschaftliche Vorteile:

- Enge Allgometoleranzen, d. h. hohe Genauigkeit und damit Austauschbarkeit
- Geringe Bearbeitungszugaben, d. h. wenig spanende Bearbeitung, also Endmaßgießen, d. h. endformnahe (near-net-shape) und endformfertige Bauteile
- Glatte Oberflächen und scharfe Ausprägung der Konturen
- Dünnwandige Gussstücke, d. h. Gewichtseinsparung
- Vor- und Fertiggießen von Bohrungen, Schlitzern, Verzahnungen, Aussparungen und Durchbrüchen sowie Schriftzeichen und Ziffern
- Komplexe Bauteile, die in anderen Fertigungsverfahren oft aus mehreren Einzelteilen zusammengesetzt werden müssen
- Mischbauweisen durch Eingießen von Büchsen, Bolzen, Stanzteilen usw. aus Fremdmaterialien (Stahl, Bronze oder bei Zinklegierungen auch nichtmetallische Werkstoffe)
- Das Druckgießverfahren bietet eine hohe Lieferbereitschaft bei vorhandener Druckgießform durch kurze Rüst-, Fertigungs- und Durchsatzzeiten. Dies erlaubt „Just-in-Time-Lieferungen“ und reduziert somit die Lagerhaltung beim Abnehmer.
- Einsparung von Investitions- und Stückkosten durch reduzierten Nachbearbeitungsaufwand

Die Wirtschaftlichkeit von Druckguss setzt eine Losgröße ab ca. 3.000 Stück voraus. Die Grenze kann je nach Gusswerkstoff und bei schwierigen Bauteilen unter 3.000 Stück liegen. Ein gründlicher Kostenvergleich der montagefertigen Ausführung ist immer zweckmäßig.

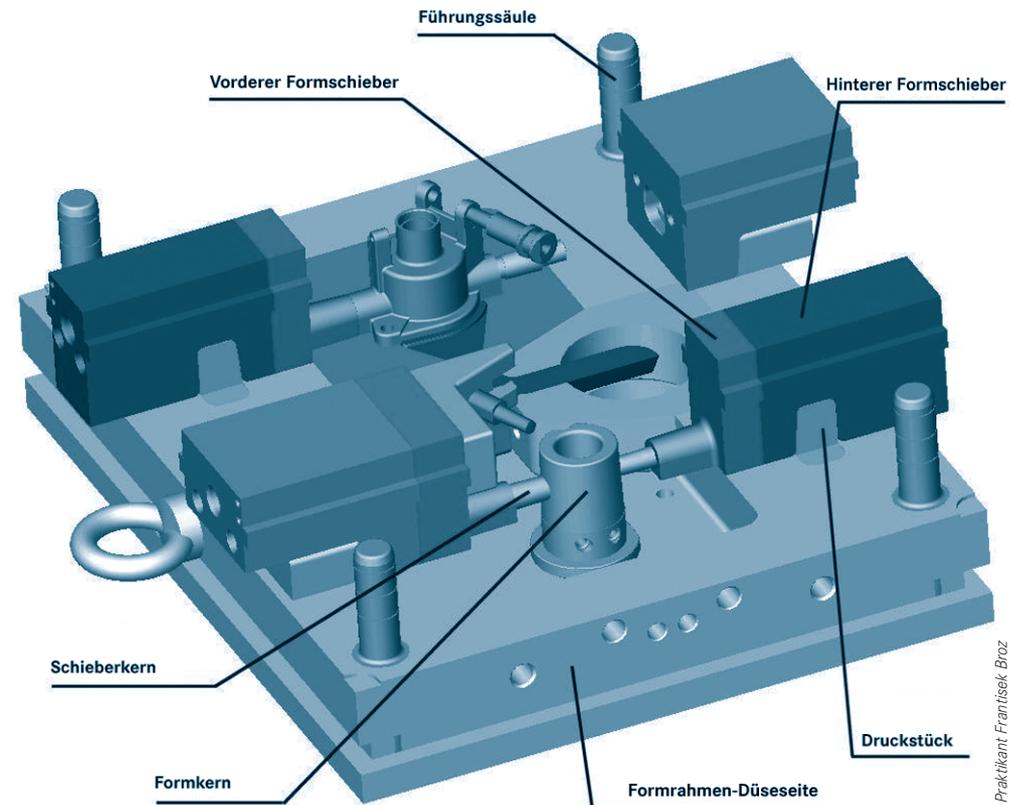


Bild 2b: Beispiel Formplan: feste Seite einer Druckgießform

2 Druckgusswerkstoffe

Die chemische Zusammensetzung der Druckgusswerkstoffe ist dem Druckgießprozess angepasst. Damit soll gewährleistet werden, dass das Druckgießen überhaupt möglich ist und die Dauerformen eine wirtschaftlich vertretbare Standzeit erreichen. So müssen z. B. die Aluminiumdruckgusslegierungen einen Mindest-Eisengehalt aufweisen, um eine Entnahme des Gussteils aus der Form überhaupt zu ermöglichen.

2.1 Genormte Legierungen

In der Regel werden zur Fertigung von Druckgussstücken genormte Legierungen verwendet. Eine Übersicht der Legierungsnormen ist in **Tabelle 2** dargestellt. In diesen Normen sind neben der chemischen Zusammensetzung auch mechanische und chemische Eigenschaften und Hinweise zur Verarbeitung und dem Gießverhalten enthalten sowie Empfehlungen für die Anwendung.

Tabelle 2: Übersicht über die Legierungsnormen	
Aluminiumgusslegierungen	Norm DIN EN 1706
Zinkgusslegierungen	DIN EN 12844
Magnesiumgusslegierungen	DIN EN 1753
Kupfergusslegierungen	DIN EN 1982

Da in den Normen in der Regel die Bereiche der chemischen Zusammensetzung weit gespannt sind, ist es oft empfehlenswert, diese auf den Anwendungsfall anzupassen, d. h. einzuschränken, um eine gleichmäßige Gussqualität zu gewährleisten. Dies sollte in enger Abstimmung mit dem Gießer erfolgen.

2.2 Beurteilung der Eigenschaften

Um für einen bestimmten Anwendungsfall den richtigen Werkstoff auswählen zu können, müssen die Eigenschaften bekannt sein. Druckgusswerkstoffe erfüllen viele Forderungen, wenn auch nicht immer alle gleichzeitig. Man hat daher bei der Werkstoffwahl sorgfältig abzuwägen, auf welche Eigenschaften es besonders ankommt und welche Legierung bzw. Legierungsgattung diese umfassend in sich vereinigt.

2.2.1 Aluminiumlegierungen

Aufgrund ihrer hervorragenden Gießbarkeit und der damit verbundenen ausgezeichneten Bauteileigenschaften eignen sich Aluminiumlegierungen ganz besonders gut für das Druckgießverfahren. Die wichtigste Gruppe

Einen Überblick der physikalischen Eigenschaften der einzelnen Werkstoffgruppen gibt **Tabelle 3**. Die endgültige Festlegung des Druckgusswerkstoffes sollte daher immer in enger Abstimmung mit dem Druckgießer erfolgen.

Tabelle 3: Übersicht über die Eigenschaften von Druckgusslegierungen					
		Aluminium- Legierungen	Zink- Legierungen	Magnesium- Legierungen	Kupfer- Legierungen
Dichte	$[10^3 \text{ kg/m}^3]$	2,65 ... 2,75	6,7 ... 6,8	1,77 ... 1,81	8,25 ... 8,75
Längenausdehnungs- koeffizient, 20–100 °C	$[10^{-6}/K]$	20 ... 24	27	26	18 ... 22
Wärmeleitfähigkeit	$[W/m \cdot K]$	80 ... 220	92 ... 113	50 ... 84	110 ... 160
Elektrische Leitfähigkeit	$[10^6 S/m]$	12 ... 28	15 ... 16	6 ... 10	16 ... 21
E-Modul	$[kN/mm^2]$	68 ... 78	80 ... 85	40 ... 45	90 ... 120
Schubmodul	$[kN/mm^2]$	22 ... 28		16 ... 17	
Querkontraktionszahl (Poisson-Zahl)		0,32 ... 0,36	0,29	0,35	0,33 ... 0,40
spez. Wärmekapazität bei RT	$[kJ/kg \cdot K]$	0,9 ... 1,0	0,41 ... 0,42	1,0 ... 1,2	0,4 ... 0,5
Schmelzwärme	$[kJ/kg]$	380 ... 480	106 ... 113	360 ... 390	200 ... 210

2 Druckgusswerkstoffe

Tabelle 4a: Werkstoffeigenschaften der Aluminium-Druckgusslegierungen (informative Mindestwerte)

Werkstoffbezeichnung				Werkstoffzustand	mechanische Eigenschaften RT-Zugversuch				weitere Eigenschaften				
Legierungsgruppe	chemische Symbole	numerisch	VDS-Nr. (alt)		Zugfestigkeit R_m [MPa]	Dehngrenze $R_{p0,2}$ [MPa]	Bruchdehnung A [%]	Härte [HBW]	Warmfestigkeit bis 200 °C	Korrosionsbeständigkeit	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Duktilität	Ermüdungsfestigkeit [MPa]
Al	Al 99,6E	-	-	F	75	-	10	17	E	A	210	A	-
	Al 99,7E	-	-	F	75	-	10	17	E	A	210	A	-
AlSi10Mg	EN AC-Al Si10Mg(Fe)	EN AC-43400	239 D	F	240	140	1	70	C	C	130 ... 150	C	60 ... 90
	EN AC-Al Si10MnMg	EN AC-43500	-	T5	250	120	5	65	C	B	140 ... 170	A	80 ... 90
				T6	270	150	4	80					
				T7	250	180	5	100					
T7	200	120	12	60									
AlSi	EN AC-Al Si12(Fe)(a)	EN AC-44300	230 D	F	240	130	1	60	C	C	130 ... 160	C	60 ... 90
	EN AC-Al Si9	EN AC-44400	-	F	220	120	2	55	C	C	130 ... 150	C	60 ... 90
	EN AC-Al Si12(Fe)(b)	EN AC-44500	-	F	240	140	1	60	C	C		C	60 ... 90
AlSi9Cu	EN AC-Al Si9Cu3(Fe)	EN AC-46000	226 D	F	240	140	<1	80	B	D	110 ... 120	D	60 ... 90
	T5	260	160	1	85								
	EN AC-Al Si11Cu2(Fe)	EN AC-46100	-	F	240	140	<1	80	B	D	120 ... 130	D	60 ... 90
	EN AC-Al Si8Cu3	EN AC-46200	-	F	240	140	1	80	A	D	110 ... 130	C	60 ... 90
EN AC-Al Si9Cu3(Fe)(Zn)	EN AC-46500	226/3	F	240	140	<1	80	A	D	110 ... 120	D	60 ... 90	
AlSi(Cu)	EN AC-Al Si12Cu1(Fe)	EN AC-47100	231 D	F	240	140	1	70	B	E	120 ... 150	C	60 ... 90
AlSiCuNiMg	EN AC-Al Si17Cu4Mg	EN AC-48100	-	F	220	160	<1	90	B	D	120 ... 130	E	60 ... 90
AlMg	EN AC-Al Mg9	EN AC-51200	349	F	200	130	1	70	B	A	60 ... 90	C	60 ... 90
	EN AC-Al Mg5Si2Mn*	EN AC-51500	-	F	250	140	5	70	B	A	110 ... 130	A	80 ... 110
AlSi9Mn	AlSi9Mn	-	-	F	200	110	8	70	A	A	110 ... 130	-	-

Werkstoffeigenschaften und Verarbeitungshinweise für die Aluminium-Druckgusslegierungen sind in Tabellen 4a und 4b zusammengefasst.

ANMERKUNG 1

Die Werte sind als bauteilabhängige Richtwerte anzusehen und stellen keine verbindlichen Eigenschaftszusagen dar.

ANMERKUNG 2

Die Werte für den Werkstoffzustand F nach dieser Tabelle werden wahrscheinlich erst nach einigen Tagen der Lagerung bei Raumtemperatur erreicht.

*) Diese mechanischen Eigenschaften sind für Wanddicken bis 4 mm typisch.

F Gusszustand

T1 Kontrollierte Abkühlung nach dem Guss und kaltausgelagert

T4 Lösungsgeglüht und kaltausgelagert

T5 Kontrollierte Abkühlung nach dem Guss und warmausgelagert oder überaltert

T6 Lösungsgeglüht und vollständig warmausgelagert

T7 Lösungsgeglüht und überaltert (warmausgelagert) (stabilisierter Zustand)

A ausgezeichnet

B gut

C annehmbar

D unzureichend

der Aluminium-Druckgusslegierungen sind die untereutektischen Aluminium-Siliciumlegierungen. Sie haben einen Siliciumgehalt von <12 %. Dies verleiht diesen Legierungen ein hervorragendes Formfüllvermögen, sodass dünnwandige und komplizierte Designs möglich sind. Minimale Wanddicken bis zu 1 mm sind in der Praxis realisierbar. Silicium dehnt sich während der Erstarrung aus und kann so einen Teil der Schrumpfung wieder kompensieren, was sich bei der Ausformung bzw. beim Auswerfen des Gussteils aus der Form positiv bemerkbar macht.

Die Aluminiumlegierungen zeichnen sich durch eine geringe Dichte sowie durch eine gute Wärmeleitfähigkeit aus. Eine gute Beständigkeit gegen Witterung und sonstige chemische Einflüsse ist vor allem bei den kupferfreien Legierungen gewährleistet.

Der Werkstoff EN AC-Al Si9Cu3(Fe) mit seinen Varianten ist mengenmäßig die wichtigste Gusslegierung. Auf Grund der weiten Legierungsspan-

nen und zugelassenen Anteile an Verunreinigungen wird der Werkstoff kostengünstig aus Schrotten hergestellt. Er zeichnet sich durch eine sehr gute Gießbarkeit für Gussstücke aller Art aus. Durch den hohen Kupfergehalt ist diese Legierung warmfest und kann daher auch in Bereichen erhöhter Temperaturbelastung eingesetzt werden, ohne größere Einbußen in der Festigkeit hinnehmen zu müssen. Der Kupfergehalt hat allerdings den Nachteil, dass die Korrosionsbeständigkeit eingeschränkt wird.

Neben den genannten Druckgusslegierungen sollen hier auch die nicht genannten Legierungen erwähnt werden, da sie eine wichtige Rolle gerade bei Gussstücken für Spezialanwendungen spielen.

Dazu gehören unter anderem die übereutektischen Al-Si-Legierungen mit Siliciumgehalten über 15 %. Durch die feinen Primärausscheidungen von Silicium zeichnen sich diese Legierungen durch sehr gute tribologische Eigenschaften aus, sie sind warmfest und haben einen niedrigen thermi-

2 Druckgusswerkstoffe

schen Ausdehnungskoeffizienten, was sie prädestiniert für Anwendungen in Kombination mit anderen Werkstoffen, bei hohen Temperaturen und/oder verschleißintensiver Umgebung wie büchsenlose Kurbelgehäuse, Pumpengehäuse, Gleitlager oder Kolben.

Zur Herstellung von Kurzschlussläufern im Verbundguss wird Reinaluminium, sog. Rotoreinaluminium, mit hoher elektrischer Leitfähigkeit verwendet. Es handelt sich hier um Reinaluminium 99,5 % bzw. 99,7 %.

Die Gruppe der eisenarmen Druckgusslegierungen zeichnet sich durch exzellente mechanische und dynamische Eigenschaften sowie einen hohen Korrosionswiderstand aus, was den Einsatz ohne Korrosionsschutzmaßnahmen ermöglicht. Um die Entformbarkeit zu gewährleisten, wird hier Eisen durch Mangan ersetzt. Mangan bildet eingeformte intermetallische Phasen, welche die Duktilität dieser Legierungen nicht beeinträchtigen. Drei typische Vertreter dieser eisenarmen Druckgusslegierungen sind AlSi9MgMn, AlSi9Mn und AlMg5Si2Mn.

Tabelle 4b: Hinweise zur Verarbeitung der Aluminium-Druckgusslegierungen (informative Mindestwerte)

Werkstoffbezeichnung				Richtwerte zur Verarbeitung				Gießeeigenschaften	
Legierungsgruppe	chemische Symbole	numerisch	VDS-Nr. (alt)	Liquidustemperatur [°C]	Solidustemperatur [°C]	Gießtemperaturbereich [°C]	Schwindmaß [%]	Fließvermögen	Warmrissebeständigkeit
AlSi10Mg	EN AC-Al Si10Mg(Fe)	EN AC-43400	239 D	600	550	620 ... 660	0,4 ... 0,6	A	A
	EN AC-Al Si10MnMg	EN AC-43500	-	590	550	680 ... 700	0,4 ... 0,6	A	A
AlSi	EN AC-Al Si12(Fe)(a)	EN AC-44300	230 D	577	577	620 ... 660	0,4 ... 0,6	A	A
	EN AC-Al Si9	EN AC-44400	-	605	570	620 ... 700	0,4 ... 0,6	A	A
	EN AC-Al Si12(Fe)(b)	EN AC-44500	-	600	550	600 ... 700	0,5 ... 0,8	A	A
AlSi9Cu	EN AC-Al Si9Cu3(Fe)	EN AC-46000	226 D	600	500	630 ... 680	0,4 ... 0,7	B	B
	EN AC-Al Si11Cu2(Fe)	EN AC-46100	-	580	530	650 ... 700	0,5 ... 0,8	A	B
	EN AC-Al Si8Cu3	EN AC-46200	-	600	490	690 ... 740	-	B	B
	EN AC-Al Si9Cu3(Fe)(Zn)	EN AC-46500	226/3	600	490	650 ... 700	0,5 ... 0,8	B	B
AlSi(Cu)	EN AC-Al Si12Cu1(Fe)	EN AC-47100	231 D	577	577	620 ... 660	0,4 ... 0,7	A	A
AlSiCuNiMg	EN AC-Al Si17Cu4Mg	EN AC-48100	-	650	510	720 ... 760	0,3 ... 0,6	A	C
AlMg	EN AC-Al Mg9	EN AC-51200	349	620	520	640 ... 680	0,5 ... 0,7	C	D
	EN AC-Al Mg5Si2Mn	EN AC-51500	-	618	580	680 ... 700	0,6 ... 1,1	C	D
AlSi9Mn	AlSi9Mn	-	-	595	550	680 ... 710	0,4 ... 0,6	A	A

ANMERKUNG 1: Die Werte sind als bauteilabhängige Richtwerte anzusehen und stellen keine verbindlichen Eigenschaftszusagen dar.

