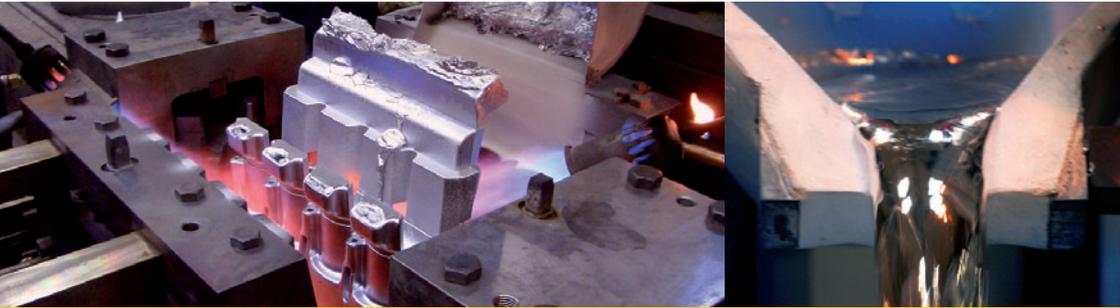
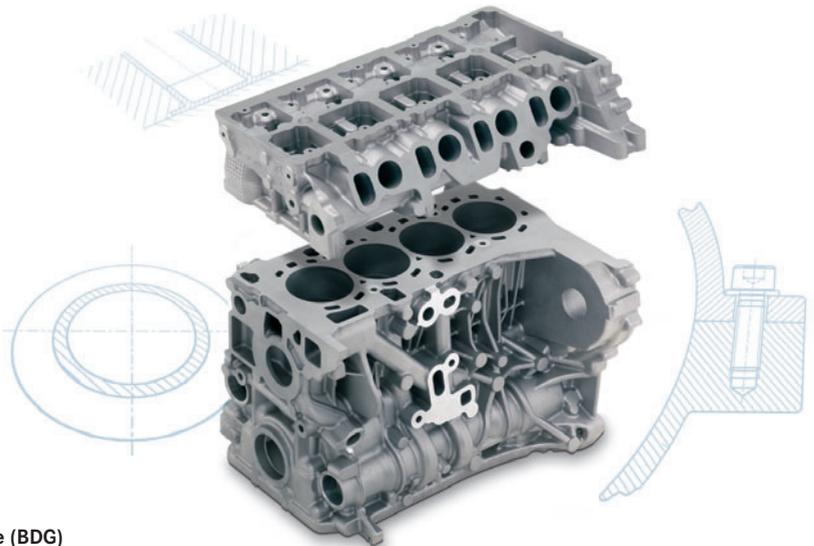


Sand- und -Kokillenguss aus Aluminium



Technische Richtlinien





Impressum

Herausgeber

*Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie
Sohnstraße 70, 40237 Düsseldorf
Telefon: 02 11 / 68 71 – 0
Telefax: 02 11 / 68 71 – 364
Internet: www.bdguss.de*

Überarbeitet durch:

*Urs Brandenberger
Dr. Franz Josef Feikus
Michael Just
Manfred Kadner
Markus Kleemann
Dr. Hubert Koch
Achim Schroth
Aribert Simmack
Pascal Steinküller
Olaf Stuhldreier*

Gestaltung:

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

Titelfotos:

Ohm & Häner, Edgar Schoepal, Nemak Europe

Überarbeitete Fassung Februar 2010

Vorwort

Diese Technischen Richtlinien für Sand- und Kokillenguss aus Aluminium sind in erster Linie für den Konstrukteur und Fertigungsingenieur bestimmt. Sie sind angelehnt an die Abschnitte „Leichtmetallguss“, „Verfahren mit verlorenen Formen“, „Verfahren mit Dauerformen“ und „Verfahrensbedingte Richtlinien“ des im Gießerei-Verlag, Düsseldorf, erschienenen Standardwerkes „Konstruieren mit Gusswerkstoffen“ sowie an weitere grundlegende Veröffentlichungen über Aluminiumguss z. B. im Aluminium-Taschenbuch, in Fachzeitschriften und Mitteilungen verschiedener fachlicher Institutionen. Sie geben den für den Konstrukteur und Fertigungsingenieur wichtigen Stand der Technik wieder. Die Zusammenarbeit mit dem Gießereifachmann und dem Metallurgen wird erleichtert, was der technischen und wirtschaftlichen Entwicklung von gegossenen Bauteilen dient.

Aluminium-Gusswerkstoffe zeichnen sich durch sehr gute Gebrauchseigenschaften aus. Besonders hervorzuheben ist das günstige Festigkeits-/Gewichts-Verhältnis. Die vorteilhaften physikalischen Eigenschaften des Aluminiums sind durch die Metallurgen für die verschiedensten technischen Anforderungen so entwickelt und modifiziert worden, dass die Aluminiumgusslegierungen als Konstruktionswerkstoffe die moderne Technik mittragen. Aluminiumgusswerkstoffe sind hervorragend für die Herstellung von Bauteilen mit Hilfe aller Gießtechnologien geeignet, es liegt also eine ideale Kombination von Werkstoff und Formgebungsverfahren vor.

Die Auswahl der Legierungen richtet sich in erster Linie nach der Funktion des fertigen Gussstücks. Um werkstoff- und gießgerechte Bauteile zu konstruieren und zu fertigen, ist es daher zweckmäßig, wenn sich der Konstrukteur so frühzeitig wie möglich mit der ausführenden Gießerei in Verbindung setzt.

Der Konstrukteur, der für das Funktionieren des Bauteiles und die wirtschaftliche Herstellung verantwortlich ist, kann dieser Broschüre viele Möglichkeiten, Hilfen und Voraussetzungen für das Konstruieren mit Aluminium-Gusswerkstoffen entnehmen.

Düsseldorf, im Februar 2010

Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (BDG)

Über Druckguss unterrichtet in gleicher Weise die Schrift „Druckguss aus NE-Metallen – Technische Richtlinien“. Herausgegeben vom Verband Deutscher Druckgießereien (VDD), Sohnstr. 70, 40237 Düsseldorf.

Inhaltsverzeichnis

1	Aluminium-Gusswerkstoffe für Sand- und Kokillenguss	4
1.1	Überblick Werkstoffeigenschaften	5
1.2	Mechanische Eigenschaften – Zugversuch	6
1.3	Weitere mechanische Eigenschaften	11
1.3.1	Warmfestigkeit	11
1.3.2	Werkstoffverhalten bei tiefen und hohen Temperaturen	13
1.3.3	Sonstige Festigkeitseigenschaften	14
1.4	Chemische Beständigkeit	15
1.5	Sonstige Eigenschaften	16
1.6	Gießeigenschaften und Hinweise zur Verarbeitung	18
1.7	Einsatzbereiche der Legierungsgruppen	20
1.8	Sonderanwendungen	21
2	Wärmebehandlung von Aluminium-Gussstücken	22
3	Form- und Gießverfahren	24
3.1	Sandgießverfahren	25
3.2	Kokillengießverfahren	27
3.2.1	Schwerkraft-Kokillengießverfahren	27
3.2.2	Niederdruck-Kokillengießverfahren	28
3.2.3	Gegendruck-Kokillengießverfahren	28
3.2.4	Schleuder-Kokillengießverfahren	29
3.3	Sondergießverfahren	30
3.3.1	Lost-Foam Gießverfahren	30
3.3.2	Maskenformverfahren	30
3.4	Herstellung und Verwendung von Sandkernen	31
3.5	Anwendungsbereiche Gießverfahren	32
4	Gestaltung	34
4.1	Allgemeines	34
4.2	Teilung	36
4.3	Speiserflächen und Anschnittleisten	36
4.4	Wanddicken, Übergänge, Verrippungen	38
4.5	Aushebeschrägen, Auswerferaugen	42
4.6	Bohrungen, Durchbrüche	44

4.7	Kerne	47
4.8	Hinterschnidungen/Schieber	48
4.9	Eingießeile	51
4.10	Gewindeinsätze	52
4.11	Schriftzeichen	53
4.12	Bearbeitungszugaben	54
4.13	Toleranzen	56
4.13.1	Einhaltbare Toleranzen (erzielbare Genauigkeit)	58
4.13.2	Allgemeintoleranzen	60
4.13.3	Form- und Lagetoleranzen	61
5	Prozesssimulation zur Bauteil- und Werkzeugauslegung	62
5.1	Zielsetzungen der gießtechnischen Simulation	62
5.2	Mathematische und physikalische Modelle	62
5.3	Aufbau der Programme	64
5.4	Ablaufbeschreibung der Simulationsrechnung	64
5.5	Simulation in der Lebensdauervorhersage	66
5.6	Technische und organisatorische Integration	66
6	Oberflächenbehandlung	68
7	Qualität	70
7.1	Werkstoff, Gefüge, Oberfläche	70
7.1.1	Chemische Zusammensetzung	70
7.1.2	Gefüge	70
7.1.3	Rissprüfung (Farbeindringverfahren)	71
7.1.4	Oberflächenrauheit von Gussstücken	72
7.2	Prozessfähigkeit	72
7.3	Rückverfolgbarkeit	73
7.4	Beispiele für Kennzeichnungsarten	74
8	Hinweise zur Gussstückanfrage und Wirtschaftlichkeit	76
9	Weiterführende Literatur	78

1. Aluminium-Gusswerkstoffe für Sand- und Kokillenguss

Aluminium-Gusswerkstoffe sind in erster Linie Konstruktionswerkstoffe; jedoch werden vielfach auch funktionelle Eigenschaften genutzt (z. B. Leitfähigkeit, Korrosions- und Witterungsbeständigkeit, nicht magnetisches Verhalten). Aluminium ist zu einem Begriff für wirtschaftliche und rationelle Fertigung qualitativ hochwertiger Bauteile geworden. Die grundlegenden Vorteile, die – einzeln oder zusammengekommen – für Verwendung und Wirtschaftlichkeit von Aluminiumguss entscheidend sind, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Gute mechanische Eigenschaften (auch bei tiefen Temperaturen) bei geringer Dichte (hohe Gewichtseinsparung gegenüber Guss-eisen, Stahl oder Schwermetallen möglich => Leichtbau),
- Gute Gießeigenschaften bei Anwendbarkeit vielfältiger Gießverfahren,
- Endformnahe Bauteilfertigung (hohe Maßgenauigkeit/Oberflächen-güte) gießtechnisch realisierbar,
- Saubere, glatte Oberflächen mit vielseitigen Veredelungs-möglichkeiten,
- Gute Verschleißigenschaften,
- Leichte Spanbarkeit, d. h. kurze Bearbeitungszeiten und geringer Werkzeugverschleiß,
- Gute Witterungsbeständigkeit und chemische Beständigkeit, meerwasserfest,
- Gute Wärmeleitfähigkeit und elektrische Leitfähigkeit,
- Nicht magnetisch,
- Hohes Reflexionsvermögen für Licht, Wärme und elektro-magnetische Wellen, keine UV-Empfindlichkeit,
- Einfaches Rezyklieren.

In der Regel werden zur Fertigung von Sand- und Kokillengussstücken genormte Legierungen verwendet. 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. Für die Aluminiumgusswerkstoffe ist die *DIN EN 1676* anzuwenden; für Aluminiumgussstücke die *DIN EN 1706*.

Da in den Normen in der Regel die Bereiche der chemischen Zusammen-setzung weit gespannt sind, ist es oft empfehlenswert, diese auf den

Anwendungsfall anzupassen, d. h. einzuschränken, um eine gleichmäßige Gussqualität zu gewährleisten. Dies soll in enger Abstimmung mit dem Gießer erfolgen. Die früher übliche scharfe Differenzierung in Hütten- und Umschmelzlegierungen wird heute nicht mehr eingehalten. Es existieren nahezu stufenlose Übergänge hinsichtlich der Gehalte an Begleitelementen.