A = ausgezeichnet, B = gut, C = annehmbar, D = unzureichend

Tabelle 5a: Werkstoffeigenschaften der Zink-Druckgusslegierungen (informative Werte)

Werkstoffbezeichnung			mechanische Eigenschaften RT-Zugversuch				weitere Eigenschaften				
chemische Symbole	numerisch	Kurzbezeichnung	Zugfestigkeit R _m [MPa]	Dehngrenze R _{p0,2} [MPa]	Bruchdehnung A [%]	Härte [HBW]	Scherfestigkeit [MPa]	Zeitfestigkeit nach 10 ⁶ Lastwechseln [MPa]	Zeitstandkriechgrenze 0,5% (3000 h) [MPa]	Kerbschlagarbeit ungekerbt, 6,3 x 6,3 mm ² [J]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
ZnAl4	ZP0400	ZP3	280	200	10	83	214	48	80	57	113
ZnAl4Cu1	ZP0410	ZP5	330	250	5	92	262	56	100	58	110
ZnAl4Cu3	ZP0430	ZP2	335	270	5	102	317	60	130	59	119
ZnAl8Cu1	ZP0810	ZP8	370	220	8	100	275	100	160	40	115
ZnAl11Cu1	ZP1110	ZP12	400	300	5	100	296	117	-	30	116
ZnAl27Cu2	ZP2720	ZP27	425	370	2,5	120	325	145	100	10	126

ANMERKUNG 1: Die Werte sind als bauteilabhängige Richtwerte anzusehen und stellen keine verbindlichen Eigenschaftszusagen dar.

2.2.2 Zinklegierungen

Zinklegierungen haben ein ausgezeichnetes Gießverhalten. Enge Toleranzen, Maßbeständigkeit und ein geringer Formenverschleiß stehen im Vordergrund. Zinklegierungen haben u. a. aufgrund der geringen Viskosität der Schmelze ausgezeichnete Gießeeigenschaften. Durch die relativ niedrige Verarbeitungstemperatur und den dadurch geringeren Wärmeeintrag in die Form ist der Formverschleiß gering. Die Qualität der unbehandelten Gussstückober-

Werkstoffeigenschaften und Verarbeitungshinweise für die Zink-Druckgusslegierungen sind in **Tabelle 5a** und **5b** zusammengefasst.

Tabelle 5b: Hinweise zur Verarbeitung der Zink-Druckgusslegierungen (informative Mindestwerte)

Werkstoffbezeichnung			Richtwerte zur Verarbeitung				Gießeeigenschaften	
chemische Symbole	numerisch	Kurzbezeichnung	Liquidustemperatur [°C]	Solidustemperatur [°C]	Gießtemperaturbereich [°C]	Schwindmaß [%]	Fließvermögen	Warmrissebeständigkeit
ZnAl4	ZP0400	ZP3	387	382	415 ... 435	0,5	A	A
ZnAl4Cu1	ZP0410	ZP5	388	379	415 ... 435	0,5	A	A
ZnAl4Cu3	ZP0430	ZP2	389	379	415 ... 435	0,5	A	A
ZnAl8Cu1	ZP0810	ZP8	404	375	435 ... 450	0,5	A	A
ZnAl11Cu1	ZP1110	ZP12	432	377	460 ... 500	0,5	A	A
ZnAl27Cu2	ZP2720	ZP27	484	377	520 ... 580	0,5	A	A

ANMERKUNG 1: Die Werte sind als bauteilabhängige Richtwerte anzusehen und stellen keine verbindlichen Eigenschaftszusagen dar.

2 Druckgusswerkstoffe

fläche ermöglicht ein Galvanisieren oder Beschichten. Sehr wichtig für die Eigenschaften der Gussstücke ist der Reinheitsgrad der Zinklegierungen. Dieser sollte regelmäßig auf die Einhaltung der Legierungszusammensetzung nach DIN EN 12844 überwacht werden. Dies ist bei Mitgliedern des Reinheitszeichen-Verbandes Zinkdruckguss e.V. zur Einhaltung der Werkstoffzusammensetzung nach DIN EN 12844 der Fall.

Zinkdruckgussstücke werden bis zu Temperaturen von 120°C eingesetzt. Der Festigkeitsabfall von Raumtemperatur bis 120°C beträgt ca. 30%. Bei Einsatztemperaturen unter 0°C ist ein starker Abfall der Dehnung zu verzeichnen. Bei Einsatztemperaturen unter 0°C ist bei ansteigenden Festigkeits- und Härtewerten ein starker Abfall der Dehnung zu verzeichnen.

Zink-Druckgussprodukte weisen kurz nach dem Abguss eine um ca. 10 - 15 % erhöhte Festigkeit auf. Ausgelöst durch Ausscheidungsvorgänge im Gefüge beginnt daraufhin die natürliche Normalisierung (auch Alterung genannt), welche (bei RT) hauptsächlich in den ersten 12 Wochen abläuft und nach ca. 1 Jahr zum Erliegen kommt. Neben der Festigkeit, die auf den Normalwert absinkt, kann es parallel zu einer Maßänderung (Schrumpfung) von ca. -0,2 % kommen. Die natürliche Alterung kann durch künstliche Alterung (Temperierung 105°C, 24h) vorweggenommen werden.

2.2.3 Magnesiumlegierungen

Magnesiumlegierungen – als die leichtesten Gusswerkstoffe – weisen neben guten Gießereigenschaften eine gute spanende Bearbeitbarkeit auf. Hierbei sind auf die speziellen Schutzmaßnahmen zu achten. Durch die Entwicklung der hochreinen Magnesiumlegierungen (HP-Legierungen) wurde erreicht, dass bei der Flächenkorrosion heute keine Nachteile gegenüber Aluminiumlegierungen festgestellt werden können. Die Magnesiumlegierungen sind in DIN EN 1753 genormt. Magnesiumlegierungen haben eine deutlich niedrigere Viskosität als Aluminiumgusslegierungen und einen geringeren Wärmeinhalt. Die niedrige Viskosität begünstigt eine hervorragende Formfüllung. Mit Magnesiumdruckgusslegierungen lassen sich großflächige, dünnwandige Strukturbauteile herstellen. Der geringe Wärmeinhalt erfordert eine optimale Formtemperierung und ausgefeilte Gießtechnik, um ein möglichst homogenes Gefüge im Bauteil zu erzielen. Starke Wanddickenübergänge sind zu vermeiden, da sonst Warmrisse und andere Fehlstellen entstehen können.

Hinweise zu Magnesium-Schutzmaßnahmen finden sich in den Informationsschriften der DGUV-Regeln (BGR 204) und „Umgang mit Magnesium – Gefahren und Schutzkonzepte“ (VdS 3537)

Tabelle 6a: Werkstoffeigenschaften der Magnesium-Druckgusslegierungen					(informative Mindestwerte)							
Werkstoffbezeichnung				Werkstoffzustand	mechanische Eigenschaften RT-Zugversuch				weitere Eigenschaften			
Legierungsgruppe	chemische Symbole	numerisch	alte Bezeichnung		Zugfestigkeit R _m [MPa]	Dehngrenze R _{p0,2} [MPa]	Bruchdehnung A [%]	Härte [HBW]	Dauerfestigkeit (5·10 ⁷ Lastspiele) [MPa]	Kerbschlagarbeit Charpy [J] bei RT	Wärmeleitfähigkeit [W/m·K]	
MgAlZn	EN-MCMgAl9Zn1 (A)	EN-MC21120	AZ 91	F	200 ... 260	140 ... 170	1 ... 6	65 ... 85	49 ... 69	1,3 ... 1,5	51	
MgAlMn	EN-MCMgAl2Mn	EN-MC21210	AM 20	F	150 ... 220	80 ... 100	8 ... 18	40 ... 55		4,2 ... 4,6	94	
	EN-MCMgAl5Mn	EN-MC21220	AM 50	F	180 ... 230	110 ... 130	5 ... 15	50 ... 65		2,9 ... 3,7	65	
	EN-MCMgAl6Mn	EN-MC21230	AM 60	F	190 ... 250	120 ... 150	4 ... 14	55 ... 70	49 ... 69	2,9 ... 3,3	61	
MgAlSi	EN-MCMgAl2Si	EN-MC21310	AS 21	F	170 ... 230	110 ... 130	4 ... 14	50 ... 70	48	2,6 ... 3	84	
	EN-MCMgAl4Si	EN-MC21320	AS 41	F	200 ... 250	120 ... 150	3 ... 12	55 ... 80	49 ... 69	2,4 ... 2,8	67	

ANMERKUNG 1 Die Werte sind als bauteilabhängige Richtwerte anzusehen und stellen keine verbindlichen Eigenschaftszusagen dar.

ANMERKUNG 2 Die angegebenen Werte gelten für getrennt gegossene Proben mit einer Querschnittsfläche von 20 mm² und einer Mindestwanddicke von 2 mm.

Werkstoffeigenschaften und Verarbeitungshinweise für die Magnesiumdruckgusslegierungen sind in **Tabelle 6a** und **6b** zusammengefasst.

2 Druckgusswerkstoffe

Neben einer relativ niedrigen Kriechfestigkeit weisen Magnesiumlegierungen eine hohe Dämpfungskapazität auf. Die Magnesiumlegierungen erfordern im Allgemeinen gegen Witterungseinflüsse einen zusätzlichen Oberflächenschutz. Zum Vermeiden von Kontaktkorrosionen, die aufgrund physikalischer Gesetze auftreten können, sind besondere konstruktive Maßnahmen bei Gussstücken aus Magnesiumlegierungen zu treffen.

Tabelle 6b: Hinweise zur Verarbeitung der Magnesium-Druckgusslegierungen (informative Werte)

Werkstoffbezeichnung				Richtwerte zur Verarbeitung		
Legierungsgruppe	chemische Symbole	numerisch	alte Bezeichnung	Liquidustemperatur [°C]	Solidustemperatur [°C]	Gießtemperaturbereich [°C]
MgAlZn	EN-MCMgAl9Zn1 (A)	EN-MC21120	AZ 91	596	465	630 ... 680
MgAlMn	EN-MCMgAl2Mn	EN-MC21210	AM 20	638	620	660 ... 720
	EN-MCMgAl5Mn	EN-MC21220	AM 50	620	555	660 ... 700
	EN-MCMgAl6Mn	EN-MC21230	AM 60	615	545	660 ... 700
MgAlSi	EN-MCMgAl2Si	EN-MC21310	AS 21	632	435	660 ... 720
	EN-MCMgAl4Si	EN-MC21320	AS 41	617	562	630 ... 680

ANMERKUNG 1: Die Werte sind als bauteilabhängige Richtwerte anzusehen und stellen keine verbindlichen Eigenschaftszusagen dar.

2.2.4 Kupfer-Zink-Druckgusslegierungen

Kupfer-Zink-Legierungen oder auch Messing genannt stellen an den Gießer besondere Anforderungen. Einer der signifikanten Unterschiede liegt vor allem in der Gießtemperatur. Bei Messing liegt die Gießtemperatur im Bereich von 960 bis 1050 °C, während bei Aluminium (620 bis 710 °C) und Zink (410 bis 435 °C) deutlich geringere Temperaturen benötigt werden. Wegen dieser hohen Gießtemperatur entstehen für das Werkzeug starke thermische Belastungen, wodurch die Standzeit der Werkzeuge erheblich geringer gegenüber den anderen Druckgusslegierungen ist. Aufgrund erhöhter Warmbrüchigkeit müssen Mindestwanddicken von Gussteilen zwischen 2 bis 3 mm als Minimum angenommen werden. Ein Schwindmaß von 1,8 bis 2,3 % hat zur Folge, dass Aushebeschrägen mindestens 1,5° pro Seite betragen sollten.

Hervorzuheben sind zum einen CuZn39Pb1Al-C („Olkusil“), welches eine gute Zerspanbarkeit und Korrosionsbeständigkeit gegen Trink- und Brauchwasser aufweist und zum anderen die Sondermessinglegierung CuZn16Si4-C („Tombasil“), welche eine deutlich verbesserte Korrosionsbeständigkeit bis hin zur Seewasserbeständigkeit besitzt.

DIN EN 1982 ist die Norm für Bauteile aus Kupfer-Zink-Gusswerkstoffen (Messing). Die Eigenschaften der Kupfer-Zink-Druckgusslegierungen sind in **Tabelle 7** zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 7: Werkstoffeigenschaften der Messing-Druckgusslegierungen (informative Mindestwerte)

Werkstoffbezeichnung			mechanische Eigenschaften RT-Zugversuch			
Legierungsgruppe	chemische Symbole	numerisch	Zugfestigkeit R _m [MPa]	Dehngrenze R _{p0,2} [MPa]	Bruchdehnung A [%]	Härte [HBW]
CuZnPb	CuZn33Pb2Si-C	CC751S	470	310	3	150
	CuZn35Pb2Al-C ¹⁾	CC752S	330	250	1,5	110
	CuZn39Pb1Al-C	CC754S	350	250	3	110
	CuZn39Pb1AlB-C	CC755S	310	210	3	100
	CuZn39Pb1Al-C	CC757S	310	270	1	120
CuZnSi	CuZn16Si4-C	CC761S	500	340	5	190
andere CuZn	CuZn25Al5Mn4Fe3-C	CC762S	680	580	1	190
	CuZn32Al2Mn2Fe1-C	CC763S	450	340	3	110

ANMERKUNG 1: Die Werte sind als bauteilabhängige Richtwerte anzusehen und stellen keine verbindlichen Eigenschaftszusagen dar.

3 Gestaltung

3.1 Formteilung und Anguss

3.1.1 Formteilung

Die Formteilung ist bestimmend für die Kosten und die Gießbarkeit des Gussstücks und muss mit dem Gießer abgestimmt werden. Folgende Kriterien sind zu beachten:

- einfache ebene Formteilung
- Bohrungen und Durchbrüche in Entformungsrichtung, Hinterschnitte vermeiden
- Formhälfte mit Schrumpfpfarten als Hälfte für die Auswerfer nutzen
- Geometrien, die zu Formteilungssprüngen führen, vermeiden
- maschinelle Entgratbarkeit

Das Druckgussstück muss so gestaltet sein, dass es beim Öffnen der Druckgießform zuverlässig in der beweglichen Formhälfte (Auswerferseite) verbleibt, d. h. auf dieser Seite stärker aufschumpft. Bei Gussstücken, die sich von einem Zwischenboden nach beiden Seiten gleichmäßig aufbauen, wird man durch unterschiedliche Aushebeschrägen die erforderlichen Spannungen herbeiführen, siehe **Bild 3**.

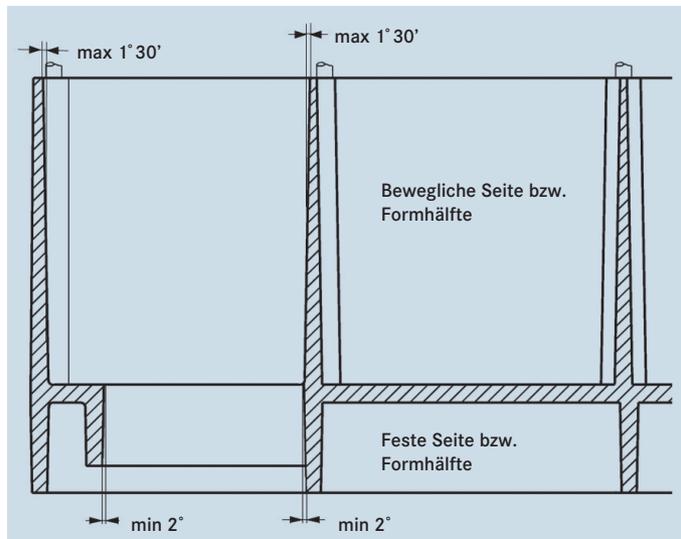


Bild 3: Druckgussstück mit Zwischenboden – Festlegung der Aushebeschrägen für die bewegliche bzw. feste Formhälfte

3.1.2 Anschnittlage

Die Lage des Anschnittsystems ist entscheidend für die Qualität des Gussstücks. Daher muss die Formteilung so ausgelegt werden, dass das Gussstück strömungstechnisch optimal angeschnitten wird. Der berechnete „Anschnittquerschnitt“ ist bauteil- und werkstoffabhängig. Die übliche Anschnittdicke beträgt bei:

- Aluminium 1–5 mm
- Zink 0,5–2 mm
- Magnesium 0,8–3 mm

Folgende Kriterien sind zu beachten:

- Im Bereich des Anschnittes sind keine Radien möglich (ebene Fläche).
- Möglichst keine Sichtfläche in den Anschnittbereich (Nacharbeit) legen.
- Im anschnittnahen Bereich befindet sich das beste Gefüge mit den besten mechanischen Eigenschaften.
- Der Werkzeugverschleiß im Bereich des Anschnittes ist erhöht (raue Oberflächen).
- Der Anschnitt muss für den Gießer leicht zu entfernen sein.
- Der Anschnitt sollte so ausgelegt werden, dass möglichst alle Fließwege im Gussstück gleich lang sind.
- Die dickwandigen Bereiche sollten anschnittnah liegen, damit eine optimale Speisung und Erstarrung möglich ist.

Oft muss zwischen den Forderungen des Kunden und der Formauslegung ein Kompromiss gefunden werden, der aber zu Einschränkungen in den Bauteileigenschaften führen kann.

3 Gestaltung

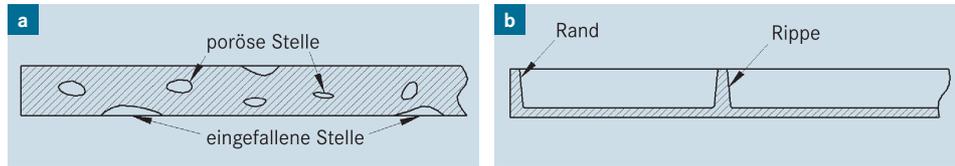


Bild 4: Auflösen dicker Wände bei großen Flächen in dünnwandige Rippenkonstruktionen: (a) ungünstig, da Poren und Lunker wegen dicker Wandung auftreten; (b) günstig, da gleichmäßige geringere Wanddicke und Steifigkeit durch Verrippung

3.2 Wanddicken und Übergänge

Druckguss kann sehr dünnwandig konstruiert werden; dabei sind möglichst gleichmäßige Wanddicken anzustreben. Der Konstrukteur kann sich an folgende Richtwerte für gut herstellbare Wanddicken halten, die in Relation zur Bauteilgröße stehen müssen:

- für Aluminiumlegierungen ab 0,8 bis 3 mm
- für Zinklegierungen ab 0,3 bis 2 mm
- für Magnesiumlegierungen ab 0,7 bis 3 mm

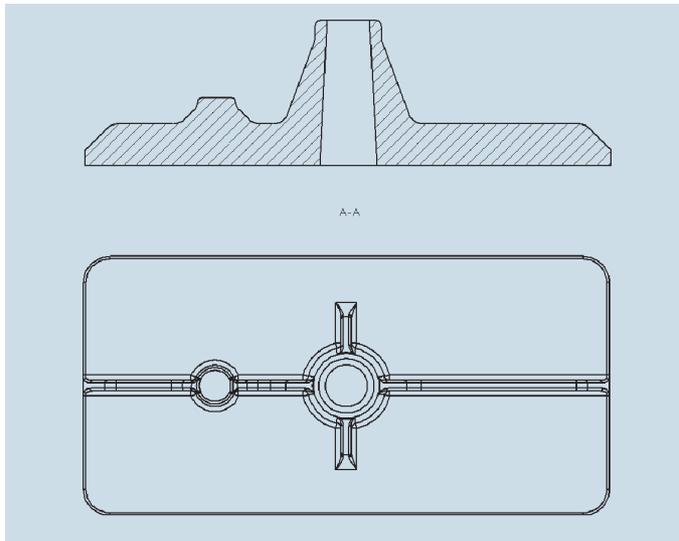


Bild 5: Verrippung als Stütze

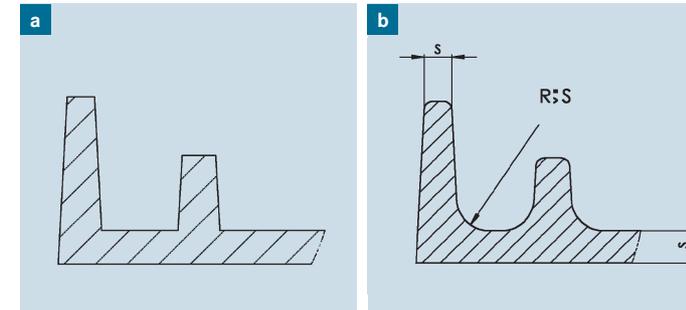


Bild 6: (a) Teil ohne Verrundung, ungünstige scharfe Übergänge (Kerbwirkung!), (b) Teil mit Verrundungen, nur im Bereich der Formtrennung scharfkantig

Kleine Wanddicken können zu folgenden Problemen führen:

- Unebenheit
- nicht gleichförmiges Ausfließen von Metall
- Durchdrücken von Konturen (Rippen, Auswerfer) oder Einfallstellen

Große Wanddicken können zu folgenden Problemen führen:

- Porositäten (Erstarrungslunker)
- Überhitzung der Form (verlängerte Zykluszeiten, reduzierte Formstandzeiten, Auswaschungen)
- Verzug der Gussstücke

Folgende Hinweise sind zu beachten:

- Dickere Wandungen lassen sich oft in dünnwandige Rippenkonstruktionen auflösen, was nicht nur eine Materialeinsparung, sondern auch ein besseres Gefüge und höhere spezifische Festigkeit und damit eine höhere Gestaltsfestigkeit gewährleistet (**Bilder 4** und **5**).
- Die Wanddicke sollte sich möglichst vom Anguss zum Gussstückende hin verjüngen, Knoten (Materialanhäufungen) sind zu vermeiden.
- Übergänge sollten fließend erfolgen und in den Ecken ausgerundet werden. Die Ausbildung solcher Übergänge und Hohlkehlen ist in **Bild 6** a und b skizziert.
- Große ebene Flächen werden besser gefüllt, wenn diese nicht glatt und eben ausgeführt werden, sondern eine Oberflächenstruktur erhalten.