1.1 Überblick Werkstoffeigenschaften

Um für einen bestimmten Anwendungsfall den richtigen Werkstoff auswählen zu können, müssen die Eigenschaften bekannt sein. Gusswerkstoffe erfüllen viele Anforderungen, wenn auch nicht immer alle gleichzeitig. Man hat daher bei der Werkstoffwahl sorgfältig abzuwägen, auf welche Eigenschaften es besonders ankommt und welche Legierung bzw. Legierungsgruppe diese umfassend in sich vereinigt. Neben den physikalischen und mechanischen Eigenschaften haben die Gießeigenschaften einen maßgeblichen Einfluss auf das Erreichen der mechanischen Kennwerte. Die Festlegung der Gusslegierung für ein Bauteil sollte daher immer in enger Abstimmung zwischen Konstrukteur und Gießer erfolgen. Einen allgemeinen Überblick über die Werkstoffeigenschaften (physikalische und mechanische Kennwerte) der Aluminium-Gusslegierungen gibt **Tabelle 1**.

Allgemeine Werkstoffeigenschaften Aluminiumlegierungen		
Dichte	[10 ³ kg/m ³]	2,65 ... 2,75
Längenausdehnungskoeffizient 20 - 100 °C	[10 ⁻⁶ /K]	20 ... 24
Wärmeleitfähigkeit	[W/m*K]	80 ... 220
Elektrische Leitfähigkeit	[10 ⁶ S/m]	12 ... 28
E-Modul	[kN/mm ²]	68 ... 78
Schubmodul	[kN/mm ²]	22 ... 28
Querkontraktionszahl (Poisson-Zahl)		0,32 ... 0,36
spez. Wärmekapazität bei RT	[kJ/kg*K]	0,9 ... 1,0
Schmelzwärme	[kJ/kg]	380 ... 480

Tabelle 1: Übersicht über die Eigenschaften von Aluminium-Gusslegierungen (bei Raumtemperatur (RT), sofern kein anderer Bereich angegeben)

1. Aluminium-Gusswerkstoffe für Sand- und Kokillenguss

1.2 Mechanische Eigenschaften – Zugversuch

Tabelle 2a: Werkstoffeigenschaften der Aluminium-Sandgusslegierungen

Zur Erleichterung der Werkstoffauswahl für den Konstrukteur und Fertigungsingenieur gibt die **Tabelle 2a** einen Überblick für den Sandguss, die **Tabelle 2b** für den Kokillenguss mit Schwerpunkt auf den mechanischen Eigenschaften. Alle Angaben sind angelehnt an die *DIN EN 1706*.

Legierungsgruppe	Werkstoffbezeichnung		Werkstoffzustand	mechanische Eigenschaften RT-Zugversuch				Warmfestigkeit *) bis 200 °C
	chemische Symbole	numerisch		Zugfestigkeit R_m [N/mm ²]	Dehngrenze $R_{p0,2}$ [N/mm ²]	Bruchdehnung A [%]	Härte [HBW]	
Al	Al 99,6E	-	F	75	-	30	17	5
	Al 99,7E		F	75	-	30	17	5
AlCu	EN AC-Al Cu4TiMg	EN AC-21000	T4	300	200	5	90	2
	EN AC-Al Cu4Ti	EN AC-21100	T6	300	200	3	95	2
	EN AC-Al Cu5MgMn	EN AC-21200	T4	280	180	5	85	2
AlMgSiTi	EN AC-Al Si2MgTi	EN AC-41000	F	330	225	3	100	2
			T6	140	70	3	50	
AlSi7Mg	EN AC-Al Si7Mg	EN AC-42000	F	240	180	3	85	
			T6	140	80	2	50	3
	EN AC-Al Si7Mg0,3	EN AC-42100	T6	220	180	1	75	3
AlSi10Mg	EN AC-Al Si7Mg0,6	EN AC-42200	T6	230	190	2	75	3
			T6	250	210	1	85	3
	EN AC-Al Si10Mg(b)	EN AC-43000	F	150	70	6	45	3
			T6	160	80	1	50	3
EN AC-Al Si10MgCu	EN AC-43200	F	220	180	1	75	3	
		T6	220	180	1	75	3	
EN AC-Al Si9Mg	EN AC-43300	T6	230	190	2	75	3	
AlSi	EN AC-Al Si11	EN AC-44000	F	150	70	4	50	3
	EN AC-Al Si12(b)	EN AC-44100	F	150	70	5	50	3
	EN AC-Al Si12(a)	EN AC-44200	F	150	70	4	50	3
	EN AC-Al Si9	EN AC-44400	F	170	80	4	50	3

Legierungsgruppe	Werkstoffbezeichnung		Werkstoffzustand	mechanische Eigenschaften RT-Zugversuch				Warmfestigkeit *) bis 200 °C
	chemische Symbole	numerisch		Zugfestigkeit R_m [N/mm ²]	Dehngrenze $R_{p0.2}$ [N/mm ²]	Bruchdehnung A [%]	Härte [HBW]	
AlSi5Cu	EN AC-Al Si6Cu4	EN AC-45000	F	150	90	1	60	1
	EN AC-Al Si5Cu1Mg	EN AC-45300	T4	170	120	2	80	2
			T6	230	200	<1	100	2
	EN AC-Al Si7Cu0,5Mg	EN AC-45500	T6	250	190	1	85	2
AlSi9Cu	EN AC-Al Si8Cu3	EN AC-46200	F	150	90	1	60	2
	EN AC-Al Si9Cu1Mg	EN AC-46400	F	135	90	1	60	2
	EN AC-Al Si7Cu2	EN AC-46600	F	150	90	1	60	2
AlSi(Cu)	EN AC-Al Si12(Cu)	EN AC-47000	F	150	80	1	50	2
AlMg	EN AC-Al Mg3(a)	EN AC-51100	F	140	70	3	50	2
	EN AC-Al Mg5	EN AC-51300	F	160	90	3	55	2
	EN AC-Al Mg5(Si)	EN AC-51400	F	160	100	3	60	2
AlZnMg	EN AC-AlZn10Si8Mg	EN AC-71100	T1	220	200	1	90	3

*) Bewertungsschema Warmfestigkeit

Werkstoffzustände

- | | |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| (1) ausgezeichnet | (F) Gusszustand |
| (2) gut | (T1) Kontrollierte Abkühlung nach dem Guss und kaltausgelagert |
| (3) annehmbar | (T4) Lösungsgeglüht und kaltausgelagert |
| (4) unzureichend | (T5) Kontrollierte Abkühlung nach dem Guss und warmausgelagert oder überaltert |
| (5) nicht empfehlenswert | (T6) Lösungsgeglüht und vollständig warmausgelagert |
| | (T64) Lösungsgeglüht und teilausgelagert |
| | (T7) Lösungsgeglüht und überaltert |

1. Aluminium-Gusswerkstoffe für Sand- und Kokillenguss

Legierungs- gruppe	Werkstoffbezeichnung		Werkstoff- zustand	mechanische Eigenschaften RT-Zugversuch				Warmfestigkeit *) bis 200 °C
	chemische Symbole	numerisch		Zugfestigkeit R _m [N/mm ²]	Dehngrenze R _{p0,2} [N/mm ²]	Bruchdehnung A [%]	Härte [HBW]	
Al	Al 99,6E	–	F	75	–	30	17	5
	Al 99,7E	–	F	75	–	30	17	5
AlCu	EN AC-Al Cu4TiMg	EN AC-21000	T4	320	200	8	95	2
	EN AC-Al Cu4Ti	EN AC-21100	T6	330	220	7	95	2
			T64	320	180	8	90	2
	EN AC-Al Cu5MgMn	EN AC-21200	T4	400	240	8	110	2
T7			410	325	5	120	2	
AlMgSiTi	EN AC-Al Si2MgTi	EN AC-41000	F	170	70	5	50	
			T6	260	180	5	85	
AlSi7Mg	EN AC-Al Si7Mg	EN AC-42000	F	170	90	2,5	55	3
			T6	260	220	1	90	3
			T64	240	200	2	80	3
	EN AC-Al Si7Mg0,3	EN AC-42100	T6	290	210	4	90	3
			T64	250	180	8	80	3
	EN AC-Al Si7Mg0,6	EN AC-42200	T6	320	240	3	100	3
T64			290	210	6	90	3	
AlSi10Mg	EN AC-Al Si10Mg(b)	EN AC-43000	F	180	90	2,5	55	3
			T6	260	220	1	90	3
			T64	240	200	2	80	3
	EN AC-Al Si10MgCu	EN AC-43200	F	180	90	1	55	3
			T6	240	200	1	80	3
	EN AC-Al Si9Mg	EN AC-43300	T6	290	210	4	90	3
			T64	250	180	6	80	3

Tabelle 2b: Werkstoff-
eigenschaften der
Aluminium-Kokillen-
gusslegierungen

Legierungsgruppe	Werkstoffbezeichnung		Werkstoffzustand	mechanische Eigenschaften RT-Zugversuch				Warmfestigkeit *) bis 200 °C
	chemische Symbole	numerisch		Zugfestigkeit R _m [N/mm ²]	Dehngrenze R _{p0,2} [N/mm ²]	Bruchdehnung A [%]	Härte [HBW]	
AlSi	EN AC-Al Si11	EN AC-44000	F	170	80	7	45	3
	EN AC-Al Si12(b)	EN AC-44100	F	170	80	5	55	3
	EN AC-Al Si12(a)	EN AC-44200	F	170	80	6	55	3
	EN AC-Al Si9	EN AC-44400	F	180	90	5	55	3
AlSi5Cu	EN AC-Al Si6Cu4	EN AC-45000	F	170	100	1	75	1
	EN AC-Al Si5Cu3Mg	EN AC-45100	T4	270	180	2,5	85	2
			T6	320	280	< 1	110	2
	EN AC-Al Si5Cu1Mg	EN AC-45300	T4	230	140	3	85	2
			T6	280	210	< 1	110	2
	EN AC-Al Si5Cu3	EN AC-45400	T4	230	110	6	75	2
EN AC-Al Si7Cu0,5Mg	EN AC-45500	T6	320	240	4	100	2	
AlSi9Cu	EN AC-Al Si8Cu3	EN AC-46200	F	170	100	1	75	2
	EN AC-Al Si9Cu1Mg	EN AC-46300	F	180	100	1	80	2
	EN AC-Al Si7Cu2	EN AC-46400	F	170	100	1	75	2
			T6	275	235	1,5	105	2
EN AC-AlSi7Cu2	EN AC-46600	F	170	100	1	75	2	
AlSi(Cu)	EN AC-Al Si12(Cu)	EN AC-47000	F	170	90	2	55	2
AlSi(Cu)	EN AC-Al Si12CuNiMg	EN AC-48000	T5	200	185	< 1	90	1
			T6	280	240	< 1	100	1
AlMg	EN AC-Al Mg3(a)	EN AC-51100	F	150	70	5	50	2
	EN AC-Al Mg5	EN AC-51300	F	180	100	4	60	2
	EN AC-Al Mg5(Si)	EN AC-51400	F	180	110	3	65	2
AlZnMg	EN AC-AlZn10Si8Mg	EN AC-71100	T1	280	210	2	105	3

*) Bewertungsschema Warmfestigkeit

Werkstoffzustände

(1) ausgezeichnet

(2) gut

(3) annehmbar

(4) unzureichend

(5) nicht empfehlenswert

(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

(T64) Lösungsgeglüht und teilausgelagert

(T7) Lösungsgeglüht und überaltert

1. Aluminium-Gusswerkstoffe für Sand- und Kokillenguss

Für den Nachweis der geforderten mechanischen Eigenschaften nach *DIN EN 1706* (siehe **Tabellen 2 a-b**) können sowohl getrennt gegossene und angegossene Probestäbe verwendet werden wie auch Probestäbe, die aus dem Gussstück entnommen werden. Für die Probestabherstellung bzw. Probestabentnahme sind die in **Tabelle 3** aufgeführten Punkte einzuhalten. Es ist weiterhin zu beachten, dass Proben aus dem Gussstück möglichst aus belastungsrelevanten Querschnitten entnommen werden sollen. Querschnitte, die mechanisch bearbeitet werden (Bearbeitungszugabe, Bohrung, etc.), sind für die Prüfung der mechanischen Eigenschaften bevorzugt auszuwählen.