3.3 Aushebeschrägen und Auswerferaugen

Die rasche Erstarrung des Metalls und die sofort danach einsetzende Schrumpfung verlangen je nach Druckgießwerkstoff, Stückgröße sowie Lage der aufschumpfenden Flächen mehr oder weniger große Aushebeschrägen, um die Abgüsse bei der Unnachgiebigkeit der Stahlkerne fehlerlos aus der Form entnehmen zu können. In eng begrenztem Umfang und nach Abstimmung mit dem Gießer kann vereinzelt mit 0° Aushebeschräge gegossen werden. Anwendung findet dies z.B. bei Lagersitzen oder Zentrierstiften. In **Tabelle 8.1** und **8.2** sind die Minimal- und Richtwerte dafür zusammengestellt.

Tabelle 8.1: Werkstoffabhängige Minimalwerte für lokale Aushebeschrägen im Druckguss

Werkstoffgruppe	Außenflächen	Mindestneigung für Innenflächen *)	
		bei beweglichem Kern	bei festem Kern
Aluminium	0,5°	0,5°	0,75°
Zink	0 - 0,5 °	0 - 0,5 °	0 - 0,5°
Magnesium	0,5°	0,5°	0,75°
Kupfer	1°	1,5°	1,5°

* Bis zu einer Kernbreite von 100 mm je Fläche zulässig

Tabelle 8.2: Werkstoffabhängige Richtwerte für allgemeine Aushebeschrägen im Druckguss

Werkstoffgruppe	Außenflächen	Mindestneigung für Innenflächen *)	
		bei beweglichem Kern	bei festem Kern
Aluminium	0,7 - 1°	0,7 - 1°	1,5 - 2°
Zink	0,5 - 1°	0,5 - 1°	0,5 - 1°
Magnesium	0,5 - 1°	0,5 - 1°	0,75 - 1,5°
Kupfer	1 - 2,5°	1,5 - 2°	1,5 - 3°

* Bis zu einer Kernbreite von 100 mm je Fläche zulässig

Bei Mehrfachkavitäten (Gießtrauben) sind Außenflächen, je nach Schwindungsrichtung, wie Innenflächen auszulegen. Die Entformbarkeit ist durch spezielle Beschichtungen (TiN, Al₂O_x, PVD u.a.) und durch reduzierte Rauhtiefe bzw. verbesserte Oberflächengüte optimierbar.

Minimale Aushebeschrägen sollen wegen der Prozesssicherheit auf Funktionsflächen wie Verschraubungsauflagen, Positionierhilfen und fertig gegossene Gewindekerne beschränkt bleiben.

Individuelle Geometrien und Werkstoffe erfordern die Bewertung eines erfahrenen Gießereibetriebes und /oder Absicherung durch Schwindungs- und Erstarrungssimulation.

Für Innenflächen, die durch einen festen Kern gebildet und mittels Auswerfer aus der Form gedrückt werden, sind größere Verjüngungen erforderlich, als wenn der Formkern bei geschlossener Form gezogen werden kann, siehe **Bild 7**.

Zu geringe Aushebeschrägen führen zu:

- Nichtentformbarkeit der Gussstücke (nicht herstellbar!)
- Schabstellen bei der Entformung
- Verformung von Teilepartien (Unebenheit, Verbiegung, Verzug)
- einem erhöhten Bedarf an Formtrennmittel und damit Porositäten
- Gefahr von Rissen bzw. Ausbrüchen
- mehr Auswerfer notwendig (Gratbildung)

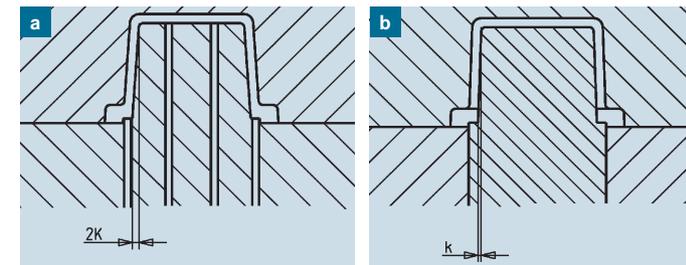


Bild 7: Aushebeschrägen bei (a) festem und (b) beweglichem Kern

3 Gestaltung

Grundsätzlich sollen die Schrumpfkräfte (Haltekräfte) in der beweglichen Formhälfte größer sein als in der festen Formhälfte. Die Teile werden dann mit Auswerferstiften aus der Form gedrückt. Auswerfer sind Verschleißteile. Mögliche Ausführungen für Auswerfer sind in **Bild 8** dargestellt. Folgendes ist zu beachten:

- Kleine Auswerfer brechen oft.
- Auswerfer so legen, dass diese entgratet werden können (Gleitschleifen, Strahlen)
- Auswerferdome (**Bild 9 a, b**), damit der Auswerfer nicht durch das Teil drückt
- Auswerfer an Stellen mit hohen Schrumpfkraften anlegen
- Wenn möglich, Auswerfer für Druckgießwerkzeuge nach DIN 1530, Teil 1-3 vorsehen (Sonderauswerfer = erhöhte Kosten)
- Reparaturdurchmesser für Auswerferdome berücksichtigen
- Auswerferabdrücke am Teil vertieft oder erhaben anlegen
- Auswerferaugen müssen bis zum Boden des Gussstückes durchgezogen werden, um Hinterschnidungen zu vermeiden.

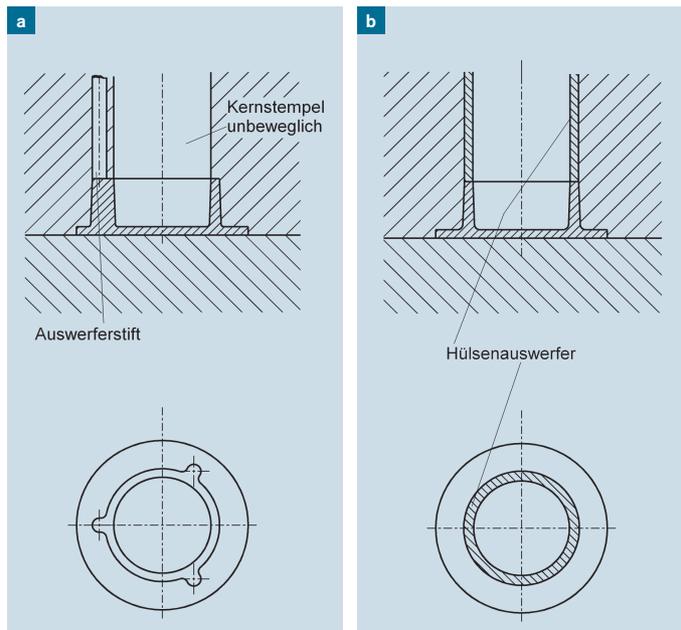
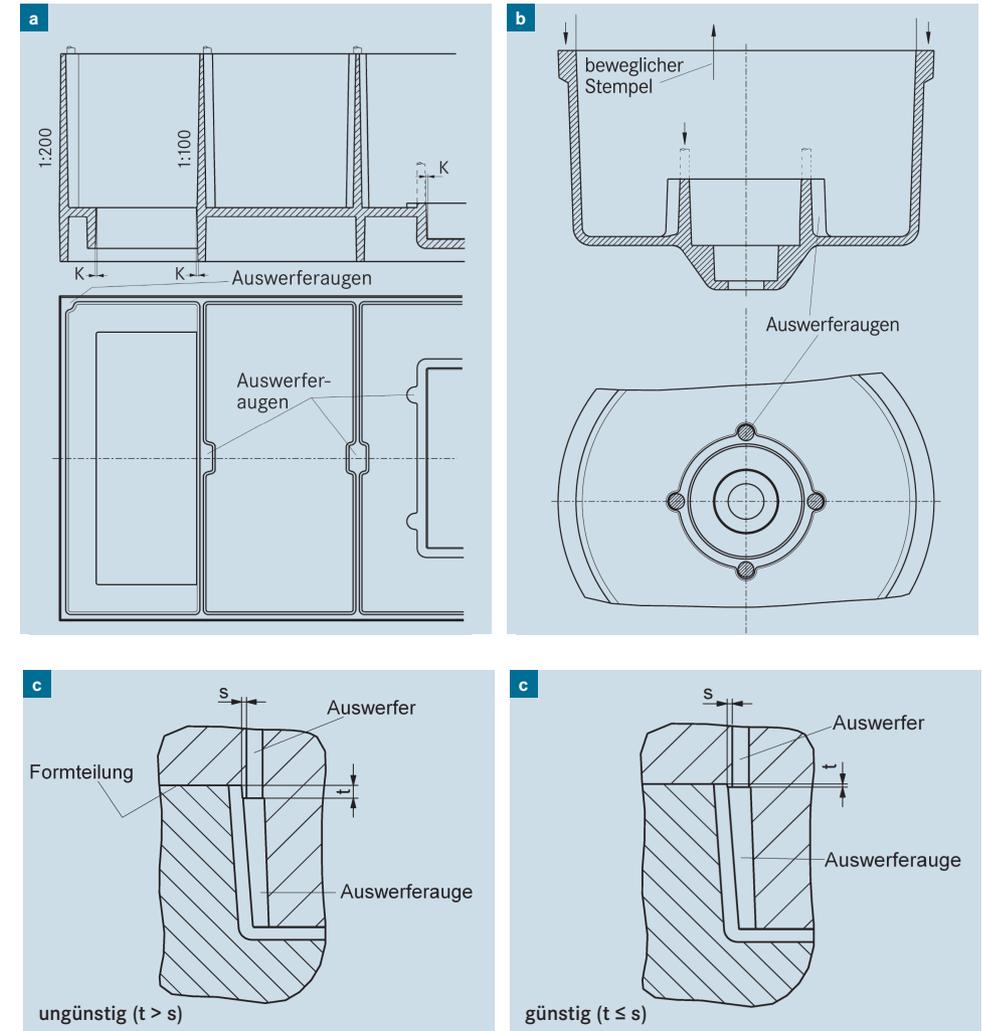


Bild 8: Ausführungsvarianten für Auswerfer

- Eine Abstufung zum oberen Rand darf nicht zu einer Schwächung der verschleißbeanspruchten Kernpartien führen, siehe **Bild 9 c, d**.

Bei der Festlegung der Auswerfer sollte der Konstrukteur sich frühzeitig mit der Gießerei in Verbindung setzen. Es müssen sowohl Aspekte zur Funktionalität des Gussstückes wie auch der Druckgießform berücksichtigt werden.

Bild 9: Auswerferaugen (a) an Ecken und Rippen, (b) an Bohrungen, (c) und (d) bei abgestuften Rand



3.4 Bohrungen und Durchbrüche

Das Vor- oder Fertiggießen von Bohrungen ist ein wesentlicher Vorzug des Druckgießverfahrens. Dabei genügt eine geringe Konizität (von der Gusslegung abhängig), die meist durch einfaches Nachreiben auf das Nennmaß beseitigt werden kann, sofern sie bei der Montage überhaupt stört. Die **Tabelle 9** gibt Richtwerte für eingegossene Bohrungen (Minimalwerte). Bei dünnen Kernen ist wegen der auftretenden Schrumpfkkräfte das Verhältnis von Durchmesser zu Länge einer Bohrung wichtig. Durchgehende Löcher sind günstig, da sie eine beidseitige Führung der Kerne in der Druckgießform zulassen. Besonders bei dünnen Bohrungen muss eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigen, ob der Einsatz dünner Kerne sinnvoll ist oder ob besser Körner angegossen und die Bohrungen mechanisch hergestellt werden.

Bei kleinem Kerndurchmesser kann wegen der besseren Stabilität des Kernes auch eine Abstufung im Bohrungsdurchmesser sinnvoll sein. Kritische Schrumpfkkräfte bei großen Lochabständen und schwachem Kern fängt man zweckmäßig durch Anordnung von „Stützflächen“ zwischen diesen Bohrungen ab.

Durch die Zunahme immer komplexerer Druckgussteile mit einer Vielzahl an Bohrungen und Durchbrüchen wird es zunehmend schwieriger, den Anschnitt gießtechnisch optimal auszulegen.

Tabelle 9: Richtwerte für das Durchmesser-Längenverhältnis eingegossener Bohrungen (Minimalwerte)				
	Aluminium	Zink	Magnesium	Kupfer
Mindest-Durchmesser	2,5 mm	0,8 mm	2,0 mm	4,0 mm
max. Länge durchgehend	5 * d	8 * d	5 * d	3 * d
max. Länge für Sackloch	3 * d	4 * d	3 * d	2 * d
Aushebeschräge	1,5 °	1 °	1,5 °	2,5 °

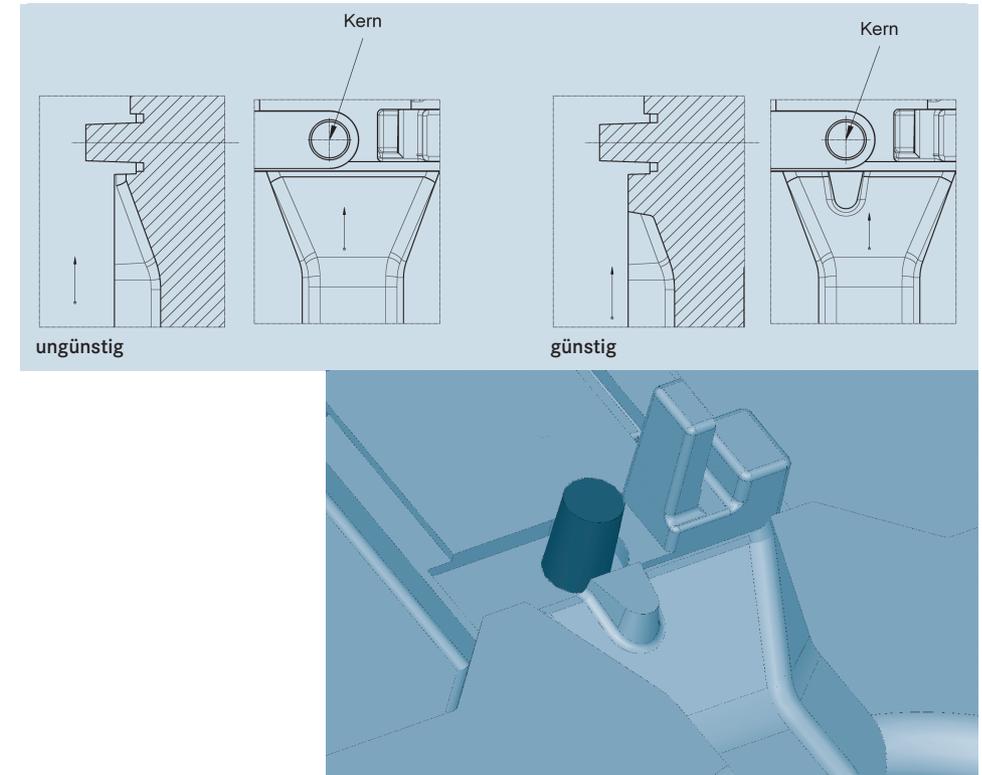


Bild 10: Anschnittgestaltungsmöglichkeiten

Daher sollte bereits in der Entwicklungsphase des Bauteils der erforderliche Angussbereich berücksichtigt werden, um eine Positionierung der Bohrkern im Anschnittbereich zu vermeiden. Nur selten gibt es, wie in **Bild 10** dargestellt, die Möglichkeit, sich so elegant zu helfen und das direkte Anströmen eines Kernes zu verhindern.

Wenn mehrere Bohrungen eines Gussstücks fluchten oder in einem genau tolerierten Abstand zueinander liegen, müssen die Kerne für diese Bohrungen in eine Formhälfte kommen oder zusätzlich auf der Gegenseite geführt werden.

3 Gestaltung

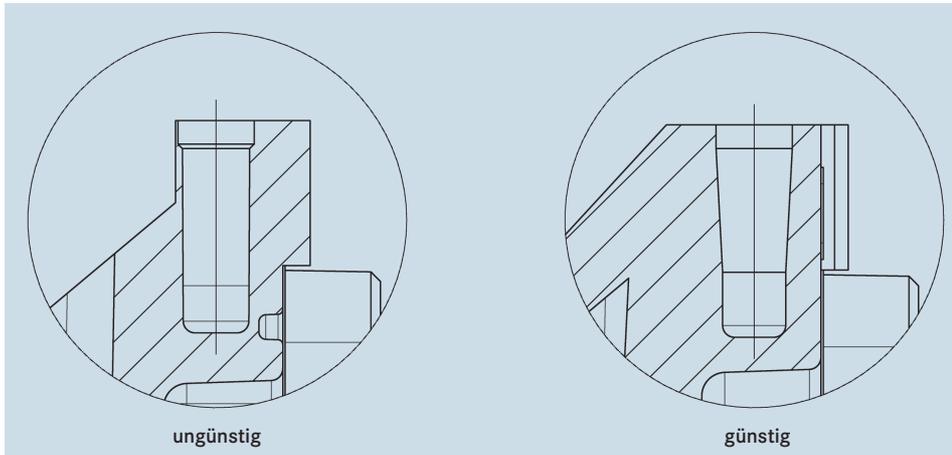


Bild 11: Drosselung des Metallflusses durch zu schmalen Übergang

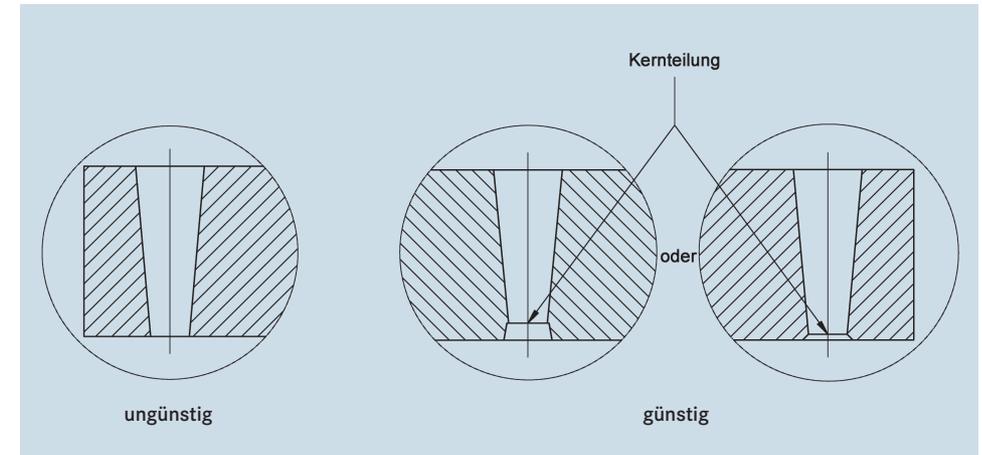
Aus gießtechnischen Gründen ist zu prüfen, ob durch Bohrkernkerne kritische Einschnürungen entstehen. Die dadurch bedingte Drosselung des Metallflusses, wie in **Bild 11** dargestellt, kann zu einem fehlerhaften Guss führen.

Bei sehr verwickelten Gussstücken mit mehreren quer zueinander laufenden oder gekrümmten Bohrungen ist eine vorherige Abstimmung mit der Druckgießerei ratsam. Da Einbau und Steuerung sich kreuzender Kerne die Druckgießform kompliziert und störungsanfällig machen, wurden bei Druckgussstücken schon öfter durch das Eingießen geschweißter Stahlrohrsysteme günstigere Lösungen erzielt.

Die Teilung der Kerne und der Durchbrüche sollte so gestaltet werden, dass eine unproblematische Schnittentgratung erfolgen kann, ohne die Kontur des Druckgussstücks zu beschädigen, siehe **Bild 12**.

3.5 Kerne

Mit Kernen können unter anderem Durchgangsbohrungen (fertig gegossen oder mit Bearbeitungszugabe), Langlöcher und Sacklöcher (für Gewinde) hergestellt werden. Eine spezielle Form des Kerns sind Profilkern, die z. B. eine dreieckige Geometrie im Gussstück bilden können. Kerne können eingesetzt sein oder mit dem Einsatz aus einem Stück gefertigt werden, siehe **Bild 13**. Um geringe Toleranzen mit Kernen halten zu können,



werden sogenannte Trimmkerne eingesetzt. Diese werden zuerst entsprechend ihrer Ausführung kleiner (eingesetzte Kerne) oder größer (Kerne aus dem Vollen) hergestellt und nach dem ersten Gießen auf das zu bildende Maß getrimmt.

Bild 12: Teilungsmöglichkeit der Kerne

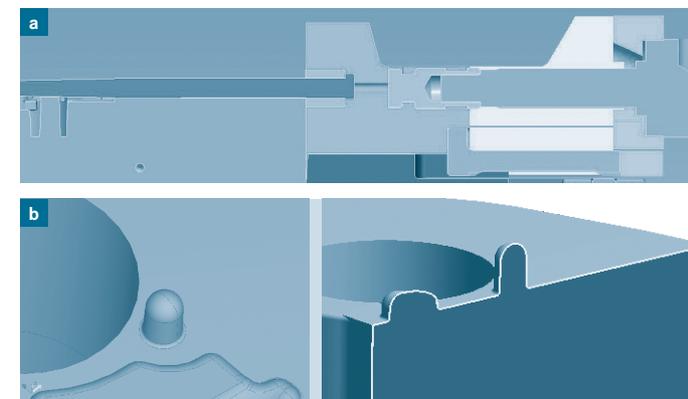


Bild 13: Ausführung von Kernen
(a) Kern als Einsatz
(b) Kern aus einem Stück

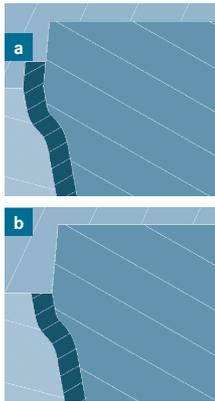


Bild 14: Beispiele für Gussteilkonstruktionen:
(a) mit Hinterschnitt – nicht entformbar
(b) ohne Hinterschnitt – gut entformbar

Folgende Hinweise sind zu beachten:

- Kerne können in der beweglichen und in der festen Seite angeordnet sein. Sie müssen so ausgeführt werden, dass das Gussstück in der beweglichen Formhälfte (Auswerferseite) gehalten wird.
- Üblicherweise werden Kerne zur Hälfte oder im Verhältnis ein Drittel zu zwei Drittel geteilt, wobei ein Drittel in der festen Seite und zwei Drittel in der beweglichen Seite angeordnet werden.
- Kerne können zur Überwindung der Schrumpfkkräfte vor dem Öffnen oder vor dem Auswerfen der Teile vorgezogen werden. Dabei wird nur ein sehr geringer Weg benötigt.

3.6 Hinterschnidungen

Generell sollten vom Gussteilkonstrukteur Konturen vermieden werden, die beim Entformen eine Hinterschneidung bilden und somit nur kompliziert oder gar nicht entformbar sind, siehe **Bild 14**.

Sollte dies nicht möglich sein, besteht die Möglichkeit, sehr aufwändige geteilte Schieber in der Form einzusetzen, siehe **Bild 15a**. In **Bild 15b** wurde die Kontur, die eine bestimmte Geometrie erfüllen muss, überarbeitet, um den Einsatz eines geteilten Kernes zu vermeiden.

Komplizierte Bauelemente mit nicht formbaren Hohlräumen lassen sich vielfach in zwei einfache Gussstücke unterteilen, die anschließend zusammengefügt werden müssen.

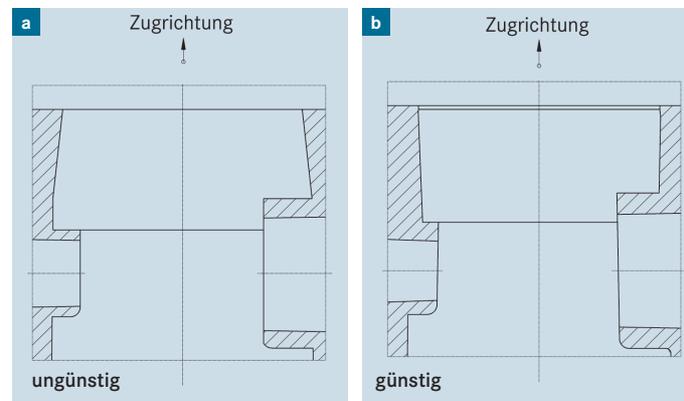


Bild 15 a: Kontur mit Hinterschnitt – erfordert den Einsatz geteilter Schieber

Bild 15 b: Kontur ohne Hinterschnitt

3.7 Schieber

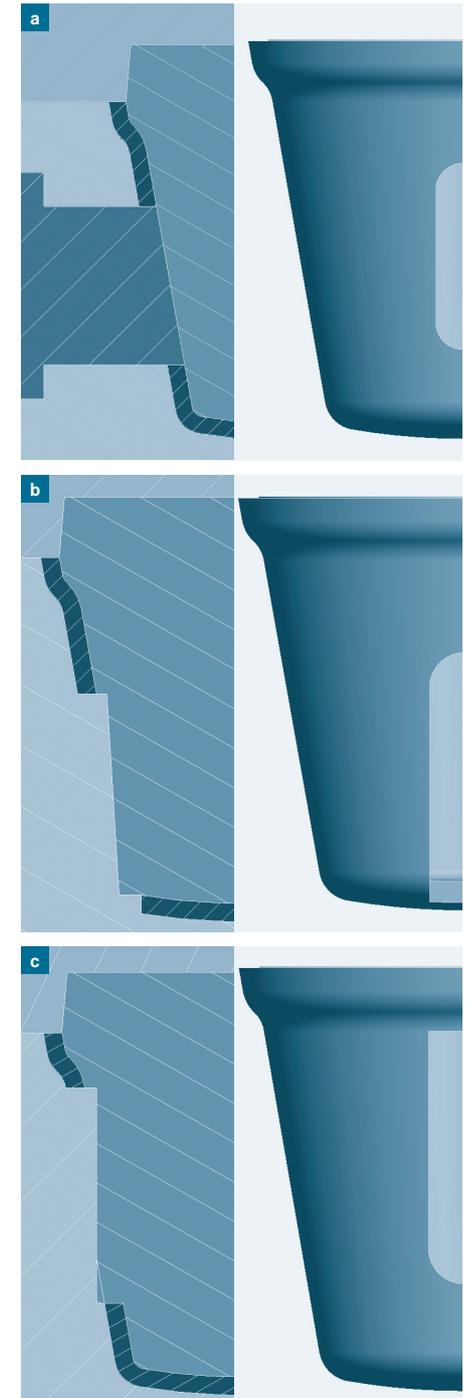
Ein Bauteil sollte möglichst ohne Hinterschnitte entwickelt werden, vergleiche **Bilder 14** und **15**. Da dies geometrie- oder funktionsbedingt nicht immer möglich ist, sind diese Hinterschnitte mit Schiebern zu bilden. Schieber sind Bewegungselemente, die möglichst parallel zur Hauptteilungsebene liegen sollten.

Folgende Hinweise sind zu beachten:

- Schieber können hydraulisch oder mechanisch bewegt werden.
- Seitliche Schieber können in der Druckgießform nur dann beliebig angeordnet werden, wenn genügend Platz für Schieberführungen und den Aufbau der Hydraulikzylinder vorhanden ist.
- Schieber sind möglichst in der beweglichen Seite der Form anzuordnen.
- Die Genauigkeit eines Hinterschnittes ist dann am größten, wenn die Bezugsebene und die Hinterschneidung auf einer Seite liegen.
- Geteilte Schieber (Schleppschieber) sind störanfällig und nach Möglichkeit zu vermeiden.
- Schieber können auch auf einer kreisförmigen Bahn entformt werden.

Bild 16 zeigt ein Beispiel zur Vereinfachung des Formaufbaus und zur Vermeidung von seitlichen Schiebern in oder parallel zur Formteilung (bzw. hinter dieser). Die seitlichen Schlitz an einem Staubsaugergehäuse wurden so ausgebildet, dass (wechselweise) die „Fenster“ von entsprechenden Einsätzen der Inguss-Formhälfte von unten (b) und vom senkrecht zur Formteilung laufenden Mittelkern von oben (c) gebildet wurden.

Bild 16: Konstruktionsbeispiele zum Vermeiden von Schiebern: (a) ursprüngliche Konstruktion mit Schieber, (b) und (c) Lösungsvorschläge ohne seitliche Schieber



3.8 Partielle Nachverdichtung

Das partielle Nachverdichten (Squeezing-Verfahren) dient zur Nachspeisung von dickwandigen Bauteilgeometrien. Die bei der Erstarrung eintretende Volumenschwindung wird durch einen zeit- und geschwindigkeitsgesteuerten Squeezing-Kern verringert und somit das Gefüge des Gusstücks verbessert.

3.9 Entlüftung

Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Gasporen, die in Druckgussteilen auftreten und zu unterscheiden sind:

- Gasporen, die dadurch entstehen, dass während der Formfüllung im Formhohlraum vorhandene Luft nicht entweichen kann und im Gusstück eingeschlossen wird (Lufteinschlüsse) sowie
- Gasporen, die sich während der Erstarrung durch Ausscheidung von Wasserstoff bilden (Wasserstoffporosität).

Die wasserstoffbedingte Porosität kann nur durch eine geeignete Schmelzebehandlung beseitigt werden.

Die in der Gießform eingeschlossene Luft muss während der kurzen Formfüllzeitspanne entweichen können, um den Aufbau eines pneumatischen Gegendrucks zu vermeiden. Die Entstehung von Luftporen kann durch eine Optimierung des Anschnittsystems und/ oder durch eine geeignete Formentlüftung minimiert werden.

Zur Verbesserung der *Formentlüftung* bestehen folgende Möglichkeiten:

- 1) Optimierung des *Formaufbaus* durch folgende einfache aber wirksame Maßnahmen:
 - a. Abführung der Luft über einzelne Trenn- und Passflächen der einzelnen Formenbauteile. Hierzu kann es nötig sein, in der Teilungsebene flache Entlüftungskanäle vorzusehen. Ausführung: ca. 0,1 mm tief, der Querschnitt sollte ca. 50 % des Anschnittquerschnitts betragen.
 - b. Feste Formeinsätze und Formkerne: Diese sind mit einem Passungs-spiel von ca. 0,03 mm herzustellen. Hinter der Passfläche ist ein Einstich vorzusehen, in dem sich die Luft sammeln kann. Ein zweiter Einstich wird am Kernschaft angebracht und über Anflüchungen mit dem ersten Einstich verbunden, so dass der Presssitz des Kerns gewährleistet bleibt.
 - c. Auswerferstifte: Sie sind mit einem Passungs-spiel von nicht mehr als ca. 0,03 mm auszuführen.
 - d. Bewegliche Kerne: Sie sind mit einem Passungs-spiel von ca. 0,05 – 0,1 mm auszuführen.

- 2) Anbringen von sogenannten Überläufen (auch als Luftsäcke oder Luftbohlen bezeichnet). Sie dienen zur gezielten Formentlüftung, um die durch Verwirbelung und Schaumbildung verunreinigte Schmelze, die Luft, Gießgase oder Trennmittel enthält, aufzufangen und aus dem Hohlraum abzuführen. Diese Überläufe werden in der Auswerferseite angebracht, die als kleine Ausfräsungen in der Formplatte am Rand des Formhohlraums ausgeführt werden. Vor allem die Metallströmung zu Beginn des Schusses neigt zur Lufteinwirbelung, Verschäumung und Aufnahme von Trennmittelresten. Aus diesem Grund werden Überläufe vor allem dort vorgesehen, wo diese Anfangsströmung auf die Formwand aufprallt und somit möglichst schnell abgeführt werden kann. Von den Überläufen sind Entlüftungskanäle zur Außenkante der Form anzulegen. Wichtig: Das Füllen der Überläufe soll erst kurz vor Beendigung der Formfüllung abgeschlossen sein. Dies erfordert evtl. eine nachträgliche Vergrößerung der Überläufe. Überläufe können auch dazu dienen, die Metallströmung im Formhohlraum bei sehr dünnwandigen Gussteilen in Bewegung zu halten und eine frühzeitige Erstarrung zu unterbinden (hierzu besser mehrere kleine getrennte Überläufe als einen großen gemeinsamen verwenden). Durch Verbindungsstege zwischen den Überläufen kann die Steifigkeit des Abgusses beim Auswerfen verbessert werden.

- 3) Anbringen von Entlüftungsblöcken

- 4) Vakuum-Druckguss: Diese Verfahrensvariante stellt die einwandfreie Schweiß- und Wärmebehandelbarkeit der Gussteile sicher. Im Vakuum-Druckguss können grundsätzlich alle für den Druckguss geeigneten Legierungen gegossen werden.

3.10 Schweißbeignung von Druckguss

Die bedingte Schweißbarkeit von Druckgussteilen wird durch die im konventionellen Druckguss praktisch nicht zu vermeidenden gasbedingten Poren und den im festen Metall gelösten Wasserstoff verursacht. Bei einer druckgießtechnisch optimalen Gusstückgestaltung und ggf. durch Anwendung von Sonderverfahren lassen sich ein sehr dichtes, sauberes und gasporenarmes Gefüge im Schweißbereich erzielen und gute Schweißverbindungen mit Schutzgas-Schweißverfahren herstellen.

Nach Anwendung einer Schmelzereinigungsbehandlung, einer optimalen Anschnittgestaltung und Entlüftungstechnik sowie durch Anwendung der Vakuumgießtechnik ist es möglich, sehr gut schweißbare Druckgussbauteile zu fertigen. Mit diesen Voraussetzungen wird sichergestellt, dass die beim

Schweißen störenden eingeschlossenen und gelösten Gase nur in geringen Gehalten vorliegen. Die konsequente Anwendung der genannten Vorgaben erzeugt die weitgehende Porenfreiheit in vorher festgelegten Bereichen. Nur in diesen Bereichen kann die Schweißbarkeit sichergestellt werden. Die Konstruktion von Bauteil und Form ist entsprechend abzustimmen.

3.11 Wärmebehandelbarkeit von Druckguss

Im konventionellen Druckguss gefertigte Gussstücke gelten als nicht wärmebehandelbar. Die im Gussstück gelösten oder als Poren vorliegenden Gase dehnen sich bei den zur Wärmebehandlung erforderlichen höheren Temperaturen aus und bilden Blasen, die nicht nur die Maßhaltigkeit, sondern auch die Festigkeit deutlich herabsetzen.

Durch Einsatz des Vakuumdruckgusses lässt sich eine sehr gute Wärmebehandelbarkeit in Serie gefertigter Druckgussstücke sicherstellen.

Mit Hilfe einer Wärmebehandlung können Bauteileigenschaften, z. B. die Festigkeit oder die Bruchdehnung, gezielt eingestellt bzw. gesteigert werden. Es ist möglich, durch eine Auslagerungsbehandlung unerwünschte Spannungen im Gussstück abzubauen, welche von zu schneller Erstarrung in der Form oder zu schroffem Abschrecken nach dem Gießen herrühren können. (Wärmebehandlungszustände siehe [Tabelle 4a.](#))

Folgende Punkte zur Wärmebehandlung von Druckgussstücken sind zu beachten:

- Nur bestimmte Aluminiumlegierungen werden wärmebehandelt.
- Die Wärmebehandlung, insbesondere die T6-Behandlung, erhöht die Gussstückkosten.
- Eine Wärmebehandlung kann zum Verzug der Gussstücke führen.

3.12 Gewinde und Verzahnungen

Das Druckgießverfahren ermöglicht die Fertigung einbaufähiger Teile durch Einhaltung besonders enger Toleranzen. Gewinde können teilweise direkt gegossen werden.