Tabelle 3: Vorgaben zur Probestabentnahme, -geometrie und Einhaltung von Mindestwerten in der Abnahmeprüfung

Probestück	Gießverfahren	Einzuhaltender Mindestwert in der Abnahmeprüfung (RT-Zugversuch)	Probestabdurchmesser (Rohgussstück)
			[mm]
getrennt gegossen	Sandguss Kokillenguss	Mindestwert des angegebenen Bereichs	≥ 12,0
angegossen	Sandguss Kokillenguss	nach Vereinbarung	nach Vereinbarung Rundproben ≥ 4,0
dem Gussstück entnommen *)	Sandguss Kokillenguss	$R_m \geq 70\%$ des Mindestwertes $R_{p0,2} \geq 70\%$ des Mindestwertes $A \geq 50\%$ des Mindestwertes	

*) Entnahmeposition aus dem Gussteil ist zu vereinbaren

Wird vom Gussabnehmer eine Abnahmeprüfung entsprechend der *EN 10204* gefordert (z. B. zur chemischen Zusammensetzung oder zu den mechanischen Kennwerten), so muss diese bei der Bestellung vereinbart werden.

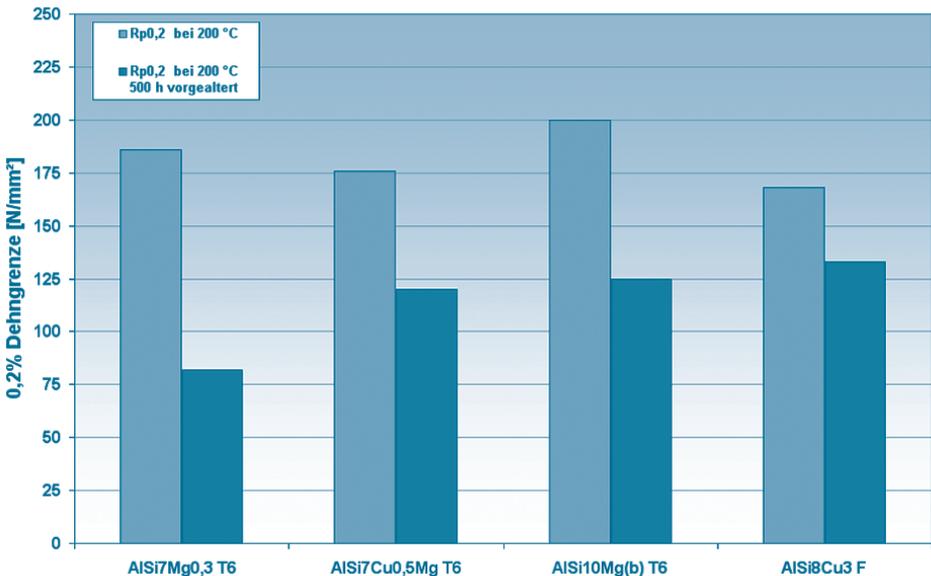
1.3 WEITERE MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN

1.3.1 Warmfestigkeit

Die hohe Wärmeleitfähigkeit der Aluminium-Gusslegierungen ermöglicht im Bauteil eine schnelle Wärmeaufnahme und -ableitung. Dadurch kann die Temperaturbelastung des Bauteils auch bei hoher Oberflächentemperatur unterhalb kritischer Werte gehalten werden. Durch schnellen Temperaturausgleich werden Wärmespannungen und Rissbildung vermieden. Bei einer Bauteilbeanspruchung über einen längeren Zeitraum im Temperaturbereich über 150 °C ist für Al-Gusslegierungen, die insbesondere Magnesium als festigkeitssteigerndes Element enthalten, zu beachten, dass die Ausgangswerte für die Festigkeit legierungsabhängig um mehr als 50% abfallen können. Für den Anwendungsbereich von Motorkomponenten (insbesondere für Zylinderköpfe) hat sich die Kenntnis dieses Werkstoffverhaltens als unverzichtbar erwiesen.

Bild 1a: Warmfestigkeit von AlSi-Gusslegierungen (separat gegossene Probestäbe aus Kokillenguss)

0,2%-Dehngrenze bei einer Prüftemperatur von 200 °C im Vergleich unmittelbar nach Wärmebehandlung und nach 500-stündiger Temperaturbelastung von 200 °C.



1. Aluminium-Gusswerkstoffe für Sand- und Kokillenguss

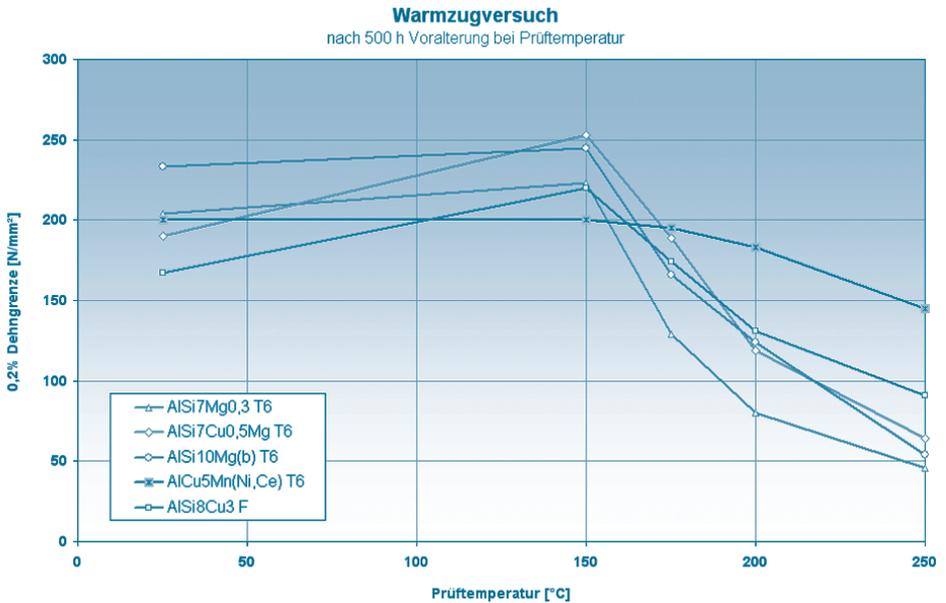
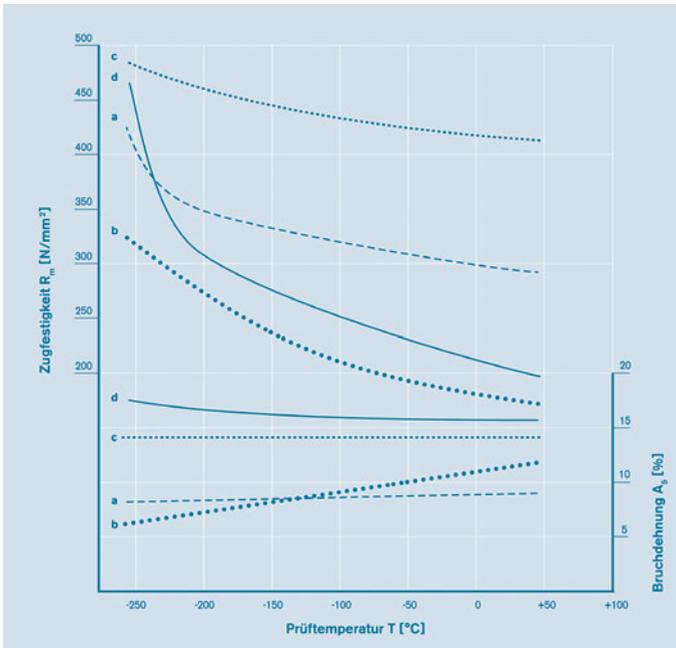


Bild 1b: Warmfestigkeit von AlSi-Gusslegierungen (separat gegossene Probestäbe aus Kokillenguss). 0,2 % Dehngrenze als Funktion der Prüftemperatur nach 500-stündiger Temperaturbelastung, jeweils bei Prüftemperatur.

1.3.2 Werkstoffverhalten bei tiefen und hohen Temperaturen

Auf das grundsätzliche Fehlen der Versprödung bei tiefen Temperaturen für alle Aluminium-Gusslegierungen ist besonders hinzuweisen. Zugfestigkeit, Biegewechselfestigkeit und Schlagbiege Zähigkeit nehmen mit sinkenden Temperaturen zu, die Bruchdehnung in der Regel leicht ab. Dieses Verhalten ist in den **Bildern 2 und 3** aufgezeigt.



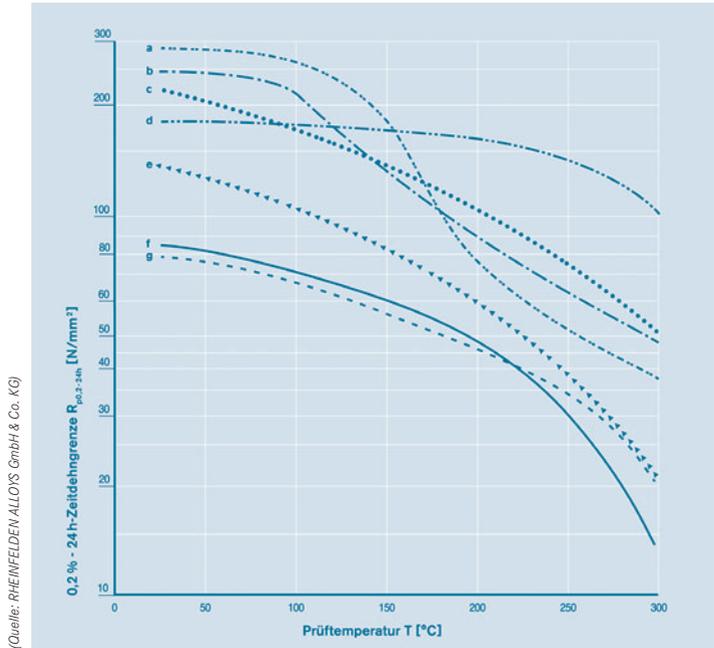
(Quelle: RHEINFELDEN ALLOYS GmbH & Co. KG)

Bild 2: Verhalten von Aluminium-Gusslegierungen bei tiefen Temperaturen, Einfluss auf Zugfestigkeit und Bruchdehnung bei verschiedenen Legierungen

- (a) EN AC-Al Si7Mg0,3 T6, (b) EN AC-Al Si11 F, (c) EN AC-Al Cu4Ti T64, (d) EN AC-Al Mg3 F

1. Aluminium-Gusswerkstoffe für Sand- und Kokillenguss

Bild 3: Verhalten von Aluminium-Gusslegierungen bei hohen Temperaturen, Einfluss auf 0,2%-24h-Zeitdehngrenze bei verschiedenen Legierungen



- (a) EN AC-Al Si9Mg T6, (b) EN AC-Al Zn10Si8Mg T1,
(c) EN AC-Al Si12CuNiMg T5, (d) EN AC-Al Cu4NiMg T4, (e) EN AC-Al Si9 F,
(f) EN AC-Al Si11 F, (g) EN AC-Al Mg3 F

1.3.3 Sonstige Festigkeitseigenschaften

Nachstehende Beziehungen gelten als Richtwerte für weitere Festigkeitseigenschaften:

- Stauchgrenze = 0,8 bis 1,0 * $R_{p0,2}$
- Druckfestigkeit = 1,5 * R_m
- Scherfestigkeit = 0,8 * R_m
- Verdrehfestigkeit = 0,2 bis 0,5 * $R_{p0,2}$

Diese Werte gelten für statische Belastungen. Bei dynamischer Beanspruchung sind Kennwerte zu verwenden, die auch unter zyklischer Belastung ermittelt worden sind. Da Kennwerte, die unter zyklischer Beanspruchung gemessen werden, stark bauteilabhängig sind, empfiehlt es sich, Bauteilprüfungen durchzuführen.