Nachfolgend aufgeführte Details sind zu beachten:

3.12.1 Gegossene Gewinde

- Gegossene Außengewinde können in engen Toleranzen gefertigt werden. Folgende Toleranzen können als Richtwert im Druckguss eingehalten werden (siehe auch Kapitel Toleranzen):
 - > Aluminiumdruckguss (Richtwert: h11)
 - > Zinkdruckguss (Richtwert: h9)
 - > Magnesiumdruckguss (Richtwert: h10)
- Neben der Fertigungstoleranz ist die notwendige Aushebeschräge (Konizität) zu beachten.
- Gewinde können im Zinkdruckguss am genauesten gefertigt werden. Die Gewindetoleranzen sind mit den Druckgusstoleranzen abzustimmen.
- Das Gießen von Außengewinden ist grundsätzlich möglich. Man legt das Gewinde mit seiner Achse auf die Formteilung und nimmt die Teilnaht oder geringen Formversatz in Kauf oder flacht das Gewinde im Bereich der Formteilung ab, siehe [Bild 17](#) (vereinfachtes Entgraten).

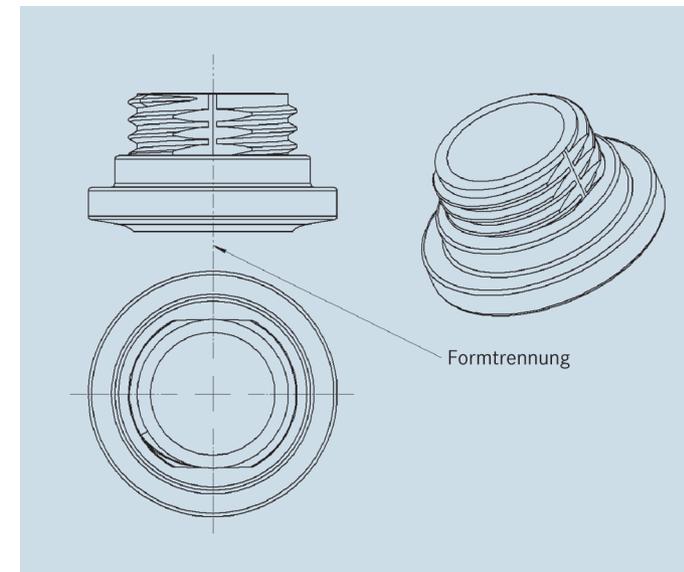
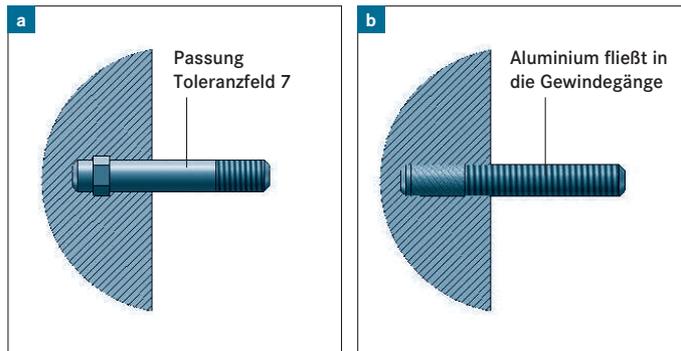


Bild 17: Gewinde in der Formteilung mit Abflachung zur Vermeidung eines Grates

- Kleinere Außengewinde werden oft durch Eingießen von Gewindebolzen gebildet. Die Ausführung solcher Einlagen sollte dann gemäß **Bild 18** erfolgen, damit der Bolzen bei einer Belastung des Gewindes nicht verdreht oder herausgezogen wird und damit während des Gießvorganges kein flüssiges Metall in die Formaufnahme eindringen kann. Oft ist ein nicht durchgehendes Gewinde ausreichend. Zu beachten ist, dass das Eingießteil axial fixiert werden muss.
- Innengewinde werden nur in wenigen Sonderfällen zumeist bei sehr großer Serie gefertigt.

Bild 18: (a) gut gesichert, durch Passung kein Eindringen von Metall möglich
(b) ungenügend gesichert, flüssiges Metall kann in die Gewindegänge eindringen



In vielen Fällen ist es wirtschaftlicher, die Gewinde durch mechanische Bearbeitung herzustellen.

3.12.2 Gewinde durch Bearbeitung des Gussstücks

Häufig werden Gewinde spanend nach dem Gießen gefertigt. Dabei sind folgende Möglichkeiten zu beachten:

- Durchgangsbohrungen können in der Regel bis $2,5 \cdot d$ ohne ein Aufbohren der vorgegossenen Bohrung als Gewinde gefertigt werden.
- Sacklöcher können ebenfalls bis $2,5 \cdot d$ ohne Aufbohren gefertigt werden, allerdings muss das Loch 2 bis 3 Gang über die nutzbare Gewindetiefe hinaus gefertigt werden.

Tabelle 10: Richtwerte für eingegossene Bohrungen	
Gewinde	Toleranz der vorgegossenen Bohrung in mm
M1,6 - M2,6	+ / - 0,02
M3 - M5	+ / - 0,03
darüber	+ / - 0,05

In **Tabelle 10** ist aufgeführt welche Toleranzen bei vorgegossenen Bohrungen notwendig sind, um ohne Vorbohren ein Gewinde zu schneiden. Mit dem Gießer ist abzustimmen, ob im konkreten Anwendungsfall diese Toleranzen gehalten werden können:

- Die Gewinde können durch Spanen oder Formen erzeugt werden. Geformte Gewinde weisen ein besseres Gefüge und eine hohe Tragfähigkeit aus. Es entsteht kein Span und damit keine Notwendigkeit zur Spanabfuhr. Die vorgegossene Bohrung muss genau gefertigt werden. Meist wird die Toleranz des Kerndurchmessers des Gewindes auf die mittlere Tiefe der Bohrung eingeschränkt (geformte Gewinde: siehe DIN 13 Teil 50).
- Selbstschneidende Schrauben können in vorgegossene Bohrungen hervorragend eingebracht werden. Die Kerndurchmesser der Form müssen jedoch genau angepasst werden.
- Mit Mehrspindelmaschinen können günstig Mehrfachgewinde in vorgegossene Bohrungen eingebracht werden.
- Beim Fertigen der Gewinde auf einem Bearbeitungszentrum (gefräste Gewinde) muss mit dem Gießer abgesprochen werden, ob eine Bohrung vorgegossen werden soll.
> Vorteil, wenn vorgegossen wird: weniger Porosität, Fase möglich
> Nachteil: ungenaue Fertigung, da Bohrer unter Umständen nicht parallel zur Bohrungsschse verläuft
- Gegossene Gegensenkungen können einen Formversatz aufweisen.
- Die Vorspannung der Gewinde fällt bei Zinkdruckguss und Magnesiumdruckguss generell durch Fließen des Metalls ab. Beim Aluminiumdruckguss erfolgt der Vorspannungsabfall bei Temperaturen $>175^\circ\text{C}$.

3.12.3 Gewinde erzeugen durch Einbringen von Buchsen

Ein weiteres Verfahren zum Einbringen von Gewinden ist das nachträgliche Einpressen von Gewindeeinsätzen. Diese zeichnen sich durch hervorragende technologische Werte aus.

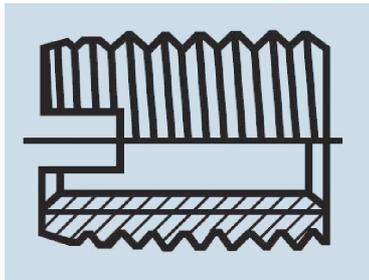


Bild 19: Einsatzbuchse „Ensat“

- Bewährt sind Gewindeeinsätze, die bei vorgegossener Kernbohrung nachträglich in das Gussstück eingearbeitet werden. Für die „Ensat“-Büchse, siehe **Bild 19**, wird gehärteter Stahl verwendet. Beim Eindrehen in eine vorgebohrte oder gegossene gewindelose Bohrung schneidet sie mittels ihrer scharfkantigen Schlitze das Gewinde selbst. Das Eindrehen der Büchse geschieht mit Spezialwerkzeugen.
- Bei dem „Heli-Coil“-Einsatz, siehe **Bild 20**, handelt es sich um eine federnde Spirale aus Chrom-Nickel-Stahl. Die hochfesten, elastischen, sehr glatten Gewindeeinsätze wirken spannungsausgleichend und sichern einen satten Flankenkontakt über die gesamte Einbaulänge; die Festigkeit der Verbindung wird um durchschnittlich 25 bis 30 % gesteigert, sodass vielfach kleinere Einbaulängen oder Durchmesser vorgesehen werden können und in besonderen Fällen eine Verringerung der Wanddicke möglich ist. In vielen Fällen erübrigen sich zusätzliche Schraubensicherungen. Für das Vorschneiden des „Muttergewindes“ sind spezielle Heli-Coil-Gewindebohrer erforderlich. Das Eindrehen der Gewindespirale geschieht wiederum mit einem Spezialwerkzeug.

Bild 20: Gewindeeinsatz „Heli-Coil“

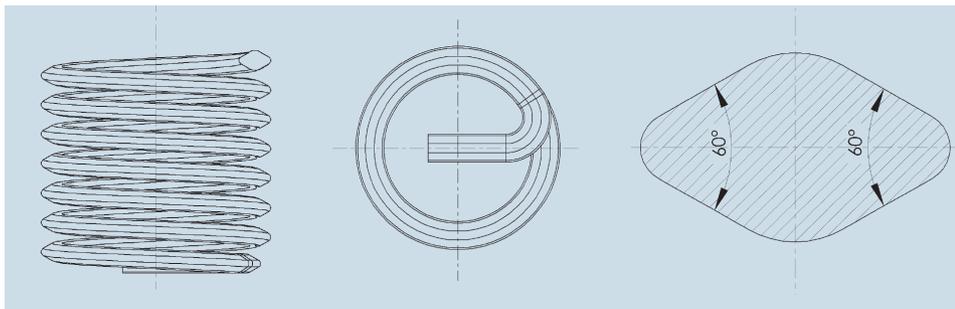


Bild 21: Querschnitt-Gewindefurchende Schraube

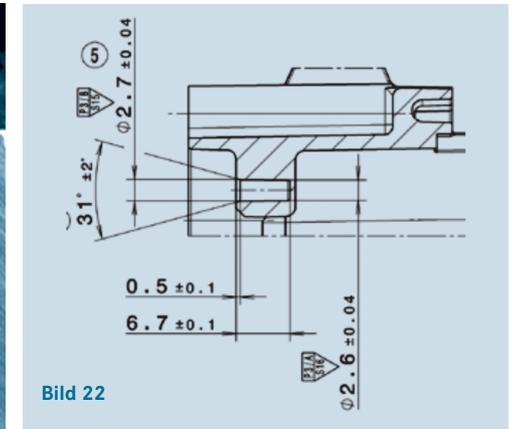


Bild 22

3.12.4 Kernstifte für Gewinde furchende Schrauben

Das Gebot der Wirtschaftlichkeit von Druckgussbauteilen fordert die Reduktion zerspanender Fertigung zugunsten möglichst fertig gegossener Geometrie. So ist der Verzicht auf Bohren und Gewindeschneiden möglich, wenn Schraubverbindungen nach DIN 7500 oder in Anlehnung daran mit gegossenem Kernloch eingesetzt werden können. Das geformte Gewinde zeigt bei ansonsten gleichen Bedingungen deutlich höhere Ausreißkräfte als das geschnittene Gewinde (ca. +20 %). Je nach Schraubenhersteller und Gewindeform der Schraube werden unterschiedliche Kernlöcher mit möglichst engen Toleranzen bei minimaler Formschräge (0,5°) empfohlen. DIN 7500-2 gibt Empfehlungen für die Kernlochauslegung, wobei die Durchmesser als Mittelwert aus Größt- und Kleinmaß des Schraubeneingriffs verstanden werden. Je nach Oberflächenhärte des Werkstoffs und Schraubfall sind die Durchmesser anwendungsbezogen anzupassen und empirisch anhand von Musterreihen im Freigabeprozess zu belegen.

Beispiele für Auslegung und Geometrieangaben zur Definition eines M3-Kernloches im **Bild 22**: Kleinste realisierbare Kernlöcher sind abhängig von der Bauteilgröße und wirksamen Schwindungskräften (**Bild 23**) auf die Kernstifte (in Aluminium minimal M2,5 – M3).

Einführ- und Zentrierhilfen erleichtern den senkrechten Ansatz der Schrauben bei Montage und reduzieren die Bruchneigung der Kerne.

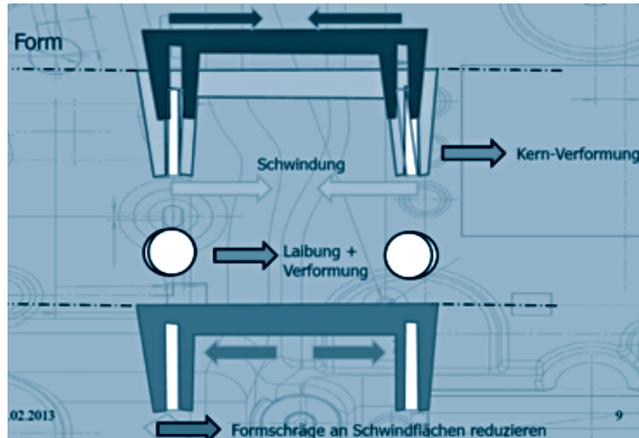


Bild 23: Veranschaulichung der Verformung der Kernstifte durch Schwindung

Stützflächen können die Verformung und den Bruch der Kernstifte im Werkzeug vermeiden (siehe auch 3.4).

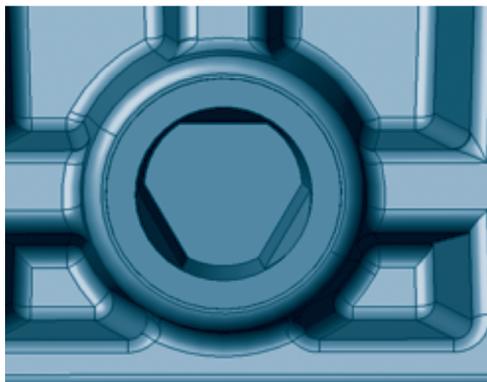
Radien am Bohrungsgrund erleichtern die Entformung.

Eine Beschichtung der Kerne erhöht die Standzeit und reduziert die Neigung zu Al-Anhaftungen und den Verschleiß. Eine kombinierte drehmoment- und drehwinkelüberwachte Schraubautomation gewährleisten die gewünschte Reproduktion der Ergebnisse und Prozesssicherheit.

Bei Erstanzug der Schrauben ist das Furchmoment dem Wirkmoment zu addieren. Bei Folgeanzug entfällt das Furchmoment, so dass gewählte Anzugsmomente auch für diesen Fall zu spezifizieren sind.

Für Sonderfälle mit Anforderung an reduzierte Flächenpressung unter dem Schraubenkopf – zum Beispiel für das Verschrauben von Kunststoffen – sind polygone Kernlöcher, s. **Bild 24**, bei reduziertem Furchmoment einsetzbar.

Bild 24:
Polygonales Kernloch



3.12.5 Verzahnungen

Außen- und Innenverzahnungen können bei Druckguss ebenfalls gegossen werden. Dabei erfordern Innenverzahnungen wegen der Schrumpfung stets eine geringe Konizität (Anzug von 0,1 bis 0,2 mm und darüber) je nach Metallart und Höhe des Zahnkranzes. Sehr oft werden unbearbeitet bleibende Verzahnungen bei Zahnwellen, Typenrädern, Zahnsegmenten usw. gegossen.

Während bei Zinkdruckguss selbst höhere Genauigkeitsansprüche oft ohne Nacharbeit erfüllt werden können, ist bei Leichtmetall- und Kupferlegierungen in einem solchen Fall häufig Nacharbeit notwendig. Bei größerer Zahnbreite kann auch für Außenverzahnungen eine leichte Konizität erforderlich sein.

Richtwerte für die Teilung:

- bei Zinklegierungen Modul = 0,3 und größer
- bei Leichtmetalllegierungen Modul = 0,5 und größer

Eine interessante Kombination von Zinkdruckguss und Kunststoff zeigt **Bild 25**. Bei diesem Zahnrad wird der Nabengrundkörper zur besseren Stabilität aus Zink gefertigt und nachträglich mit Ultramid A für den eigentlichen Zahnkranz umspritzt. Eingegossene Bohrungen in dem Grundkörper dienen zur sicheren Verankerung des angespritzten Kunststoffkranzes.

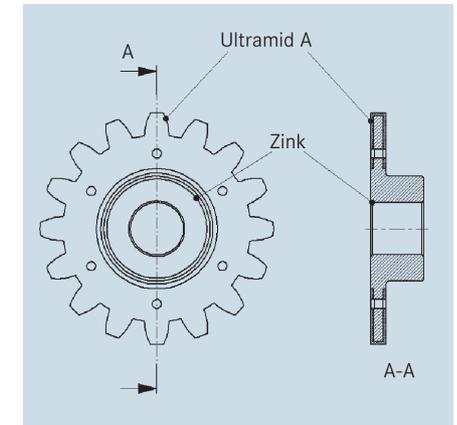


Bild 25: Zweistoff-Zahnrad, Nabengrundkörper Zinkdruckguss mit Kunststoff für den Zahnkranz umspritzt

3.13 Eingieβteile für Mischbauweise

Eingieβteile werden vor allem bei Lagerbuchsen, Stiften, Zapfen, Rohren, Gewindenippeln, Verschluss- und Verstärkungsstücken usw. verwendet. Sie sind dort interessant, wo etwa bestimmte Stellen eines Druckgussstückes besonderen Beanspruchungen ausgesetzt sind, z. B. Angieβen als Isoliermaterial. Weitere Anwendungen sind möglich.

Bei der Verwendung von Eingieβteilen sind grundsätzlich folgende Punkte zu beachten:

- Das Metall muss auf die Buchse, den Bolzen oder die sonstige Einlage aufschumpfen und darf auf keinen Fall vom Eingieβteil in Längsrichtung wegschwinden.
- Die Eingieβteile müssen für die entsprechende Formaufnahme toleriert sein.