1.4 Chemische Beständigkeit

Die meisten Aluminiumgusslegierungen weisen eine sehr gute Korrosionsbeständigkeit auf. Abhängig von der chemischen Legierungszusammensetzung besteht eine ausreichende bis ausgezeichnete Beständigkeit gegenüber Witterungseinflüssen. Kupferfreie Legierungen der Gruppen AlSi und AlMg zeichnen sich durch eine bemerkenswert gute Beständigkeit gegenüber salzhaltiger Meeresluft und Meerwasser aus. Hierzu gehört auch die gute praktische Bewährung von Radiatoren, z. B. aus *EN AC-Al Si12(a)*, für die Warmwasserheizung. Allgemein gilt, dass die reinen – insbesondere kupferfreien – Legierungen die bessere Korrosionsbeständigkeit aufweisen.

In der Praxis bilden sich vielfach Deckschichten aus, die einen guten Schutz für das darunterliegende Metall bilden, so dass in manchen Fällen auch kupferhaltige Legierungen eingesetzt werden können (z. B. für Motorblöcke und Zylinderköpfe). Chemisch beständig sind Aluminium-Gusslegierungen im Bereich der pH-Werte von 5–8. Bei Kontakt mit anderen Metallen ist zu beachten, dass Aluminium aufgrund des häufig geringeren elektrochemischen Potentials (z. B. gegenüber Fe oder Cu) leicht angegriffen werden kann. Hier sind konstruktive Schutzmaßnahmen zu treffen.

Ein korrosionsbeanspruchtes Gussstück sollte eine möglichst glatte und dichte Oberfläche aufweisen. Die unbearbeitete Guss Haut stellt eine gute Schutzschicht dar.

1. Aluminium-Gusswerkstoffe für Sand- und Kokillenguss

1.5 Sonstige Eigenschaften

In **Tabelle 4** sind eine Reihe weiterer für die mechanische Bearbeitung und den Einsatz von Al-Gussteilen wichtiger Eigenschaften aufgeführt.

Legierungs- gruppe	Werkstoffbezeichnung		Zerspanbarkeit *)		Dekorative Anodisation *)	Polierfähigkeit *)	Korrosionsbeständigkeit *)	elektrische Leitfähigkeit [10 ⁶ S/m] *)	Wärmeleitfähigkeit [W/m·K]
	chemische Symbole	numerisch	im Gusszustand	nach Wärmebehandlung					
Al	Al 99,6E	Al 99,6E	4	4	1	2	1	33	180...210
	Al 99,7E	Al 99,7E	4	4	1	2	1	34	180...210
AlCu	EN AC-Al Cu4TiMg	EN AC-21000	–	1	3	2	4	17...20	120...150
	EN AC-Al Cu4Ti	EN AC-21100	–	1	3	2	4		
	EN AC-Al Cu5MgMn	EN AC-21200	–	1	3	2	4		
AlMgSiTi	EN AC-Al Si2MgTi	EN AC-41000	3	2	2	2	2		140...160
AlSi7Mg	EN AC-Al Si7Mg	EN AC-42000	2/3	2	4	3	2/3	20...27	150...170
	EN AC-Al Si7Mg0,3	EN AC-42100	–	2	4	3	2		160...180
	EN AC-Al Si7Mg0,6	EN AC-42200	–	2	4	3	2		150...180
AlSi10Mg	EN AC-Al Si10Mg(b)	EN AC-43000	2/3	2	5	4	2/3		140...170
	EN AC-Al Si10Mg(Cu)	EN AC-43200	2/3	2	5	3	3		130...170
	EN AC-Al Si9Mg	EN AC-43300	2/3	2	5	4	2		150...180
AlSi	EN AC-Al Si11	EN AC-44000	3 ⁴⁾	–	5	4	2	21...26	140...170
	EN AC-Al Si12(b)	EN AC-44100	3	–	5	4	2/3		130...160
	EN AC-Al Si12(a)	EN AC-44200	3	–	5	4	2		140...170
	EN AC-Al Si9	EN AC-44400	3	–	5	4	3		130...150

Tabelle 4: Sonstige
Eigenschaften Al-Guss-
legierungen

Legierungs- gruppe	Werkstoffbezeichnung		Zerspanbarkeit *)		Dekorative Anodisation *)	Polierfähigkeit *)	Korrosionsbeständigkeit *)	elektrische Leitfähigkeit [10 ⁶ S/m] *)	Wärmeleitfähigkeit [W/m·K]
	chemische Symbole	numerisch	im Gusszustand	nach Wärmebehandlung					
AlSi5Cu	EN AC-Al Si6Cu4	EN AC-45000	2	–	4	2	4		110...120
	EN AC-Al Si5Cu3Mg	EN AC-45100	2	1	4	2	4		130
	EN AC-Al Si5Cu1Mg	EN AC-45300	2	2	4	2	4		140...150
	EN AC-Al Si5Cu3	EN AC-45400	2	2	4	2	4		120...130
	EN AC-Al Si7Cu0,5Mg	EN AC-45500	2	2	4	3	2/3		150...165
AlSi9Cu	EN AC-Al Si8Cu3	EN AC-46200	2	–	5	3	4		110...130
	EN AC-Al Si9Cu1Mg	EN AC-46400	2	2	5	4	4		130...150
	EN AC-Al Si7Cu2	EN AC-46600	2	–	5	3	4		120...130
AlSi(Cu)	EN AC-Al Si12(Cu)	EN AC-47000	3	–	5	3	3		130...150
AlSiCuNiMg	EN AC-Al Si12CuNiMg	EN AC-48000	–	2	5	3	3	15...23	130...160
	EN AC-Al Si17Cu4Mg	EN AC-48100	5	2	4	4	4	14...17	120...130
AlMg	EN AC-Al Mg3(a)	EN AC-51100	1	–	1	1	1	17...22	130...140
	EN AC-Al Mg5	EN AC-51300	1	–	1	1	1		110...130
	EN AC-Al Mg5(Si)	EN AC-51400	1	–	2	1	1	14...16	110...140
AlZnMg	EN AC-AlZn10Si8Mg	EN AC-71100	1	–	5	3	3		120...130

*) Bewertungsschema Eigenschaften

- (1) ausgezeichnet
- (2) gut
- (3) annehmbar
- (4) unzureichend
- (5) nicht empfehlenswert

1. Aluminium-Gusswerkstoffe für Sand- und Kokillenguss

1.6 Gießigenschaften und Hinweise zur Verarbeitung

Die **Tabelle 5** gibt Anhaltspunkte zum gießtechnischen Verhalten und Hinweise zur Verarbeitung der verschiedenen Al-Gusslegierungen.

Legierungsgruppe	Werkstoffbezeichnung		Richtwerte zur Verarbeitung					Gießigenschaften		
	chemische Symbole	numerisch	Liquidustemperatur [°C]	Solidustemperatur [°C]	Gießtemperaturbereich [°C]	Schwindmaß Sandguss [%]	Schwindmaß Kokillenguss [%]	Fließvermögen *)	Warmrissebeständigkeit *)	Druckdichtheit *)
Al	Al 99,6E	Al 99,6E	660	660	700 ... 730	1,5 ... 1,9	1,2 ... 1,6	3	2	1
	Al 99,7E	Al 99,7E						3	2	1
AlCu	EN AC-Al Cu4TiMg	EN AC-21000	640	550	690 ... 750	1,1 ... 1,5	0,8 ... 1,2	3	4	4
	EN AC-Al Cu4Ti	EN AC-21100						3	4	4
	EN AC-Al Cu5MgMn	EN AC-21200						4	4	4
AlMgSiTi	EN AC-Al Si2MgTi	EN AC-41000						3	3	3
AlSi7Mg	EN AC-Al Si7Mg	EN AC-42000	620	550	680 ... 750	1,0 ... 1,2	0,7 ... 1,1	2	1	2
	EN AC-Al Si7Mg0,3	EN AC-42100						2	1	2
	EN AC-Al Si7Mg0,6	EN AC-42200						2	1	2
AlSi10Mg	EN AC-Al Si10Mg(b)	EN AC-43000	600	550	670 ... 740	1,0 ... 1,2	0,5 ... 0,8	1	1	2
	EN AC-Al Si10Mg(Cu)	EN AC-43200						1	1	2
	EN AC-Al Si9Mg	EN AC-43300	600	555	670 ... 740		1	1	2	
AlSi	EN AC-Al Si11	EN AC-44000	600	550	670 ... 740	1,0 ... 1,2	0,5 ... 0,8	1	1	1
	EN AC-Al Si12(b)	EN AC-44100	577	577				1	1	1
	EN AC-Al Si12(a)	EN AC-44200	577	577	1			1	1	
	EN AC-Al Si9	EN AC-44400	605	570	660 ... 740			-	0,5 ... 0,8	1

Tabelle 5: Hinweise zur Verarbeitung und Gießigenschaften von Aluminium-Gusslegierungen

Legierungsgruppe	Werkstoffbezeichnung		Richtwerte zur Verarbeitung					Gießeigenschaften		
	chemische Symbole	numerisch	Liquidustemperatur [°C]	Solidustemperatur [°C]	Gießtemperaturbereich [°C]	Schwindmaß Sandguss [%]	Schwindmaß Kokillenguss [%]	Fließvermögen *)	Warmrissebeständigkeit *)	Druckdichtheit *)
AlSi5Cu	EN AC-Al Si6Cu4	EN AC-45000	630	500	690 ... 750	1,0 ... 1,2	0,6 ... 1,0	2	2	2
	EN AC-Al Si5Cu3Mg	EN AC-45100	630	500				2	2	2
	EN AC-Al Si5Cu1Mg	EN AC-45300	630	550				3	2	3
	EN AC-Al Si5Cu3	EN AC-45400	630	500				2	2	2
	EN AC-Al Si7Cu0,5Mg	EN AC-45500	620	550	680 ... 750	1,0 ... 1,2	0,7 ... 1,1	2	2	2
AlSi9Cu	EN AC-Al Si8Cu3	EN AC-46200	600	500	680 ... 750	1,0 ... 1,2	0,6 ... 1,0	2	2	2
	EN AC-Al Si9Cu1Mg	EN AC-46400	600	500				2	2	2
	EN AC-Al Si7Cu2	EN AC-46600	620	500				2	2	2
AlSi(Cu)	EN AC-Al Si12(Cu)	EN AC-47000	577	577	670 ... 740	1,0 ... 1,2	0,5 ... 0,8	1	1	1
AlSiCuNiMg	EN AC-Al Si12CuNiMg	EN AC-48000	600	540	670 ... 740	1,0 ... 1,2	0,5 ... 1,0	1	1	1
	EN AC-Al Si17Cu4Mg	EN AC-48100	650	510	720 ... 760	0,6 ... 1,0	0,4 ... 0,8	1	3	2
AlMg	EN AC-Al Mg3(a)	EN AC-51100	650	600	700 ... 750	1,0 ... 1,5	0,7 ... 1,2	3	4	4
	EN AC-Al Mg5	EN AC-51300	630	550				3	4	4
	EN AC-Al Mg5(Si)	EN AC-51400	630	550				3	4	4
AlZnMg	EN AC-AlZn10Si8Mg	EN AC-71100	640	550	690 ... 740	1,0 ... 1,2	0,8 ... 1,0	2	1	2

*) Bewertungsschema Gießeigenschaften

- (1) ausgezeichnet
- (2) gut
- (3) annehmbar
- (4) unzureichend
- (5) nicht empfehlenswert

1. Aluminium-Gusswerkstoffe für Sand- und Kokillenguss

1.7 Einsatzbereiche der Legierungsgruppen

Die wichtigste Gruppe der Aluminium-Gusslegierungen ist die der untereutektischen Aluminium-Siliziumlegierungen. Sie haben einen Silizium-Gehalt von 5-12%. Dies verleiht diesen Legierungen ein hervorragendes Formfüllungsvermögen und günstiges Erstarrungsverhalten, so dass eine Vielfalt an gestalterischen Möglichkeiten in Bauteilen umgesetzt werden kann.

Der Werkstoff *EN AC-Al Si8Cu3* ist mengenmäßig die wichtigste Gusslegierung. Auf Grund der weiten Legierungsspannen und zugelassenen Anteile an Verunreinigungen wird der Werkstoff kostengünstig aus Schrotten (Recycling-Gusslegierung) hergestellt. Er zeichnet sich durch sehr gute Gießigenschaften aus. Durch den hohen Kupfergehalt ist diese Legierung warmfest und kann daher auch in Bereichen erhöhter Temperaturbelastung eingesetzt werden (Motorblöcke, Zylinderköpfe) ohne größere Einbußen in der Festigkeit hinnehmen zu müssen. Der Kupfergehalt hat allerdings den Nachteil, dass die Korrosionsbeständigkeit eingeschränkt ist.

Die Gruppe der eisenarmen Gusslegierungen (Hüttengusslegierungen) zeichnet sich durch exzellente mechanische und dynamische Eigenschaften sowie einen hohen Korrosionswiderstand aus. Typische Vertreter dieser Gusslegierungen sind die *EN AC-Al Si7Mg0,3* oder *EN AC-Al Si9Mg*.

Eine typisch warmfeste und verschleißbeständige Aluminium-Gusslegierung ist die *EN AC-Al Si12CuNiMg*. Diese Legierung wird hauptsächlich für Kolben eingesetzt.

Eine besondere Verschleißfestigkeit weisen die übereutektischen Al-Si-Legierungen auf, mit Siliziumgehalten über 13%. Durch Zusätze von Cu, Mg und Fe kann die Härte bis auf etwa 140 HBW gesteigert werden. Aufgrund der feinverteilten Silizium-Primärausscheidungen lassen sich nach besonderer mechanischer Endbearbeitung der Oberfläche gute tribologische Eigenschaften erzielen. Darüber hinaus sind die Legierungen warmfest und haben einen niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Sie werden in erster Linie für Kurbelgehäuse ohne Laufbüchsen oder Beschichtungen, Kolben oder Pumpengehäuse eingesetzt.

Besonders hohe Festigkeiten, vor allem bei erhöhten Einsatztemperaturen bis über 250 °C, weist die Gruppe der AlCu-Gusslegierungen auf. Extreme Warmfestigkeitsanforderungen und Kriechbelastungen können gegebenenfalls mit den nicht genormten Werkstoffen *AlCu5NiCo* (RR 350) oder *AlCu4NiMg* (Y-Legierung) erfüllt werden. Einschränkend ist hier allerdings auf die schlechteren Gießeigenschaften dieser Legierungsgruppe hinzuweisen.

Bei der selbstaushärtenden Legierung *EN AC-Al Zn10Si8Mg* laufen nach der Erstarrung und Abkühlung auf Raumtemperatur Ausscheidungsvorgänge ab, die mit einer Härte- und Festigkeitssteigerung verbunden sind. Die Legierung wird gelegentlich verwendet, wenn z. B. bei Schweißkonstruktionen keine Wärmebehandlung möglich ist, aber hohe Festigkeitsanforderungen an die fertige Komponente gestellt werden. Ein Problem dieser selbstaushärtenden Legierung sind die nur schwer gezielt einstellbaren mechanischen Eigenschaften. Der Aushärtungsvorgang ist teilweise selbst nach einer Dauer von vielen Monaten noch nicht abgeschlossen. Unter Einsatzbedingungen mit Zugbeanspruchung kann eine innere Korrosion der Legierung erfolgen.

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

1.8 Sonderanwendungen

Die genormten Aluminiumgusslegierungen decken eine große Breite an Eigenschaftsanforderungen ab und sollten nicht zuletzt aus wirtschaftlichen Gründen vorzugsweise angewendet werden. Für extreme Anforderungen z. B. hinsichtlich Warmfestigkeit, Leitfähigkeit oder Korrosionsbeständigkeit existieren nichtgenormte Sonderlegierungen. Sie sollten nur in Ausnahmefällen gewählt werden, wenn die genormten Legierungen das Anforderungsprofil nicht erfüllen.

2. Wärmebehandlung von Aluminium-Gussstücken

Eine Wärmebehandlung von Aluminiumguss kann aus folgenden Gründen vorgenommen werden:

- Zur Steigerung der Festigkeitswerte bei den wärmebehandelbaren Aluminium-Gusslegierungen oder zur Verbesserung der Duktilität bei nicht aushärtbaren Legierungen.
- Zum Abbau von Spannungen, die infolge rascher Erstarrung in der Form, durch schroffes Abschrecken nach dem Gießen oder bei spanender Bearbeitung der Gussstücke entstehen.
- Zum Stabilisieren von Gussstücken, die im Betrieb besonders gute Maßhaltigkeit gewährleisten müssen.
- Zum Vorwärmen von Gussstücken, an denen Schweiß- oder Lötarbeiten ausgeführt werden sollen.

Sollen die mechanischen Eigenschaften durch eine Wärmebehandlung verbessert werden, so müssen Aluminiumgusslegierungen als Legierungselement

- Cu und/oder
- Mg in Kombination mit Si und/oder
- Zn in Kombination mit Mg

enthalten. AlCu-Legierungen werden immer wärmebehandelt.

Im Gegensatz zu konventionellen Druckgussstücken können Aluminium-Sand- und -Kokillengussstücke **uneingeschränkt** wärmebehandelt werden.

Art und Zeitpunkt der Wärmebehandlung richten sich nach der Legierungszusammensetzung, dem Gießverfahren, der Wanddicke/ dem Gussstückgewicht und dem jeweils beabsichtigten Zweck. Während das Aushärten von Gussstücken zweckmäßig stets vor der Bearbeitung erfolgt, kann ein Entspannungsglügen bei 200 bis 300 °C von Fall zu Fall auch zwischen einzelnen Bearbeitungsstufen (z. B. vor dem letzten Spanen) vorgenommen werden. Die Durchführung der Wärmebehandlung erfolgt in der Regel in der Gießerei, die über die notwendige Erfahrung verfügt.

Folgende Varianten der Wärmebehandlung sind im Bereich des Aluminiumgusses verbreitet:

- **T4** Lösungsgeglüht, abgeschreckt und kaltausgelagert
- **T5** Kontrollierte Abkühlung aus der Gießhitze und warmausgelagert oder überaltert
- **T6** Lösungsgeglüht, abgeschreckt und vollständig warmausgelagert
- **T7** Lösungsgeglüht, abgeschreckt und überaltert (warmausgelagert, stabilisierter Zustand)

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

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Wärmebehandlung ist das Abschrecken nach der Lösungsgeglühbehandlung. Die Wirksamkeit dieser Behandlung ist stark abhängig von der Abkühlrate.

Übliche Medien sind Wasser, Luft oder Aquatenside. Bestimmend bei der Wahl des Abschreckmediums sind die erforderlichen mechanischen Eigenschaften und die gegenläufig wirkenden Eigenspannungen im Gussstück. Allgemein besteht der Zusammenhang beim Abschrecken, dass je größer die Temperaturdifferenzen im Gussstück sind, desto größer werden die aufgebauten Eigenspannungen. Nach diesem Zusammenhang weisen in der Regel in Wasser abgeschreckte Gussstücke die höchsten Eigenspannungen auf, im Luftstrom abgeschreckte Teile die geringsten.

3. Form- und Gießverfahren

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

Bild 4 gibt einen Überblick über die serienüblichen Gieß- und Formverfahren für Aluminiumlegierungen. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen Verfahren, die mit „verlorenen“ Formen arbeiten, welche nach jedem Guss zerstört werden (z. B. Grünsandverfahren) und Dauerformen, mit denen eine große Anzahl von Gussstücken hergestellt wird (z. B. Kokillenguss).

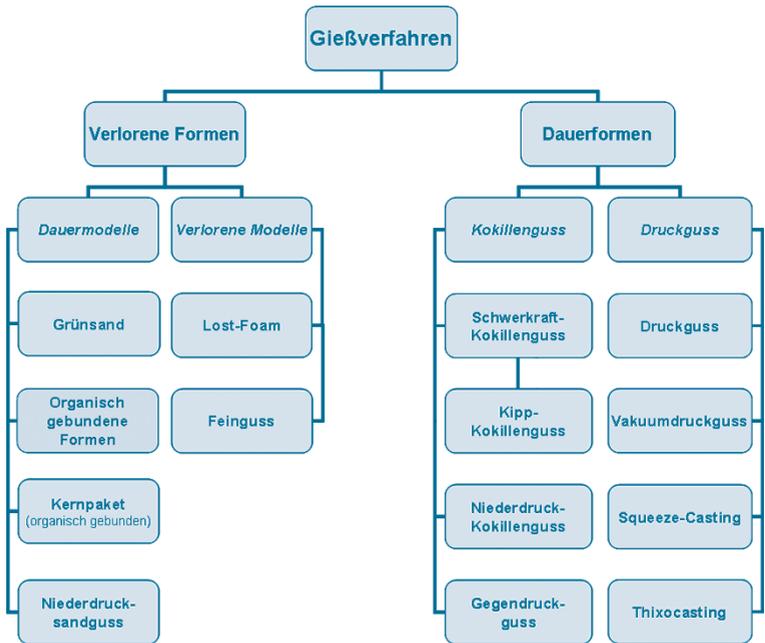


Bild 4: Übersicht über die Form- und Gießverfahren für Aluminiumlegierungen

Die Wahl des am besten geeigneten Verfahrens wird maßgeblich bestimmt von technischen Faktoren (z. B. Festigkeitsanforderungen, Bauteilgestalt, Größe, Gewicht, Stückzahl). Für die verschiedenen Gießverfahren lassen sich dann die Fertigungskosten errechnen, die in der Regel über die Wahl des Gießverfahrens entscheiden. Wichtig in der Gesamtkostenbetrachtung ist es, insbesondere beim Vergleich konkurrierender Fertigungsverfahren, die gesamten Herstellungskosten bis zum einsatzbereiten Bauteil zu betrachten. In der Regel lassen sich mit den Gießverfahren bei einer werkstoff- und gießgerechten Gestaltung Einsparungen in der mechanischen Bearbeitung/Fügetechnik erzielen. Vor diesem Hintergrund ist dem Konstrukteur zu empfehlen, sich so früh wie möglich mit einem erfahrenen Gießer in Verbindung zu setzen. Allgemein gilt, je komplexer ein Bauteil ist, desto wirtschaftlicher kann es mit Gießverfahren gefertigt werden. Der Einsatz des für die Serie infrage kommenden Gießverfahrens kann durch eine Prozess-FMEA (Fehlermöglichkeits- und Einfluss-Analyse) abgesichert werden.

3.1 Sandgießverfahren

Beim Sandgießverfahren werden Verfahrensvarianten nach dem jeweils verwendeten Binder unterschieden:

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

Darüber hinaus finden weitere anorganische Bindersysteme Verwendung.

Als Formgrundstoff wird – von Ausnahmen abgesehen – Quarzsand verwendet.

Das Verfahren, bei dem mit Bentonit als Binder gearbeitet wird, wird in der Gießereipraxis als Grünsandverfahren bezeichnet. Formen werden erzeugt, indem der Formsand (tonmineralumhüllter Quarzsand) auf eine Modellplatte in einem Kasten oder auch kastenlos aufgebracht und anschließend verdichtet wird. Die Verdichtung des Formsandes kann von Hand (Handformguss) oder maschinell (Maschinenformguss) erfolgen. Durch das Zusammenlegen der Formhälften wird der Hohlraum erzeugt, in den das Metall eingegossen werden kann.