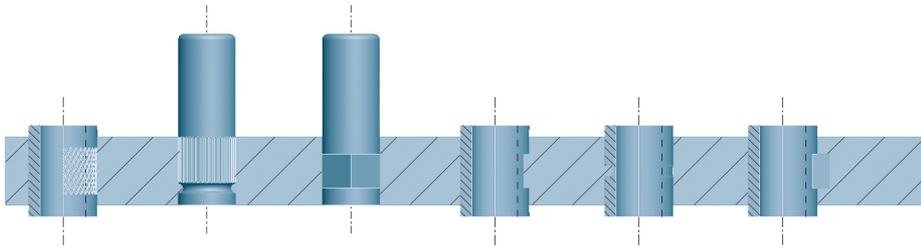


Bild 26: Sichern von Verbund-Einlagen gegen Herausziehen und Verdrehen

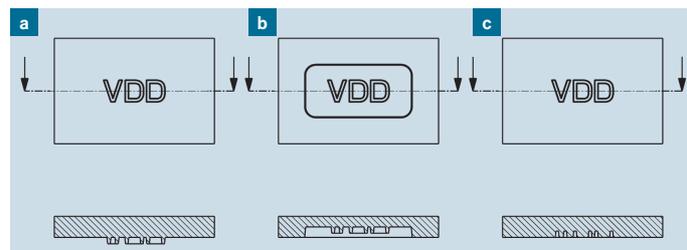
- Eine Sicherung gegen eine Verlagerung durch Erschütterung beim Schließen der Form und den Druck des einströmenden Metalls muss gewährleistet werden.
- Eine Sicherung durch Ausfräsung, Rändelung, Rillen, Bunde, Vierkante usw. gegen Verdrehen oder axiale Lockerung im späteren Betrieb, Bild 22, ist vorzusehen.
- Es muss für eine ausreichende Griffigkeit für leichtes Einführen der Buchsen, Stifte usw. in die heiße Form gesorgt werden.
- Die Gestaltung der Eingieβteile und der Druckgieβform muss so ausgeführt werden, dass ein falsches Einlegen in die Form unmöglich ist.
- Um die Gefahr einer Korrosion zu vermeiden, sind Eingieβteile bei Bedarf mit einem Oberflächenschutz zu versehen.
- Die umschließende Wand des Gussstückes darf nicht zu dünn gestaltet werden, da sonst durch nicht ausgelaufene Stellen oder Schrumpfrisse Ausschuss entsteht.
- Unter Berücksichtigung der Taktzeit sollten von Hand nicht mehr als 4 bis 5 Teile eingelegt werden. Ist die Anzahl der Einlege­teile größer, ist der Einlegevorgang zu mechanisieren.
- Gussstücke mit Eingieβteilen sollen nicht wärmebehandelt werden, da sich der Verbund sonst löst.

3.14 Schriftzeichen

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

Die Ausführung nach **Bild 27a** verursacht den geringsten Aufwand an Zeit und Kosten beim Anfertigen der Druckgieβform. Sie muss allerdings so angebracht werden können, dass keine Hinterschneidung entsteht. Die

Bild 27: Ausführung mitgegossener Schriftzeichen



Einarbeitung in die Form erfolgt vertieft. Sie ist gegenüber dem einströmenden Gießmetall am wenigsten empfindlich und sichert den Gravuren hohe Lebensdauer.

Bei Druckgussstücken, auf deren Oberfläche hervorstehende Schriftzeichen stören würden oder beschriftete Flächen bearbeitet bzw. geschliffen werden müssen, sind die erhabenen Schriftzeichen entsprechend **Bild 27b** versenkt anzuordnen.

Die Ausführung nach **Bild 27c** ist sehr teuer. Die in der Druckgieβform erhaben stehenden Gravuren sind der Gefahr der Beschädigung und des starken Verschleißes ausgesetzt.

3.15 Entgraten von Druckgussstücken

Druckgussstücke werden nach dem Gießen entgratet. Dabei ist zwischen folgenden Verfahren zu unterscheiden:

- **Schnittentgraten:** dient zum Abgraten des Angusses, möglicher Überläufe, Bohrungen und groben Graten zumeist in Formtrennebene. Die mechanische Schnittentgratung ist oft in der Druckgieβzelle integriert.
- **Gleitschleifen:** ist ein mechanisches Entgraten auf Langbett- oder Rundtrochanlagen, bei denen mit Hilfe von Schleifkörpern und Emulsion scharfe Kanten verrundet und abstehende Grate teilweise oder ganz entfernt werden können.
- **Strahlen:** Muldenband oder Hängeanlagen werden zum Entfernen von Flittergrat mit einer gleichmäßigen Oberfläche verwendet. In der Regel wird Druckguss mit Edelstahlkugeln (Edelstahl, damit keine Korrosion entsteht), selten auch mit Glasperlen gestrahlt. Die Form der Strahlkörper gibt die Oberfläche der bearbeiteten Gussstücke vor.
- **Automatisches Feinentgraten:** Feinentgraten für große Serien erfolgt mit Vorrichtungen oder Robotern.
- **Handentgraten:** Handentgraten wird für feinen und feinsten Restgrat oder bei Verschleiß des Werkzeuges ausgeführt, sofern die anderen genannten Entgratverfahren nicht ausreichen.

Bei der Gestaltung der Gussstücke ist die günstigste Entgratmöglichkeit – nach Absprache mit den Druckgieβern – zu beachten. Die Formteilung ist möglichst so anzuordnen, dass ein mechanisches Entgraten mittels Schnittwerkzeugen möglich ist. Dadurch wird die Fertigungssicherheit erhöht und Nacharbeit reduziert.

Angaben zu den Bearbeitungszugaben sind im Anhang, **Tabelle 12 a-b**, enthalten.

3.16 Bearbeitungszugaben von Druckgussstücken

Dort, wo die Genauigkeit der Druckgussstücke nicht genügt und Pass- oder Dichtflächen nachgearbeitet werden müssen, sollte je nach Druckgusswerkstoff, Wanddicke und Stückzahl eine Bearbeitungszugabe zwischen 0,3 und 1,0 mm vorgesehen werden. Da die Bearbeitungszugabe auch von der Größe der Druckgussstücke abhängig ist, sollte sie im Einzelfall mit der Druckgießerei abgesprochen werden.

- Bearbeitungszugaben sind in der DIN EN ISO 8062 Teil 3 beschrieben.
Für bestehende Konstruktionen kann die
- DIN 1688 (für Al- und Mg-Legierungen) und die DIN 1687, jeweils Teil 4 (für Zn-, Sn-, Cu- und Pb-Legierungen) vereinbart werden.

Folgende Aspekte sind zu beachten:

- Zu bearbeitende Flächen müssen in Zeichnungen und CAD-Modellen gekennzeichnet sein.
- Bearbeitungsflächen sollten eine eindeutige Begrenzung haben und nicht bis in eine Abrundung hineingehen, damit ein freier Auslauf der Bearbeitungswerkzeuge gewährleistet ist.
- Aufnahme und Spannflächen für die Bearbeitung sind zu vereinbaren und in die Zeichnungen einzutragen.
- Messpunkte für Kontrollzwecke sind in Zeichnungen einzutragen.
- Die Bearbeitungszugaben bei Gussrohteil sind Stoffzugaben, um durch nachfolgendes spanendes Bearbeiten gießtechnisch bedingte Einflüsse an der Oberfläche zu beseitigen sowie den gewünschten Oberflächenzustand und die erforderliche Maßhaltigkeit zu erreichen.
- Bei zu großer Bearbeitungszugabe besteht die Gefahr, dass Porositäten freigelegt werden.
- Die Bearbeitungszugabe ist im Sinne einer Schnittzugabe aufzufassen, d. h. bei Rotationskörpern oder bei beidseitiger Bearbeitung ist sie entsprechend zweimal zu berücksichtigen.

3.17 Umformung von Druckgussstücken

Druckgussstücke lassen sich in bestimmten Grenzen umformen. Diese Möglichkeit ist innerhalb der drei gebräuchlichsten Werkstoffgruppen, wie in **Bild 28** dargestellt, vor allem bei Zinkdruckguss gegeben durch:

- Nieten,
- Biegen oder
- Bördeln und Einrollen

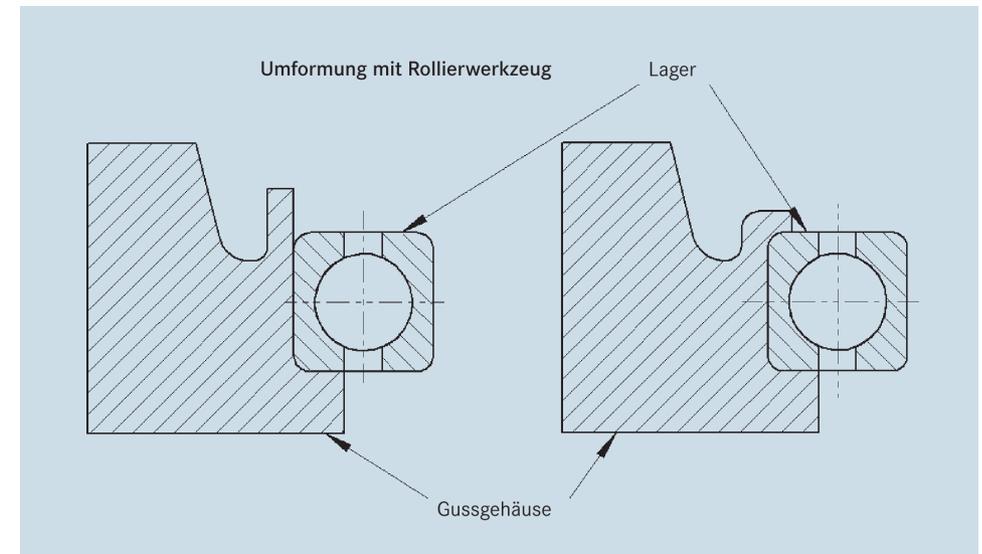
Die Vorteile einer solchen Umformung können sein:

- Verringerung der Montagekosten,
- Vereinfachung der Druckgießform sowie
- nachträgliche Herstellung sogenannter linker und rechter Teile aus einer Form – etwa bei ungleichen Bedarfszahlen durch Umbiegen oder unterschiedlichen Schränken einer bestimmten Steg- oder Flanschpartie des Druckgussstückes („Mutterteils“).

Bei Leichtmetalldruckguss empfiehlt sich das Umformen bei erhöhter Temperatur und zwar zwischen 70 und 100°C. In keinem Fall sollten derartige Arbeiten unterhalb der Raumtemperatur vorgenommen werden. Weiterhin kann ein besonderer Werkstoff z. B. mit höheren Dehnwerten sinnvoll sein.

Der Gießer kann, soweit konstruktiv möglich, durch ein geschicktes Anbringen von Anguss und Entlüftung die Werkstoffeigenschaften für eine spanlose Umformung optimieren. Weiterhin sollte mit dem Gießer der Zeitpunkt der Umformung besprochen werden, da einige Werkstoffe sich durch Kaltaushärtung in ihren technologischen Eigenschaften ändern.

Bild 28: Beispiel für eine zu bördelnde Gusskonstruktion



3.18 Fügeverfahren

3.18.1 Allgemeine Regeln

Für die Verbindung von Druckgussstücken mit anderen Bauelementen, Werkstoffen oder miteinander stehen eine Anzahl langjährig bewährter Verfahren zur Verfügung.

In vielen Fällen sind Schraubverbindungen die beste Lösung. Gegebenenfalls sollte der relativ geringen Härte (und Quetschgrenze) der Druckgusswerkstoffe durch große Auflagenflächen, Spezialschrauben mit größerer Auflagefläche oder Unterlegscheiben begegnet werden. Bei oft zu lösenden Schraubverbindungen sind zweckmäßigerweise Gewindeeinsätze vorzusehen (siehe Kapitel 3.13 Eingieβteile).

Nietverbindungen sind in geeigneten Fällen günstig. Durch Angieβen der Nietschäfte, z. B. bei Zink, Aluminium und Magnesium, lassen sich Nietverbindungen oft vorteilhaft gestalten. Ein bekanntes und bewährtes Verfahren ist z. B. das Taumelnieten.

Lötverbindungen sind bei Aluminium- und Zinklegierungen mit Einschränkungen möglich. Bei Magnesiumlegierungen liegt zurzeit noch wenig Erfahrung vor. Bei Zinklegierungen stört der Aluminiumgehalt. Erst durch galvanisches Verkupfern kann hier die Lötbarkeit erreicht werden.

Das Schweiβen von Druckgussstücken ist möglich. Nähere Ausführungen dazu siehe Kapitel 3.10 Schweiβeignung von Druckguss.

3.18.2 Besonderheiten bei Fügeverfahren mit Magnesiumlegierungen

Sollen Bauteile aus Magnesiumlegierungen gefügt werden, so ist der Korrosionsschutz besonders zu beachten.

Die galvanische Korrosion (Kontaktkorrosion) ist von erheblicher Bedeutung bei Magnesiumlegierungen, weil fast alle anderen Metalle edler als Magnesium sind. Für das Entstehen galvanischer Korrosion sind zwei Dinge ausschlaggebend: Es muss eine elektrische Verbindung zwischen verschiedenen Metallen geben und es muss ein Elektrolyt vorhanden sein. Ist eine dieser beiden Vorbedingungen nicht erfüllt, tritt keine galvanische Korrosion auf. Wirksame Methoden zur Vorbeugung gegen galvanische Korrosion sind:

- Entsprechendes Bauteildesign
- Verwendung Magnesium verträglicher Materialien
- Verwendung geeigneter Beschichtungen und Isolierungen

Durch entsprechendes Design werden Wasser, Kondensat etc. vom Magnesiumbauteil abgeleitet, wodurch sich die Bildung eines elektrolytischen Films reduzieren oder ganz verhindern lässt, siehe **Bilder 29 a** bis **d**.

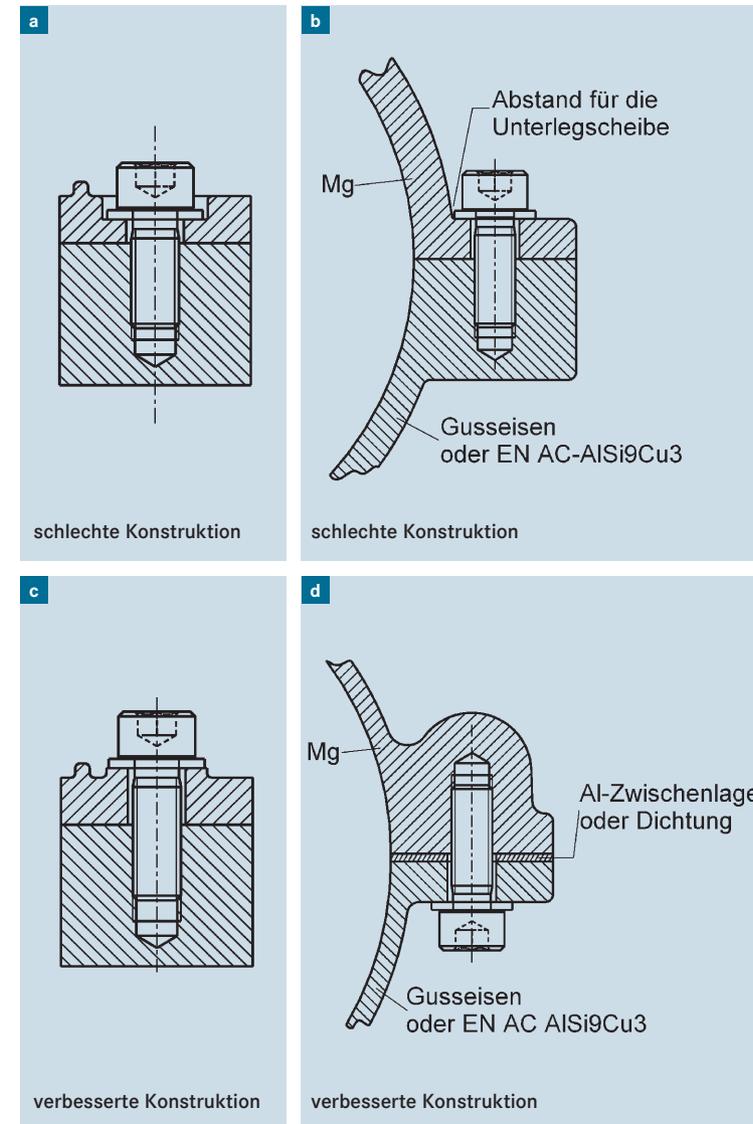


Bild 29: Beispiele für Verbundkonstruktionen mit Magnesium

3 Gestaltung

Durch die Verwendung von Aluminiumunterlegscheiben wird die galvanische Korrosion eingeschränkt. Durch eine für den Einsatzfall abgestimmte Beschichtung des Magnesiumbauteils oder der aus elektrochemisch edleren Metallen bestehenden Bauteile kann die galvanische Korrosion ebenfalls eingeschränkt werden. Wenn Schrauben aus Stahl verwendet werden, müssen diese passiviert und versiegelt oder z.B. mit einem Zinklamellensystem versehen werden.

Für Magnesiumanwendungen im Fahrzeuginnenbereich (z. B. Lenkräder, Lenksäulenteile oder Instrumententafelträger) ist keine besondere Vorbeugung gegen galvanische Korrosion notwendig. Bei anderen Anwendungen (z. B. Getriebe, Verteilergetriebe, Türinnenteile etc.) sind vorbeugende Maßnahmen – wie oben beschrieben – erforderlich.

3.19 Toleranzen

Die Maßabweichungen an einem Druckgussstück sind abhängig von:

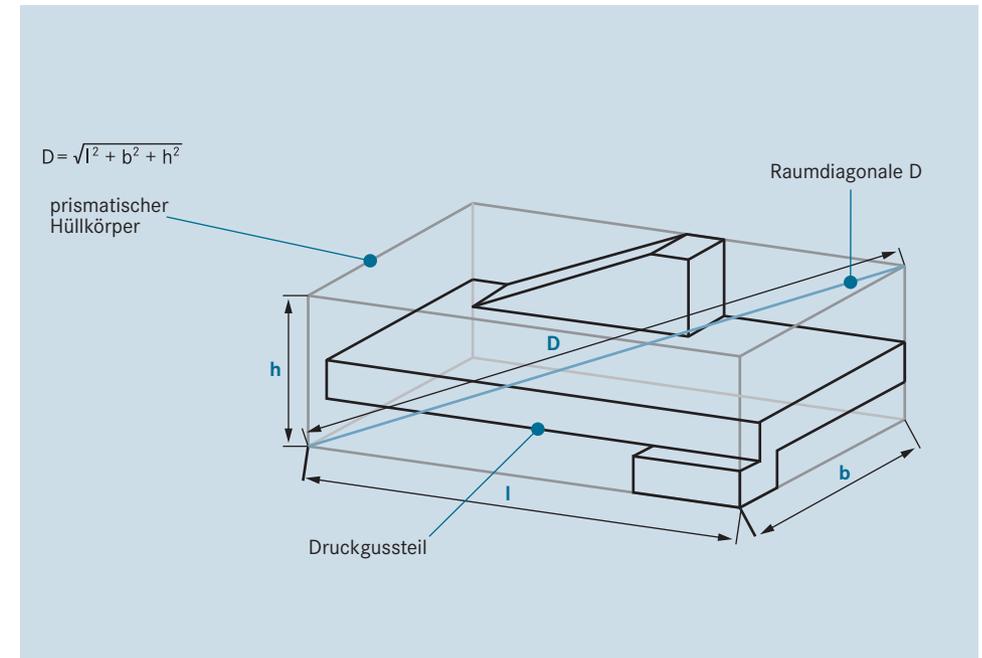
- dem verwendeten Werkstoff
- der Größe bzw. Ausdehnung des Druckgussstückes
- der Größe und konstruktiven Auslegung der Form
- der Lage bzw. Begrenzung der betroffenen Partien in der Form
- der Stabilität des Gießprozesses

3.19.1 Größe

Die Größe bzw. Ausdehnung wird durch die Raumdiagonale beschrieben. Gussstücke mit größerer Raumdiagonale benötigen größere Toleranzen als Gussstücke mit kleinerer Raumdiagonale. Die Raumdiagonale ist aus dem prismatischen Hüllkörper, der um das beliebig geformte Gussstück gelegt wird, zu ermitteln (siehe **Bild 30**).

3.19.2 Anzahl der Kavitäten

Gussstücke aus größeren Mehrfachformen benötigen größere Toleranzen als Gussstücke aus kleineren Einfachformen.