3. Form- und Gießverfahren

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

Eine dritte Möglichkeit Sandformen herzustellen besteht darin, dass mehrere kunstharzgebundene Sandkerne hergestellt und zu einem Paket zusammengebaut werden. In dem Fall spricht man vom Kernpaket- oder Kernblockverfahren. Die Herstellung von Sandkernen wird in **Kapitel 3.4** beschrieben.

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

Über den Grad der Mechanisierung des Formverfahrens sowie über die Güteklasse der Modelle kann die Maßgenauigkeit der Gussstücke gesteuert werden (vergleiche auch **Kapitel 4.12** Bearbeitungszugaben und **4.13** Toleranzen). Bei entsprechender Auslegung ist es möglich, die Genauigkeit von Kokillengussteilen zu erreichen oder sogar zu überbieten (Kernpaketverfahren). Im Allgemeinen liegt die Maßgenauigkeit aber unterhalb der der Dauerformverfahren. Gleiches gilt für die Oberflächengüte, die ebenfalls unter denen der Kokillen- oder Sonderformverfahren liegt. Durch Anwendung besonders feiner Formsande oder spezieller Schichten lässt sich die Oberflächengüte verbessern.

Bedingt durch die geringere Erstarrungsgeschwindigkeit im Sandguss, lassen sich im Vergleich zum Kokillenguss nicht ganz so hohe Festigkeitswerte erreichen. Ein deutliches Steigerungspotential besteht aber durch den lokalen Einsatz von Kühlkörpern oder Eingießteilen. Diese Kühlkörper werden gezielt in Bereichen positioniert, in denen höhere Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften gestellt werden. Neuere Verfahrensentwicklungen zielen darauf ab, durch eine Formfüllung mit Niederdruckanwendung statt der serienüblichen Schwerkraftfüllung höhere Festigkeiten unter zyklischer Beanspruchung zu erzielen. Die Niederdruckfüllung

im Sandguss wird bereits seit vielen Jahren zur Herstellung von Prototypen sowie von Bauteilen mit besonderen Anforderungen an die Maßgenauigkeit und Dünnwandigkeit eingesetzt.

3.2 KOKILLENGIESSVERFAHREN

3.2.1 Schwerkraft-Kokillengießverfahren

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

Die Kokillen (=Formen) werden aus Stählen oder aus Gusseisen mit Lamellegraphit gefertigt. Für Gussstücke, die in größerer Serie produziert werden sollen, werden Kokillen aus Warmarbeitsstählen (1.2343, 1.2344) verwendet. Besteht die gesamte Kokille aus Metall, so spricht man von einer Vollkokille; besteht bei einer Form das Unterteil aus einer Kokille und das Oberteil aus einer Sandform, so spricht man von einer Halbkokille.

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

Beim Standard-Kokillengießverfahren erfolgt die Formfüllung mittels Schwerkraft und in der Regel im steigenden Guss, d. h. die Schmelze wird durch einen Einguss gefüllt, fließt dann über einen Lauf, der unterhalb und ggf. seitlich des eigentlichen Gussstücks angeordnet ist, über den (die) An-schnitt(e) in den Formhohlraum. Damit wird die Form von unten nach oben steigend gefüllt.

Um den Füllprozess zu optimieren wurden alternativ zum Standard-Kokillengießverfahren Verfahrensvarianten entwickelt, bei denen die Form über eine Drehbewegung um die Kokillenlängsachse gefüllt wird. Diese Varianten werden als Kippkokillenguss bezeichnet. Abhängig von der Gussteilgeometrie erfolgt die Füllung direkt durch sogenannte Einlaufspeiser oder

3. Form- und Gießverfahren

durch seitlich angeordnete Gießläufe. Durch die Neigung der Form zu Beginn der Formfüllung werden schädliche Turbulenzen vermieden. Gleichzeitig wird die gelenkte Erstarrung gefördert, da in der Regel durch jene gießtechnischen Elemente gefüllt wird, aus denen während der Erstarrung die Sättigung (Speisung) erfolgt. Mit dem Kippkokillenguss lässt sich die Gussteilqualität verbessern, da weniger füllbedingte Einschlüsse und Poren im Gussteil vorliegen.

3.2.2 Niederdruck-Kokillengießverfahren

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

3.2.3 Gegendruck-Kokillengießverfahren

Das Prinzip des Gegendruck-Kokillengießverfahrens (auch CPC-Verfahren – **C**ounter **P**ressure **C**asting) wurde aus dem Niederdruckgießen entwickelt. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass die Kokille druckdicht ausgeführt wird. Vor der Formfüllung wird die Kokille unter Druck gesetzt (ca. 4-5 bar) und dann über einen entsprechend höher liegenden Differenzdruck gefüllt. Der Vorteil des Verfahrens liegt darin, dass der Speisungsdruck gegenüber dem klassischen ND-Guss erhöht ist, wodurch sich ein porenärmeres Gefüge und damit bessere mechanische Eigenschaften erzeugen lassen. Der verfahrenstechnische Aufwand ist höher und dementsprechend auch die Gussstückkosten.

3.2.4 Schleuder-Kokillengießverfahren

Das Schleuder-Kokillengießverfahren lässt sich vorteilhaft zur Herstellung von dickwandigen Büchsen und Rohren aus Aluminiumlegierungen anwenden. Bei diesem Verfahren wird das flüssige Metall in eine sich drehende rohrförmige Kokille mit horizontal liegender Längsachse eingefüllt. Durch die Zentrifugalkraft wird die Schmelze an die Innenwand der Form geschleudert, wo sie unter dem Druck der Zentrifugalkraft erstarrt. Dadurch wird ein sehr dichtes, porenarmes Gefüge erzeugt.

Zur Abgrenzung zum Schleuder-Kokillengießverfahren sei an dieser Stelle auf das Form-Schleudergießverfahren verwiesen. Beim *Formschleudergießen* wird das Metall über eine vertikal stehende Drehachse über eine Drehbewegung in den radial angeordneten Formhohlraum geschleudert. Das Verfahren wird vorwiegend in der Schmuckindustrie und für die Erzeugung von Dentalguss angewendet.

3. Form- und Gießverfahren

3.3 SONDERGIESSVERFAHREN

3.3.1 Lost-Foam Gießverfahren

Beim Lost-Foam Verfahren wird mit verlorenen Modellen aus expandierbarem Polystyrol (EPS) und binderlosem Quarzsand als Formstoff gearbeitet. Die aus Polystyrol aufgeschäumten Modelle werden zu Trauben zusammengefügt, geschichtet und in Behälter gesetzt, die anschließend mit binderlosem Quarzsand gefüllt werden. Es wird mit einer einteiligen Form gearbeitet. Durch das Einfüllen der Schmelze wird das Modell aus EPS verdampft bzw. verflüssigt. Das Lost-Foam Verfahren zeichnet sich durch seine außerordentlich hohe Gestaltungsfreiheit aus, mit dem heute komplexe, qualitativ hochwertige Bauteile hergestellt werden. Das Lost-Foam Verfahren hat eingeschränkt Anwendungen in der Großserienfertigung gefunden.

In Abgrenzung zum Lost-Foam Verfahren ist das *Vollformgießverfahren* aufzuführen. Beim Vollformgießen werden ebenfalls Modelle aus EPS hergestellt. Diese werden dann aber in Formstoffen mit vornehmlich Quarzsand und kalthärtendem Furanharz als Bindemittel eingeformt. Das einfließende Metall verflüssigt wie beim Lost-Foam Verfahren das Schaumstoffmodell. Das Vollformgießen hat sich z. B. zur Herstellung von Großgussstücken für den Vorrichtungsbau sowie für den Kunstguss gut bewährt.

3.3.2 Maskenformverfahren

Beim Maskenformverfahren wird ein schütt- und blasbarer kunstharzgebundener Formstoff in einer heißen Metallmodell-Einrichtung ausgehärtet. Damit lassen sich masken- (oder schalen-)förmige Formhälften herstellen und zu Gießformen zusammensetzen. Mit diesem Verfahren können maßgenaue Gussstücke mit guter Oberflächenbeschaffenheit gefertigt werden. Aufgrund der hohen Werkzeugkosten wird das Verfahren für den Aluminiumguss jedoch nur selten zur Herstellung von Formen eingesetzt. Für die Herstellung von Sandkernen im Aluminiumguss hat es jedoch einen gewissen Produktionsanteil erreicht (siehe Kapitel 3.4 Herstellung und Verwendung von Sandkernen).

3.4 Herstellung und Verwendung von Sandkernen

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

Kerne sollten nur dann verwendet werden, wenn dies aus Formgebungsgründen erforderlich ist. Auf eine sichere Positionierung der Kerne in der Form ist zu achten. Die Verwendung von Kernen ist mit erhöhten Kosten verbunden. Die nachstehende Übersicht in **Tabelle 6** gibt einen zusammenfassenden Überblick über die wichtigsten Kernfertigungsverfahren.

Tabelle 6: Übersicht Kernherstellungsverfahren

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

*) in der Entwicklung

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

3. Form- und Gießverfahren

3.5 Anwendungsbereiche der Gießverfahren

Die nachstehende Übersicht enthält Angaben über Stückgewichte, Abmessungen und Mindeststückzahlen bei den verschiedenen Form- und Gießverfahren. Sie soll lediglich eine Orientierung geben. Im Einzelfall kann eine Abweichung nach oben oder unten durchaus möglich und sinnvoll sein.

Tabelle 7: Abgrenzung Anwendungsbereiche der verschiedenen Gießverfahren

	max. Stückgewichte	Raumdiagonale	Mindeststückzahl
	[kg]	[mm]	
Sandguss	4.000	5.000	1
Kokillenguss	100	1.200	≈ 500
Schleuderguss	250	L 2.000	1
		∅ _s 1.250	

4. Gestaltung

4.1 Allgemeines

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

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

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

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

Die bei der Erstarrung auftretende Volumenkontraktion und dadurch entstehende Speisungsdefizite können durch gelenkte Erstarrung in einem hohen Maße aufgefangen werden. Dazu sind folgende Grundvoraussetzungen zu erfüllen:

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

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

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

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

- ausreichend große Aushebeschrägen (s. Kap. 4.5),
- möglichst keine Hinterschneidungen,
- möglichst ungehinderte Schwindung / Gusstückkontraktion,
- zweckmäßige Anordnung der Formteilung,
- ausreichend große Kernlagerung,
- Versteifung großer Flächen durch Verrippung.

Als Schwindmaße können für den Sandguss 1,0 bis 1,25 Prozent und für den Kokillenguss 0,5 bis 0,7 Prozent angesetzt werden. Bei sehr langen, dünnen Gusstücken und solchen, bei denen durch Absätze und Hinterschneidungen die Schwindung behindert ist, können die Maße abweichen. Weiterhin bestimmt die Gusslegierung das Schwindmaß. In **Tabelle 5** (Kap. 1.6) sind entsprechende verfahrens- und legierungsspezifische Angaben zum Schwindmaß enthalten.

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

- wenn die Option besteht, auf Druckbeanspruchung auslegen,
- zur Minimierung lokaler Belastungsspitzen Kraftereinwirkung auf große Querschnittsbereiche verteilen: Verwendung von Unterlegscheiben, Eingießteilen und Gewindeeinsätzen.

Die Gussteilkonstruktion soll in enger Abstimmung mit dem Gießer erfolgen.