3.19.3 Lage der Maße

Die Lage bzw. Begrenzung wird durch formgebundene- bzw. nicht formgebundene Maße bestimmt.

- *Formgebundene Maße* sind Maße in einer Formhälfte oder in festen Konturenelementen, die nicht von der Formteilung oder einem Schieber beeinflusst werden, siehe **Bild 31 a**.
- *Nicht formgebundene Maße*: Diese Maße werden durch zwei oder mehrere zueinander bewegliche Formelemente gebildet; sie liegen vorwiegend in der Schließrichtung der Druckgießform oder werden durch die beweglichen Schieber bestimmt **Bild 31 b**. Diese Maßgruppe erfordert größere Toleranzen, als bei formgebundenen Maßen zugesichert werden können.

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen „Allgemeintoleranzen“, d. h. Maße ohne Toleranzangaben und „tolerierten Maßen“, d. h. Maße mit Toleranzangaben.

Bild 30: Erläuterung der Raumdiagonale

Angaben zu den Allge-
meintoleranzen sind im
Anhang, **Tabelle 11 a-b**,
enthalten.

Bild 31: (a) formgebundene Maße, (b) nicht formgebundene Maße

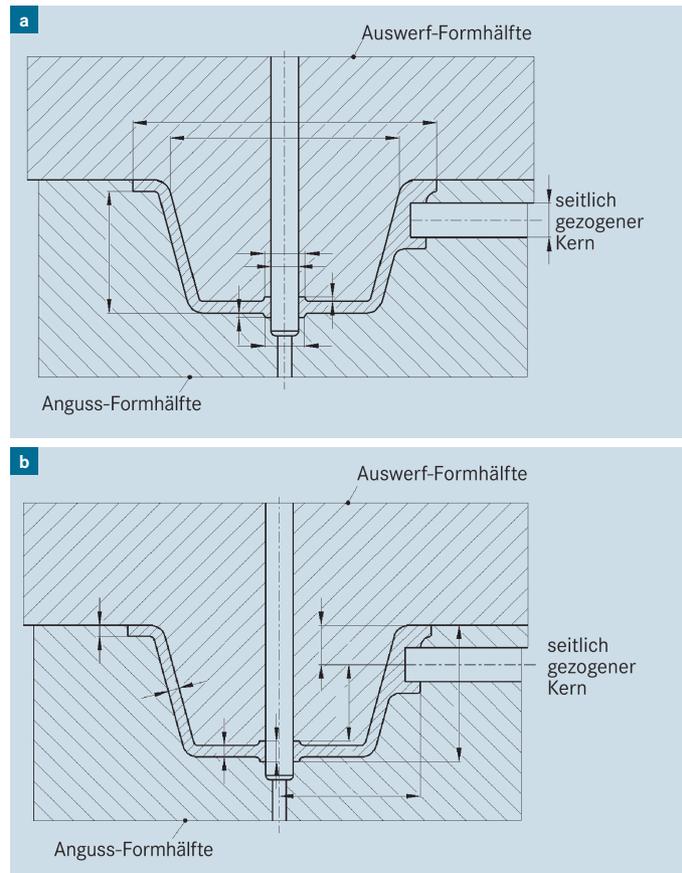
3.19.4 Allgemeintoleranzen

Die Allgemeintoleranzen und Empfehlungen für die Anwendungen sind in der

- DIN EN ISO 8062 beschrieben.

Für bestehende Konstruktionen kann die

- DIN 1688 Teil 4 für Gussstücke aus Leichtmetallen (Aluminium- und Magnesiumlegierungen),
- DIN 1687 Teil 4 für Gussstücke aus Schwermetallen (Kupfer-, Zink-, Zinn- und Bleilegierungen) vereinbart werden.



Für die Anwendung der DIN 1687 und DIN 1688 werden die Teile entsprechend ihrer Raumdiagonale (Erläuterung der Raumdiagonale siehe **Bild 30**) in Größenklassen eingeteilt. Die Raumdiagonale ergibt sich aus:

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

Für die Anwendung der DIN EN ISO 8062 wird als Basis der Nennmaßbereich des Formteils genommen. Die *Allgemeintoleranzen* nach DIN EN ISO 8062 sind in den **Tabellen 11 a** und **11 b** im Anhang der Richtlinie wiedergegeben.

3.19.5 Form- und Lagetoleranzen

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

Tolerierte Maße

Es empfiehlt sich auf jeden Fall, vor der Festlegung der Toleranzmaße mit dem Gießer die Formtrennung, Schiebertrennung etc. festzulegen. Die größeren Toleranzen werden im Regelfall mit durchschnittlicher Einrichtung erzielt; die feineren Toleranzen erfordern einen entsprechend größeren Aufwand, der mit entsprechend höheren Kosten verbunden ist. Ein (werkzeug)verschleißgerechtes Konstruieren kann einseitige Toleranzen notwendig machen.

Grundsätzlich gilt, dass die Tolerierung

- funktionsgerecht (Anforderungen an das Druckgussstück),
- prozessgerecht (Anforderungen an die Form und den Prozess),
- messbar (Anforderungen an die Messgenauigkeit, Methode) und
- wirtschaftlich herstellbar sein muss.

3.19.6 Gültige Normen (Auszug)

Folgende Normen gelten für Toleranzfestlegungen (Auszug):

- DIN EN ISO 8062 Teil 1 und 3
- DIN 1687 Teil 4 (für bestehende Konstruktionen)
- DIN 1688 Teil 4 (für bestehende Konstruktionen)
- Grundtoleranzsystem nach ISO 286

3.20 Oberflächenrauheit von Druckgussstücken

Die Messverfahren für die Oberflächengüte gehen in der Regel von spanender Fertigung (Drehen, Feindreihen, Schleifen, Fräsen) aus. Die so erzeugten Oberflächen sind geeignet, dass Messwerte taktiler Oberflächenmessgeräte (R_p , R_a , R_p , R_z) relativ zuverlässige Aussagen über die Qualität der erzeugten Oberfläche im Hinblick auf ihre spätere Verwendbarkeit liefern.

Für Oberflächen, die mit diesen mechanischen Bearbeitungsverfahren erzeugt wurden, gilt übereinstimmend, dass die Oberflächenqualität, die an der einen oder anderen Stelle der bearbeiteten Fläche gemessen wurde, eine Aussage für die gesamte bearbeitete Werkstückfläche liefert. Hinzu kommt, dass mit den mechanischen Bearbeitungsverfahren in der Regel, bedingt durch den höheren Bearbeitungsaufwand, eine gleichmäßig bessere Qualität der Oberfläche erreicht werden kann.

In der Anwendung bei Druckgussstücken wirft die taktile Messtechnik jedoch Probleme auf. Ungeachtet der messtechnischen Schwierigkeiten lassen sich im Druckgießverfahren ausgesprochen hohe Oberflächenqualitäten herstellen, die in Abhängigkeit vom Formenzustand folgende Rauheiten aufweisen können (R_a -Werte):

- Aluminiumlegierungen 3,0 bis 20 μm
- Magnesiumlegierungen 3,0 bis 18 μm
- Zinklegierungen 2,5 bis 18 μm

Dennoch ist die Anwendung von Messwerten und Zeichnungsforderungen nach derartigen Oberflächen analog zu den spanend erzeugten Flächen problematisch. Die Oberfläche eines Gussstückes wird bei der Erstarrung von sehr verschiedenen Faktoren beeinflusst:

- Eingeschlossene Luft kann kleinste Blasen an der Gussstückoberfläche erzeugen.
- Die Erstarrungsschwindung kann abhängig von der Gussstückgeometrie und der verwendeten Gusslegierung zu Oberflächenfehlern, z. B. zu Einfallstellen führen.

- Trennmittelrückstände können an bestimmten Stellen des Gussstückes zu erhöhten Rauigkeiten führen.
- Kaltläufe oder zusammengestoßene Fließfronten, die nicht immer vollständig zu vermeiden sind, können zu partiellen Rauigkeiten führen. Gelegentlich sind derartige Stellen ohne optische Hilfen kaum erkennbar.
- Anklebungen von Gießmetall in feinen Partikeln, die sich unlösbar mit der Formwand verbinden und nicht entfernt werden, führen bei den folgenden Abgüssen zu entsprechenden Rauigkeiten.
- Mechanische Beschädigungen der Formwand wie Riefen, Druckstellen und Schabspuren können während der Gussstückentnahme auftreten und die Oberflächenqualität beeinträchtigen.
- Werkzeugrisse und Aufrauungen, die durch hohe thermische Wechselbeanspruchung bei Druckgießformen unvermeidbar sind, werden bei jedem Abguss abgebildet.
- Formtrennstellen, Schiebernähte, Angussstellen, Markierungen der Auswerfer usw. besitzen naturgemäß eine andere Oberflächenstruktur, die mit taktiler Messtechnik kaum geprüft werden kann.
- Bei der nach dem Gießen erfolgenden Lagerung und dem Transport können Beschädigungen der Gussstücke entstehen, insbesondere weil die entformten Gussstücke in der Regel noch eine hohe Temperatur haben und daher nicht sofort schützend verpackt werden können.

Ungeachtet aller genannten Probleme werden heute in großem Umfang Gussstücke mit hohen Oberflächengüten hergestellt und verwendet. Zu ihrer Beurteilung wird jedoch aus den beschriebenen Gründen sinnvollerweise nicht der Messwert eines Oberflächenmessgerätes herangezogen, sondern es werden Grenzmuster mit Vergleichsflächen für die Beurteilung vereinbart. Die Beurteilung der Toleranzgrenzen wird mit solchen Teilen anhand einer Sichtkontrolle sinnvoll ausgeführt. Wegen dieser Zusammenhänge entfällt auch eine zahlenmäßige Rauheitsangabe gemäß DIN/ISO 1302.

4 Oberflächenbehandlung

Tabelle 13: Anforderungen an Oberflächen von Druckgussstücken

dekorative	funktionelle
Farbe	Korrosionsbeständigkeit
Glanz	Verschleißbeständigkeit
Deckvermögen	Gleiteigenschaften
Rauheit	Rauheit
Einebnung	Härte
Haptik	Festigkeit
	Leitfähigkeit
	Löteignung

Die Oberflächen von Druckgussstücken werden behandelt, um unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen, die einerseits *dekorativ*, andererseits *funktionell* bestimmt sein können, siehe **Tabelle 13**.

Tabelle 14 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Behandlungsverfahren von der mechanischen und chemischen Bearbeitung über die anodische Oxidation bis hin zu den verschiedenen Beschichtungen. Dabei ist zu beachten, dass die mechanische und chemische Behandlung in der Regel als Vorbehandlungsschritte durchgeführt werden, während die anodische Oxidation und die verschiedenen Beschichtungen als Endbearbeitungsschritte anzusehen sind. Die aufgeführten Oberflächenbehandlungsverfahren können sowohl für dekorative wie auch funktionelle Zwecke eingesetzt werden.

Neben den genannten Verfahren existiert eine Vielzahl weiterer Oberflächenbehandlungs- und -beschichtungstechnologien. Im Rahmen der vorliegenden Technischen Richtlinie für Druckguss aus NE-Metallen wurde aber auf eine weiterführende Auflistung und Erläuterung verzichtet, um die Übersichtlichkeit der Darstellung zu erhalten.

Tabelle 14: Überblick über Oberflächenbehandlungsverfahren

Oberflächenbehandlungsverfahren			
Mechanische Verfahren	Chemische Verfahren	Galvanische Verfahren	Organische Schichten
Strahlen	Entfetten	Verkupfern	Lackieren
Schleifen	Beizen	Vernickeln	Nasslackbeschichtung
Polieren	Ätzen	Verchromen	Strukturackbeschichtung
	Chemisch Oxidieren	Anodisch Oxidieren	Pulverlackbeschichtung
	Chromatieren		Gleitackbeschichtung
	Phosphatieren		KTL-Beschichtung
	Stromlos Vernickeln		Kunststoffüberzüge
Vorbehandlung			
Endbehandlung			
Vor- oder Endbehandlung			

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 von deren sicheren technischen Beherrschung ab. Es kann erforderlich sein, dass mehrere Vorbehandlungsschritte durchgeführt werden müssen, bevor die Endschrift aufgebracht werden kann. Für dekorative Zwecke bestimmte Gussteile sind häufig zunächst mechanisch zu bearbeiten (z. B. Strahlen + Schleifen + Polieren), zu reinigen (z. B. Entfetten/ Beizen) und es sind eine oder mehrere Haft- oder Unterschichten aufzubringen (z. B. Phosphatieren zur Haftvermittlung oder Verkupfern), bevor die Endbeschichtung erfolgen kann (z. B. galvanisches Verchromen).

Tabelle 15 gibt eine werkstoffbezogene Zuordnung der häufigsten bei Druckgussstücken angewandten Beschichtungsverfahren. Technisch sind durchaus mehr Kombinationen als angegeben möglich, jedoch werden sie selten oder gar nicht eingesetzt.

Tabelle 15: Gusswerkstoffbezogene Zuordnung von Beschichtungsverfahren

	Galvanische Schichten			Anodisch oxidierte Schichten		Organische Schichten	
	Verkupfern	Vernickeln	Verchromen	dekorativ	funktionell	Lacke	Kunststoffüberzüge
Aluminiumdruckguss					X	X	X
Zinkdruckguss	X	X	X			X	X
Magnesiumdruckguss						X	X

Hauptanwendung mögliche Anwendung

Die technische Richtlinie beschreibt, wie Druckgussstücke konstruiert werden sollen, damit diese prozessfähig herstellbar sind. In diesem Kapitel werden die vom Kunden gestellten allgemeinen Spezifikationen zu Gefüge, Oberfläche oder zum Bemusterungsverfahren behandelt. Weiterhin wird beschrieben, mit welchen Prüfmethoden das Erreichen der geforderten Gussteileigenschaften in Druckgießereien überwacht werden kann.

5.1 Werkstoff

5.1.1 Chemische Zusammensetzung

Die chemische Zusammensetzung des Gusswerkstoffs, die naturgemäß das Gefüge beeinflusst, wird in der Regel mit einem Funken-Emissionsspektrometer überprüft. Dazu werden entweder vor dem Abguss Proben aus der zu vergießenden Schmelze oder nach dem Abguss aus dem Gussstück selbst entnommen und geprüft.

5.1.2 Wasserstoffgehalt

Bei Gussteilen mit höheren Qualitätsanforderungen (z. B. zur Herstellung von porositätsarmem schweißbarem Druckguss) wird in den Gießereien das Impellerverfahren zur Schmelzereinigung und zur Einstellung eines bestimmten Gasgehaltes (Wasserstoffgehalt) in der zu vergießenden Schmelze eingesetzt. Die Überprüfung des Gasgehaltes in der Schmelze nach der abgeschlossenen Impellerbehandlung erfolgt dabei mit Hilfe der Unterdruckdichteprobe (BDG-Richtlinie P 230).

5.1.3 Gefüge

Das Gussgefüge wird neben dem Werkstoff maßgeblich von den Fertigungsbedingungen sowie der Gussstückgeometrie beeinflusst. Die Gefügequalität wird dabei durch die Gefügestruktur (Dendritenausbildung) sowie durch Makroporosität (Schwindungslunker) und Mikroporosität (Wasserstoffporosität) gekennzeichnet.

Für die Bewertung der Gussgefügequalität werden im Rahmen der zerstörenden Prüfung metallographische Schlitze genutzt. Damit wird eine lokale quantitative Qualitätsbewertung möglich (z.B. Dendritenarmabstand, Lunker-/ Porengröße, nichtmetallische Einschlüsse, Flächenanteil der Porosität in %). Für die Erlangung aussagekräftiger Ergebnisse ist die Nutzung von Mikroskoptechnik und rechnerunterstützter Bildauswertung zu empfehlen.

Als zerstörungsfreie Prüfmethode zur Bewertung der Gefügequalität bietet sich das Röntgenverfahren an, mit dem unter Berücksichtigung der physikalischen Verfahrensgrenzen für die Detektierbarkeit von Gefügeabweichungen (durchstrahlte Wanddicke, Auflösungsvermögen der Anlage) eine qualitative Bewertung der Gussporosität am ganzen Gussteil ermöglicht wird. Dabei können auch Schwerpunktbereiche mit einer Häufung von Gefügeabweichungen bestimmt werden. Die Auswertung der Prüfergebnisse kann visuell durch den Prüfer oder rechnerunterstützt mittels automatischer Bildauswertung erfolgen.

Außer den vorstehend genannten Verfahren werden zur Beurteilung der Gussgefügequalität in der Praxis auch noch folgende Methoden eingesetzt:

- Probezerspanung mit makroskopischer oder mikroskopischer Porenauswertung, entweder nach Vergleichstabellen und Grenzmustern oder durch rechnerunterstützte Bildanalyse
- Computertomografie zur 3-dimensionalen Gefügebewertung, welche gegenüber der Röntgentechnik noch präzisere Ergebnisse hinsichtlich der Gussfehlerausdehnung und -verteilung ermöglicht. Sie wird vorwiegend in der Phase der Produkt- und Prozessentwicklung eingesetzt. Üblicherweise werden Gussteile hinsichtlich der Gefügequalität in statistischen Stichproben bei Fertigungsbeginn und während der Fertigung, je nach Anforderung, im Rahmen einer 100%-Prüfung bewertet. Grundsätzlich sollten Druckgussstücke so konstruiert werden, dass diese im Anwendungsfall trotz der verfahrenstechnisch bedingten Gefügedefekten (Gasporositäten, Volumendefiziten) den Beanspruchungen im praktischen Einsatz standhalten. Die BDG-Richtlinie P 202 (für bestehende Konstruktionen auch P 201) zur Porosität geben Hinweise, wie der Kunde Porositätsanforderungen in der Bauteilspezifikation definieren kann. Die Richtlinie stellt einen Standard, z. B. in der Automobilindustrie, dar.

Da die Volumendefizite im Druckguss statistisch schwanken, geben die Verfahren nur einen Hinweis auf die tatsächlich auftretenden Porositäten für die einzelnen Gussstücke wieder. Daher sind auch die häufig verwendeten Grenzmuster als Vergleichsbasis für die Gefügequalität nur bedingt aussagekräftig, da sie keinen präzisen Maßstab darstellen.

Die rechnerische Simulation der Formfüllung und der Erstarrung für ein Druckgussstück ist mittlerweile so weit entwickelt, dass bereits in der Konstruktionsphase potenzielle Bereiche mit erhöhter Porositätswahrscheinlichkeit aufgezeigt werden können. Durch geeignete Optimierung der Gussteilkontur und des Gießsystems lassen sich Gegenmaßnahmen bereits vor der Werkzeugherstellung treffen und die Gefahr zur Porenbildung im Gussstück minimieren.

5.1.4 Oberflächenrauheit von Druckgussstücken

Das Druckgießverfahren zeichnet sich durch seine hervorragenden Oberflächen am Gussteil aus. Oft können sogar dekorative Oberflächen gegossen werden, die wenig oder keine Nacharbeit erfordern.

Allerdings wird die Oberfläche von Druckgussteilen stark von der Oberflächenqualität des verwendeten Gießwerkzeugs beeinflusst, welches verfahrensbedingt im Fertigungsprozess starken Beanspruchungen unterworfen ist. Die aus den zyklischen Temperaturwechseln und dem strömungsbedingten Verschleiß der Formoberfläche resultierenden sogenannten „Brandrisse“ und andere Oberflächenabweichungen beeinflussen die Oberflächenqualität negativ und müssen bei der Definition der Oberflächenanforderungen und der entsprechenden Prüfverfahren berücksichtigt werden.

Die für die Beurteilung der Oberflächengüte von Bauteilen üblichen Messverfahren sind für Druckgussstücke nicht uneingeschränkt geeignet, vergleiche Kapitel 3.20.

Sinnvoller ist es, auf Vergleichsmuster (Grenzmuster) Bezug zu nehmen. Vergleichsmuster können andere oder ähnliche Teile sein, die auch den Verschleiß bereits widerspiegeln. Es können auch Grenzmuster der gegossenen Teile sein, die jedoch mit zunehmendem Verschleiß der Form dann neu definiert werden müssen. Die betreffenden Flächen sind genau zu bestimmen.

5.2 Prozessfähigkeit

Der Prozessfähigkeitsnachweis erfolgt über die Einhaltung der abgesprochenen Toleranzen (siehe Kap. 3.19 Toleranzen). Insbesondere die nicht formgebundenen Maße über die Formteilung oder Schiebermaße sind verfahrensbedingt nur mit höheren Toleranzen zu fertigen. Diese Maße weisen

auch keinen Verlauf im Sinne der Prozessfähigkeit auf, sondern schwanken von Schuss zu Schuss. Soll eine Prozessfähigkeit über die nicht formgebundenen Maße hergestellt werden, ist eine sehr grobe Toleranzbemessung notwendig. Es gilt zu beachten:

- Spezifische Merkmale, für die der Kunde den Nachweis der Prozessfähigkeit fordert, müssen dem Gießer schon zum Zeitpunkt der Angebotslegung bekannt sein.
- Spezifische Merkmale müssen gussgerecht toleriert sein.
- Druckguss weist eine ausgezeichnete Prozessfähigkeit bei formgebundenen Maßen auf.
- Druckguss benötigt deutlich höhere Toleranzen bei nicht formgebundenen Maßen.

5.3 Bemusterung

Die Besonderheiten bei der Bemusterung und der Freigabe von Druckgussstücken werden ausführlich in der BDG-Richtlinie P 710 „Richtlinien für die Prüfung und Abnahme von Druckguss- und Kokillengussstücken aus NE-Metall-Legierungen“ dargestellt und erläutert. Diese Richtlinie orientiert sich eng an der VDA-Richtlinie – Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie, Band 2 Sicherung der Qualität von Lieferungen – Produktionsprozess- und Produktfreigabe (PPF).

5.4 Rückverfolgbarkeit

Die Rückverfolgbarkeit von Gussteilen erlangt aus Gründen der Produktqualität und vor allem vor dem Hintergrund der gesetzlich geregelten Verkehrssicherheit von Produkten zunehmende Bedeutung. Voraussetzung für eine möglichst lückenlose Rückverfolgbarkeit der Herstellungshistorie von Gussteilen ist die Anwendung geeigneter Systeme zur Kennzeichnung von Gussteilen verknüpft mit dem Einsatz von geeigneten DV-Systemen. Ziel ist die weitestmögliche Eingrenzung von ggf. fehlerhaften Gussteilen im Herstell- und Verarbeitungsprozess bzw. in Lieferungen, um Schadensumfänge und -folgen gering zu halten.

Der Hersteller sollte auch im Eigeninteresse eine möglichst präzise Kennzeichnung der Teile anbringen. Damit ist er in der Lage, schnell und erfolgreich fehlerhafte Teile zu identifizieren.

5.4.1 Kennzeichnungsinhalte

Zur Identifikation von Gussteilen werden z. B. folgende Angaben gefordert:

- Teilenummer, teilweise zzgl. Zeichnungsindex
- Herstellerland
- Kennzeichen (Symbol) des Bestellers oder des endverbauenden Kunden
- Kennzeichen (Symbol) des Gussteilherstellers
- Legierungsbezeichnung
- Werkzeug- und Nestnummer
- Fertigungsdatum des Gussteils.

5.4.2 Beispiele für Kennzeichnungsarten

Gegossene Schriftzüge und Gießdatumsstempel: Herkömmlich werden Beschriftungen an Gussteilen direkt durch das Gießen erzeugt. Damit kann ein Großteil der oben genannten Kennzeichnungsvorgaben umgesetzt 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 der Datumsangabe Angaben zu Jahr, Monat, Tag und Schicht beinhalten. Dazu sind dann jeweils 1-2 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 ebenso 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 Etikettier-

geräten (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.

RFID-Transponder: Eine moderne Art der Kennzeichnung wird künftig im Anbringen von sogenannten RFID-Transpondern (Radio-Frequency Identification) an Gussteilen bestehen. Serientaugliche Anwendungen mit RFID-Transpondern existieren bereits; dabei werden die Transponder nach dem Gießvorgang am Gussteil angebracht. Mit deren Hilfe lässt sich der Weg des einzelnen Bauteils in der Herstell- und Lieferkette bis hin zum Kunden eindeutig verfolgen. Im Gegensatz zu den vorstehend genannten Kennzeichnungsmethoden besteht für die Anwendung der RFID-Technologie an Gussteilen insgesamt noch starker Entwicklungsbedarf.

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.

6 Hinweise zur Gussteilanfrage und Wirtschaftlichkeit

Die vorliegenden Empfehlungen und Gestaltungsmerkmale für *Druckguss aus NE-Metallen* zeigen, dass dieses moderne und wirtschaftliche Gießverfahren wie jede Fertigungsmethode spezifische Eigenheiten besitzt, auf die Rücksicht genommen werden sollte. Es ist zu betonen, dass für den Konstrukteur form- und gießgerechtes sowie wirtschaftliches Denken im Vordergrund stehen muss und dass die Auswahl des Druckgießwerkstoffes erst an zweiter Stelle kommt. Die volle Wirtschaftlichkeit des Druckgießverfahrens wird nur dann erreicht, wenn ein Bauteil von vorneherein druckgießgerecht konstruiert wird. Im Sinne echten „Simultaneous-Engineerings“ ist es notwendig, bereits in der Konzeptphase Kontakt mit einer erfahrenen Druckgießerei aufzunehmen. Bereits in diesem Stadium ist es notwendig, durch entsprechende Beratung die Konstruktion optimal auf die verfahrenstechnischen Möglichkeiten des Druckgießens hin auszulegen. Nur so können alle Möglichkeiten dieser Fertigungstechnologie ausgeschöpft werden. In der Regel ergeben sich erhebliche Änderungen gegenüber Ausführungen als Blech- und Schweißkonstruktion oder auch zur Ausführung in anderen Gießverfahren, wie z. B. dem Sand- und Kokillengießverfahren.

Die bei solchen Diskussionen geäußerten „Änderungswünsche“ der Gießerei sind nicht als Bequemlichkeit oder mögliche Inflexibilität zu interpretieren. Gießtechnisch erforderliche Konstruktionsänderungen bedeuten für die sichere Herstellung eines Gusstückes in großer Serie langfristig entscheidende Kostenvorteile.

Die enge Zusammenarbeit zwischen Konstrukteur und Druckgießer zu dem frühestmöglichen Zeitpunkt führt außerdem zu deutlichen Reduzierungen der Entwicklungszeit und damit zu einer Verringerung der Kosten.

Dort, wo keine mündliche Besprechung stattfinden kann, ist es zweckmäßig, der Druckgießerei zusammen mit der Anfrage folgende Unterlagen an die Hand zu geben:

- Roh- und Fertigteilzeichnung des Gusstückes und, sofern vorhanden, auch ein maßgerechtes Musterstück
- Angaben über die mechanische, chemische und thermische Beanspruchung des Gusstückes im späteren Betrieb zwecks Auswahl des geeigneten Druckgusswerkstoffes
- Voraussichtliche Losgröße und ungefährer Jahresbedarf zwecks Auswahl des richtigen Formenbaustahls und Auslegung der Form (z. B. Entscheidung, ob Einfach- oder Mehrfachform)
- Erforderliche Maßgenauigkeit und Oberflächenbeschaffenheit sowie die gegebenenfalls vorgesehene Oberflächenbehandlung
- Angaben über die bisherige Herstellungsweise und dabei gegebenenfalls aufgetretene Mängel sowie Bekanntgabe des vorher verwendeten Werkstoffes

Während bei anderen Gießverfahren, wie etwa Sand- und Kokillenguss – wenn auch nur als Anhaltspunkt – die Preise auf das Gewicht des Stückes bezogen werden können, ist diese Art der Kalkulation für Druckguss nicht anwendbar. Das Gewicht ist hierfür nicht maßgebend. Einen deutlich größeren Einfluss auf den Preis haben z. B. die Kompliziertheit eines Druckgussstückes, die Gießleistung oder die erzielbaren Einsparungen. Der Stückpreis muss daher für jedes Druckgussstück besonders ermittelt werden. Der Abnehmer sollte bei einem Angebotsvergleich keinesfalls die Kosten vergessen, die bei Teilen aus konkurrierenden Herstellungsverfahren bis zum montagefertigen Zustand der angefragten Konstruktionselemente oft noch in seiner eigenen Fertigung anfallen.

7 Weiterführende Literatur

Kammer, Dr. Catrin u.a. (Hrsg.): **Aluminium Taschenbuch**, Band 2, 16. Auflage, Beuth Praxis, Berlin, 2009

Aluminium-Zentrale (Hrsg.): **Magnesium Taschenbuch**, 1. Auflage, Aluminium-Verlag Düsseldorf, 2000

Brunhuber, Ernst: **Praxis der Druckgussfertigung**, 3. Auflage, Fachverlag Schiele & Schön Berlin, 1960

Nogowizin, Boris: **Theorie und Praxis des Druckgusses**, 1. Auflage, Fachverlag Schiele & Schön Berlin, 2011

Porter, Frank C.: Zinc Handbook – **Properties, Processing and Use in Design**, 1991

Ruhland, Norbert T.: **Druckgießen für Praktiker**, Giesserei-Verlag Düsseldorf, 2003

Andresen, William: **Die Cast Engineering**, CRC Press, 2004

Verband der Aluminium Recycling Industrie (Hrsg.): **Aluminium Gusslegierungen**, 6. Auflage, Giesserei-Verlag Düsseldorf, 1997

Verein Deutscher Giessereifachleute, Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): **Konstruieren mit Gusswerkstoffen**, Giesserei-Verlag Düsseldorf, 1966

Vereinigung Deutscher Schmelzhütten (Hrsg.): **Vom Vorstoff bis zur fertigen Legierung**, Aluminium-Verlag Düsseldorf, 2000

Zinkberatung e.V. (Hrsg.): **Gießen mit Zink**, Düsseldorf, 1982

7.2 Normen und Richtlinien

7.2.1 Normen

DIN 13/50	Metrisches ISO-Gewinde allgemeiner Anwendung – Teil 50: Kombination von Toleranzklassen für gefurchte Innengewinde
DIN 7500/1-2	Gewindefurchende Schrauben für Metrisches ISO-Gewinde
DIN 1530/1-3	Press-, Spritzgieß- u. Druckgießwerkzeuge – Auswerferstifte
DIN EN 1706	Aluminium und Aluminiumlegierungen – Gussstücke – Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften
DIN EN 1753	Magnesium und Magnesiumlegierungen – Blockmetalle und Gussstücke aus Magnesiumlegierungen
DIN EN 1982	Kupfer und Kupferlegierungen – Blockmetalle und Gussstücke
DIN EN 12844	Zink und Zinklegierungen – Gussstücke – Spezifikationen
DIN EN ISO 1302	Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Angabe der Oberflächenbeschaffenheit in der technischen Produktdokumentation
DIN EN ISO 8062/1-3	Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Maß-, Form- und Lagetoleranzen für Formteile
ISO 286	Geometrische Produktspezifikation (GPS) – ISO-Toleranzsystem für Längenmaße

Folgende Normen sind zurückgezogen und gelten nur noch für bestehende Konstruktionen:

DIN 1680/1-2	Allgemeintoleranzen und Bearbeitungszugaben – Allgemeines/Allgemeintoleranzsystem
DIN 1687/4	Allgemeintoleranzen und Bearbeitungszugaben – Gussrohnteile aus Schwermetallegerungen
DIN 1688/4	Allgemeintoleranzen und Bearbeitungszugaben – Gussrohnteile aus Leichtmetallegerungen

7.2.2 BDG-Richtlinien

M80	Richtlinien über die Wärmebehandlung von Druckgießformen
M81	Hinweise zur Konstruktion und Anfertigung von Druckgießformen
M82	Formenbaustähle ...
M83	Schweißen von Druckgießformen
P201	Volumendefizite von Gussteilen aus NE-Metallen (für bestehende Konstruktionen)
P202	Volumendefizite von Gussstücken aus Aluminium-, Magnesium- und Zinkgusslegierungen

Die Wiedergabe der Auszüge aus den DIN-Normen erfolgt mit Genehmigung des DIN, Deutsches Institut für Normung e.V. Maßgebend für das Anwenden der Normen ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Berlin erhältlich sind.

8 Anhang

Tabelle 11a: Längenmaßtoleranzen des Gussstückes (DCT)

Maße in Millimeter

Nennmaße des Formteils		Längenmaßtoleranz für Maßtoleranzgrade von Gussstücken ^a																
		DCTG 1	DCTG 2	DCTG 3	DCTG 4	DCTG 5	DCTG 6	DCTG 7	DCTG 8	DCTG 9	DCTG 10	DCTG 11	DCTG 12	DCTG 13	DCTG 14	DCTG 15	DCTG 16 ^b	
—	≤ 10	0,09	0,13	0,18	0,26	0,36	0,52	0,74	1	1,5	2		2,8	4,2	—	—	—	—
> 10	≤ 16	0,1	0,14	0,2	0,28	0,38	0,54	0,78	1,1	1,6	2,2		3	4,4	—	—	—	—
> 16	≤ 25	0,11	0,15	0,22	0,3	0,42	0,58	0,82	1,2	1,7	2,4		3,2	4,6	6	8	10	12
> 25	≤ 40	0,12	0,17	0,24	0,32	0,46	0,64	0,9	1,3	1,8	2,6		3,6	5	7	9	11	14
> 40	≤ 63	0,13	0,18	0,26	0,36	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8		4	5,6	8	10	12	16
> 63	≤ 100	0,14	0,2	0,28	0,4	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2		4,4	6	9	11	14	18
> 100	≤ 160	0,15	0,22	0,3	0,44	0,62	0,88	1,2	1,8	2,5	3,6		5	7	10	12	16	20
> 160	≤ 250	—	0,24	0,34	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4		5,6	8	11	14	18	22
> 250	≤ 400	—	—	0,4	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4		6,2	9	12	16	20	25
> 400	≤ 630	—	—	—	0,64	0,9	1,2	1,8	2,6	3,6	5		7	10	14	18	22	28
> 630	≤ 1 000	—	—	—	—	1	1,4	2	2,8	4	6		8	11	16	20	25	32
> 1 000	≤ 1 600	—	—	—	—	—	1,6	2,2	3,2	4,6	7		9	13	18	23	29	37
> 1 600	≤ 2 500	—	—	—	—	—	—	2,6	3,8	5,4	8		10	15	21	26	33	42
> 2 500	≤ 4 000	—	—	—	—	—	—	—	4,4	6,2	9		12	17	24	30	38	49
> 4 000	≤ 6 300	—	—	—	—	—	—	—	—	7	10		14	20	28	35	44	56
> 6 300	≤ 10 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11		16	23	32	40	50	64

^a Für Wanddicken in den Graden DCTG 1 bis DCTG 15 gilt der nächsthöhere Grad.

^b Grad DCTG 16 gilt nur für Wanddicken, die allgemein mit Grad bis DCTG 15 festgelegt sind.

ANMERKUNG: Bei Druckguss wird aus besonderen technischen Gründen oft eine asymmetrische Toleranzanordnung angewendet.

Tabelle 11b: Maßtoleranzgrade für Großserien- oder Massenfertigung von Rohgussstücken

Verfahren	Toleranzgrad DCTG (informativ)										
	Gusswerkstoff										
	Kupferlegierungen	Zinklegierungen	Leichtmetalllegierungen								
Druckguss	6 bis 8	3 bis 6	a								
ANMERKUNG 1 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.											
ANMERKUNG 2 Für komplizierte Gussstücke wird ein Grad größer empfohlen.											
a Das Größtmaß hat großen Einfluss auf die Wahl der Toleranzklasse. Die folgenden Toleranzgrade werden für Gussstücke mit Größtmaß, Maßtoleranzgrad DCTG, empfohlen:											
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">— ≤ 50 mm</td> <td style="width: 50%;">DCTG 6;</td> </tr> <tr> <td>> 50 mm ≤ 180 mm</td> <td>DCTG 7;</td> </tr> <tr> <td>> 180 mm ≤ 500 mm</td> <td>DCTG 8;</td> </tr> <tr> <td>> 500 mm</td> <td>DCTG 9.</td> </tr> </table>				— ≤ 50 mm	DCTG 6;	> 50 mm ≤ 180 mm	DCTG 7;	> 180 mm ≤ 500 mm	DCTG 8;	> 500 mm	DCTG 9.
— ≤ 50 mm	DCTG 6;										
> 50 mm ≤ 180 mm	DCTG 7;										
> 180 mm ≤ 500 mm	DCTG 8;										
> 500 mm	DCTG 9.										

8 Anhang

Tabelle 12a: Erforderliche Bearbeitungszugaben

Maße in Millimeter

Größtmaß		Grad der erforderlichen Bearbeitungszugabe (RMAG)										
		RMAG A	RMAG B	RMAG C	RMAG D	RMAG E	RMAG F	RMAG G		RMAG H	RMAG J	RMAG K
–	≤ 40	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5		0,7	1	2
> 40	≤ 63	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	≤ 160	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	≤ 400	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	≤ 1 000	0,6	0,9	1,2	1,8	2,5	3,5	5		7	10	14
> 1 000	≤ 1 600	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,5		8	11	16
> 1 600	≤ 2 500	0,8	1,1	1,6	2,2	3,2	4,5	6		9	13	18
> 2 500	≤ 4 000	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7		10	14	20
> 4 000	≤ 6 300	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8		11	16	22
> 6 300	≤ 10 000	1,1	1,5	2,2	3	4,5	6	9		12	17	24

ANMERKUNG: 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 Spannflächen und der Bezugsflächen oder -stellen zwischen Kunde und Gießerei vereinbart wurden.

Tabelle 12b: Typische, erforderliche Bearbeitungszugaben für Rohgussstücke

Verfahren	Grad der erforderlichen Bearbeitungszugabe, RMAG (informativ)		
	Gusswerkstoff		
	Kupferlegierungen	Zinklegierungen	Leichtmetalllegierungen
Druckguss	B bis D	A bis D	B bis D



**Verband Deutscher
Druckgießereien (VDD)
und
Bundesverband
der Deutschen
Gießerei-Industrie (BDG)**
Hansaallee 203
40549 Düsseldorf
www.bdguss.de