4. Gestaltung

4.2 Teilung

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

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

4.3 Speiserflächen und Anschnittleisten

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

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

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

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

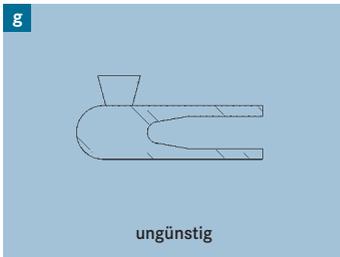
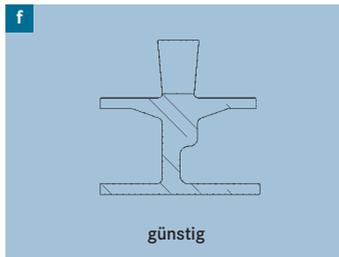
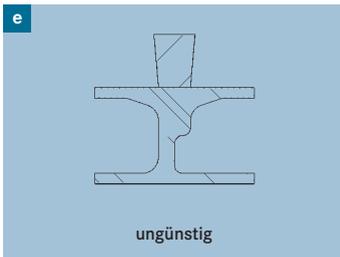
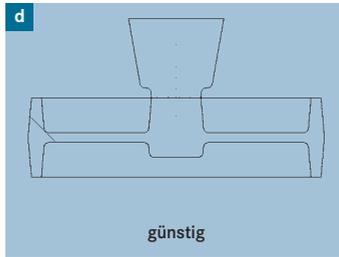
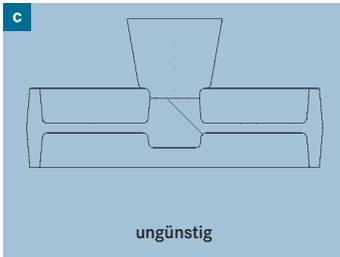
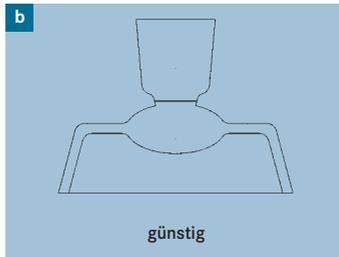
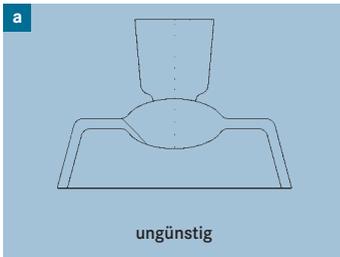


Bild 5: Beispiele für konstruktive Änderungen zur Optimierung des Abtrennens von Anschnitten und Speisern

4. Gestaltung

4.4 Wanddicken, Übergänge, Verrippungen

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

Die kleinstmögliche Wanddicke wird bestimmt von:

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

Nachfolgend sind einige Konstruktionsbeispiele mit gießtechnisch optimierten Lösungen aufgeführt:

Bild 6a: ungünstige Konstruktion mit großer Wandstärke und der Gefahr von Defektbildungen

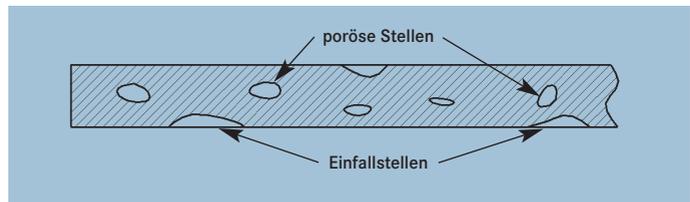
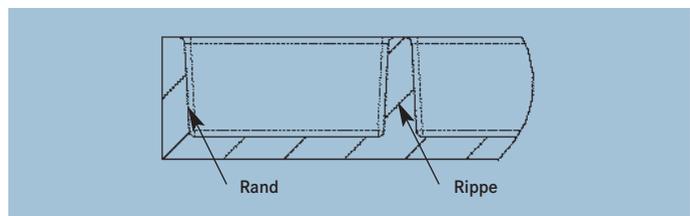


Bild 6b: Auflösung der großen Wandstärke durch verrippte Konstruktion



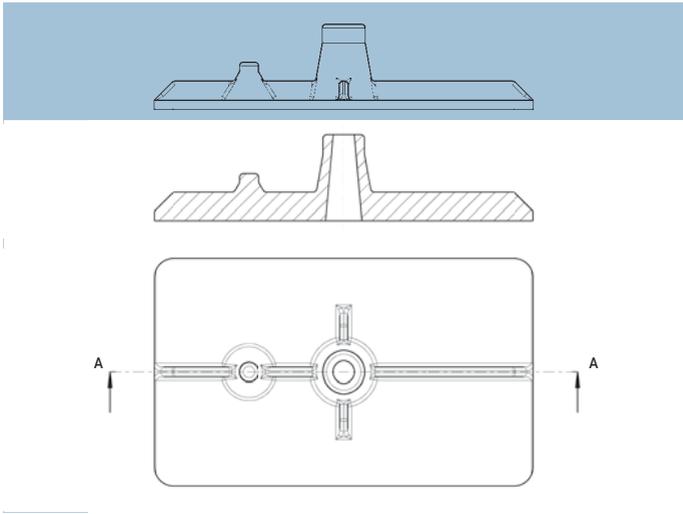


Bild 6c: Verrippung als Stütze

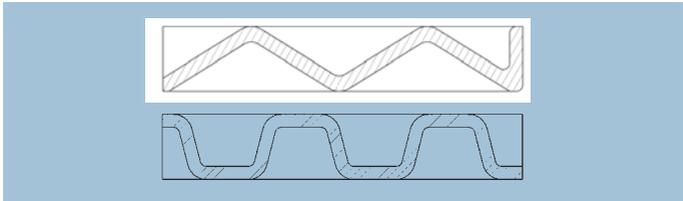


Bild 6d: Erhöhung der Steifigkeit durch Wellenprofil oder Flächenrippen

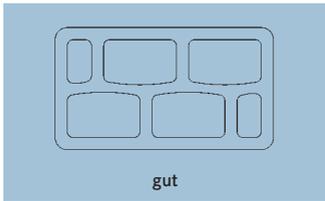
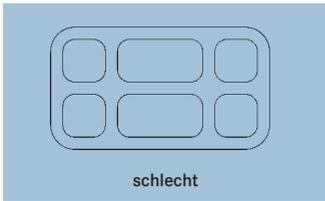


Bild 6e: Gitterstege versetzt anordnen

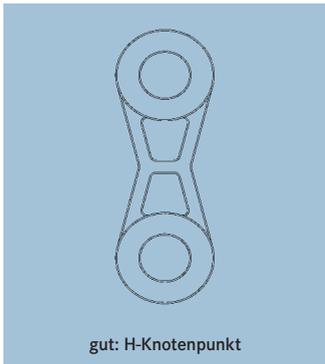
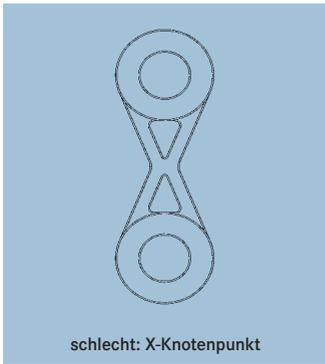
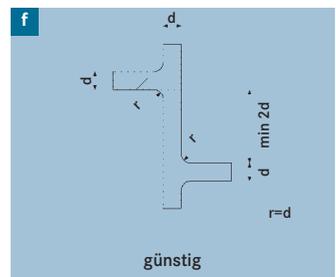
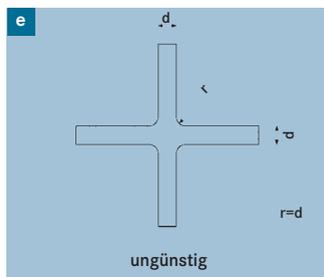
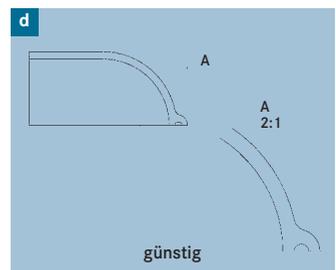
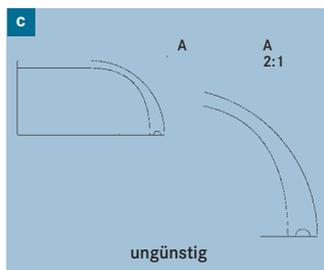
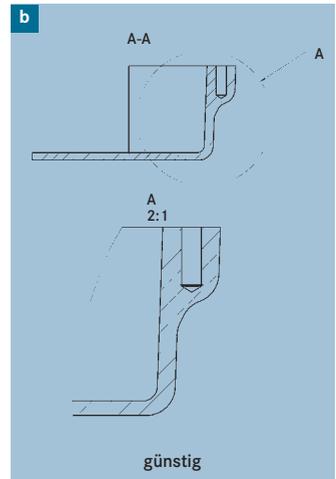
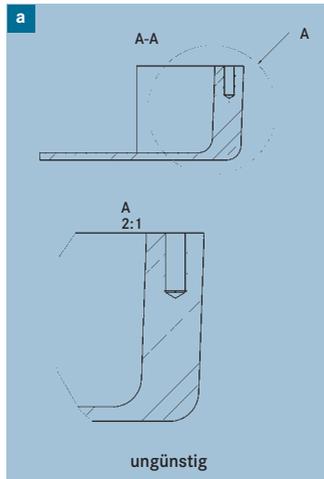
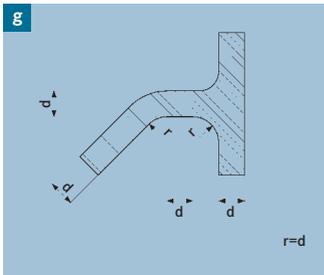


Bild 6f: Knotenpunkt nicht einziehen

4. Gestaltung

Bild 7: Vermeidung von Materialanhäufungen oder von zu großen Wanddicken





Weiterhin ist es wichtig, dass Übergänge allmählich erfolgen und in den Ecken ausgerundet werden. Die Ausbildung solcher Übergänge und Hohlkehlen ist in **Bild 8** skizziert.

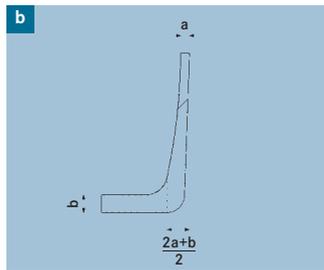
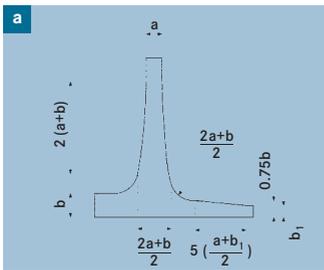
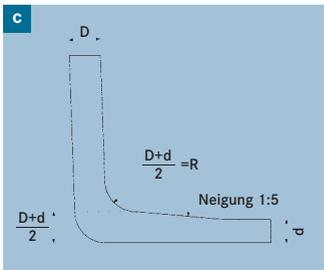


Bild 8: Beispiele richtig ausgelegter Querschnittsübergänge



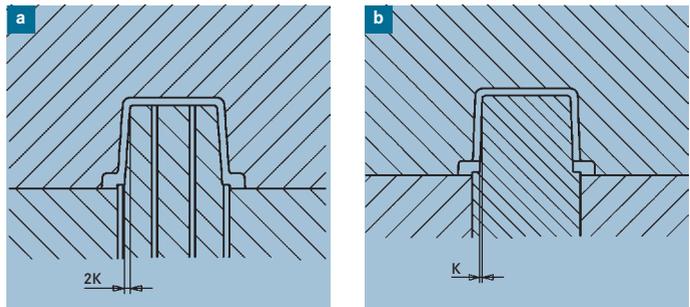
4. Gestaltung

4.5 Aushebeschrägen, Auswerferaugen

Beim Sandgießen muss ein einwandfreies Ausheben des Modells ohne Beschädigung der sehr empfindlichen Sandform möglich sein. Dazu sind an den Modellwerkzeugen Formschrägen vorzusehen. Formschrägen kleiner als 2° sind unbedingt zu vermeiden! Beim Kokillenguss entstehen durch die Erstarrung des Metalls Schrumpfkkräfte, die es nötig machen, die Abzugsflächen der Kokillen mit Schrägen zu versehen, um den Abguss einwandfrei aus der Form entnehmen zu können. Die Konizität richtet sich nach der Gestalt des Gussstücks.

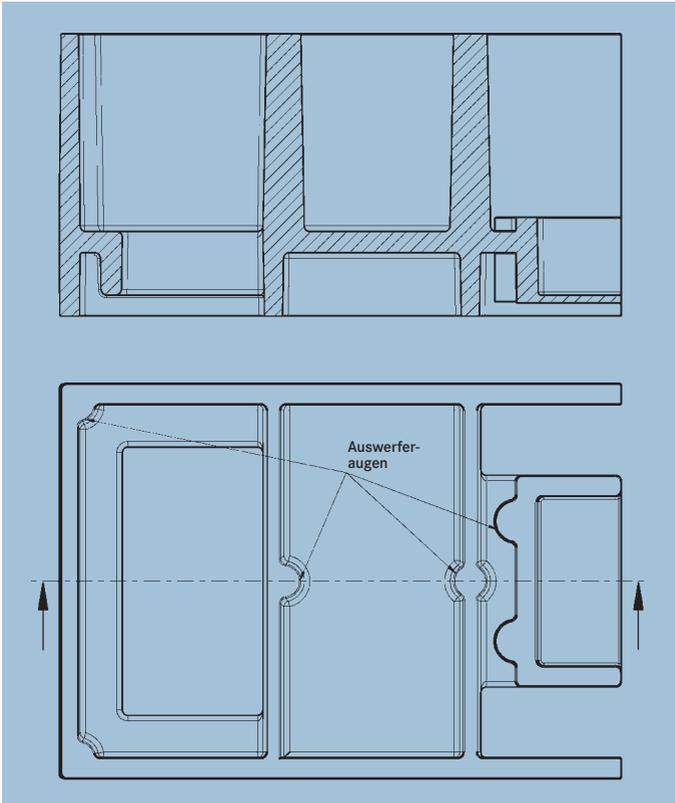
Es ist stets zu berücksichtigen, wie die einzelnen Partien freigelegt und aus der Form gehoben werden. So sind z. B. für Innenflächen, die durch einen festen Kern gebildet und mittels Auswerfer aus der Form gedrückt werden, größere Verjüngungen erforderlich, als wenn der Formkern beweglich angeordnet ist und nach der Erstarrung des Gussstücks zurückgezogen werden kann, **Bild 9**.

Bild 9: Aushebeschrägen bei (a) festem und (b) beweglichem Kern



K = Aushebeschräge

Bild 10: Beispiel zur Ausführung von Auswerferaugen



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

Bezüglich der Formschrägen für Gussstücke findet man in der *DIN EN ISO 10135* Zeichnungsangaben und in der *DIN EN 12890* Wertevorschläge für Sandformen. Weiterhin werden in der *DIN EN ISO 8062* Ausformschrägen definiert. Es ist geplant zukünftig in der *DIN EN ISO 8062-3* einen Anhang mit Zahlenangaben für Ausformschrägen in Abhängigkeit der jeweiligen Fertigungsverfahren (Sand-, Kokillen-, Druck- und Feinguss) zu ergänzen. Details standen bei Drucklegung der vorliegenden Schrift noch nicht fest.

4. Gestaltung

4.6 Bohrungen, Durchbrüche

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

Demgegenüber lassen sich beim Kokillengießen durch die Verwendung genau geführter Stahlkerne kleine Bohrungen und Sacklöcher gießen. Der Durchmesser muss in einem ausreichenden Verhältnis zur Länge der Bohrung stehen, siehe **Tabelle 8**, die Formschräge der Kerne muss ausreichend groß sein, mindestens 2°.

Tabelle 8: Empfohlene Grenzwerte (Durchmesser und Länge) für gegossene Bohrungen

		Sandguss	Kokillenguss	Bemerkungen
minimaler Bohrungsdurchmesser		$d \geq 10 - 15 \text{ mm}$	$d \geq 4 - 5 \text{ mm}$	Sandguss nur durchgehende Bohrungen
Verhältnis Länge/Durchmesser	bei $d < 5 \text{ mm}$	-	$L = 4 - 6 \cdot d$	im Kokillenguss Sacklöcher max. $L = 4 \cdot d$
	bei $d > 5 \text{ mm}$	$L = 2 - 4 \cdot d$	$L = 6 - 8 \cdot d$	

(L) Bohrungslänge, (d) Bohrungsdurchmesser

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

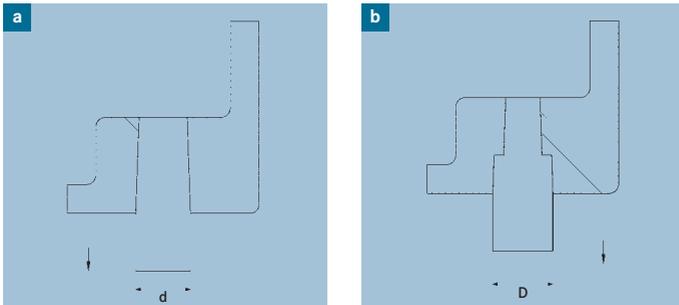


Bild 11: Abstufung bei gegessenen Bohrungen

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

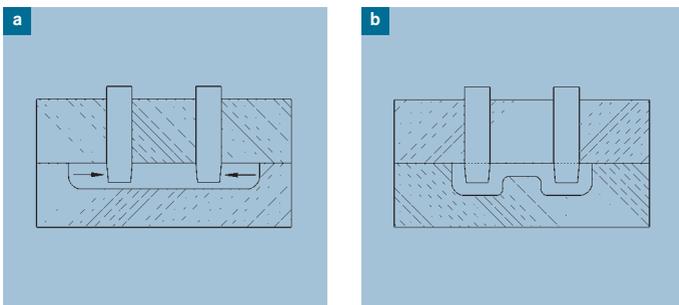
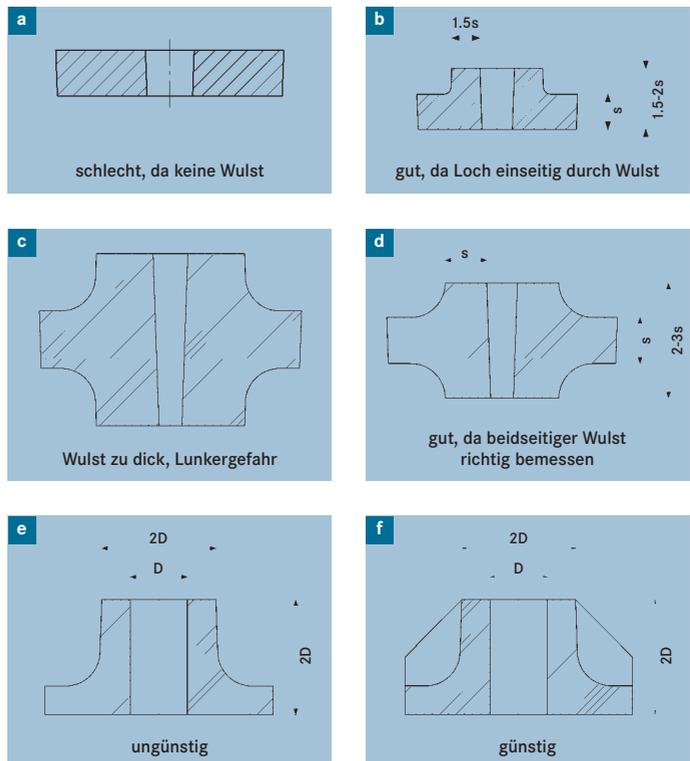


Bild 12: Stützflächen zum Abfangen der Schrumpfkkräfte bei Bohrungen

4. Gestaltung

In größeren ebenen Flächen werden Bohrungen am besten ein- oder beidseitig durch Augen verstärkt. Das bringt neben einer höheren Festigkeit und Steifigkeit auch Vorteile bei der spanenden Bearbeitung, da nur die Augenflächen bearbeitet werden müssen. Gestaltungsbeispiele von Augen und Wülsten zeigt **Bild 13**.

Bild 13: Gestaltung von Augen und Wülsten



4.7 Kerne

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

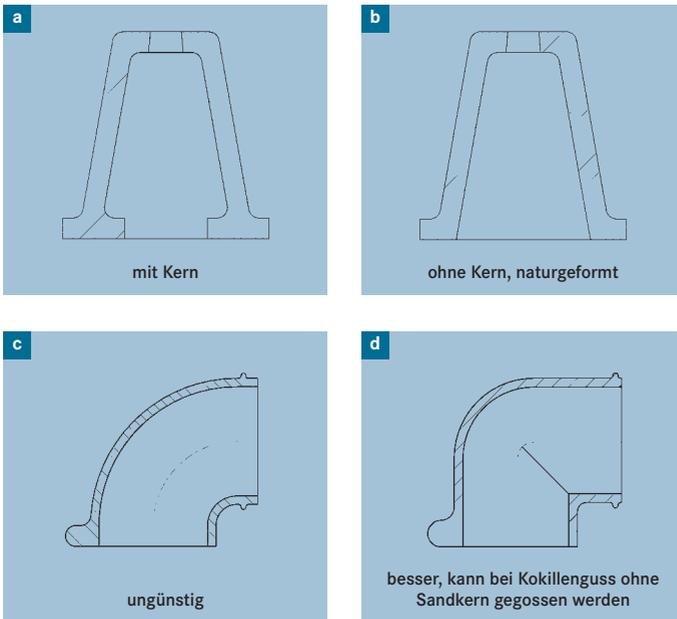


Bild 14: Beispiele zur Vermeidung von Sandkernen

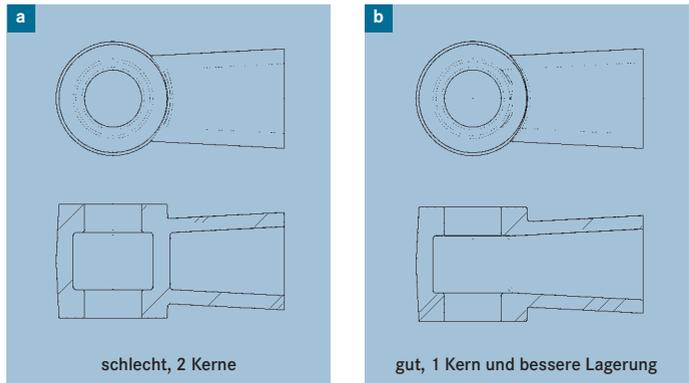
Bei Gussstücken mit Sandkernen ist besonders darauf zu achten, dass ausreichend und genügend große Austrittsöffnungen am Gussteil vorhanden sind, um

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

4. Gestaltung

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

Bild 15: Konstruktionsbeispiele zur Reduzierung der erforderlichen Anzahl an Kernen



4.8 Hinterschnidungen/Schieber

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

Sollte dies nicht möglich sein, besteht die Möglichkeit aufwändige, möglicherweise auch komplexe geteilte Schieber in der Form einzusetzen. **Bild 16** zeigt ein Beispiel, bei dem ein Hinterschnitt, gießtechnisch zunächst umgesetzt durch Verwendung eines Schiebers, durch eine Konstruktionsanpassung eliminiert worden ist. **Bild 17** gibt ein Beispiel, wie ein mehrteiliger Schieber über eine Konstruktionsanpassung durch einen einfachen Schieber ersetzt werden kann.

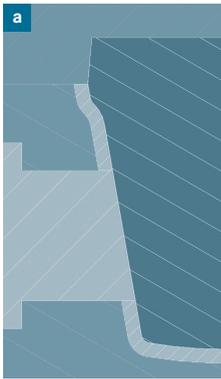
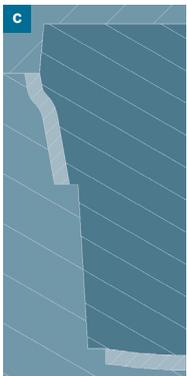
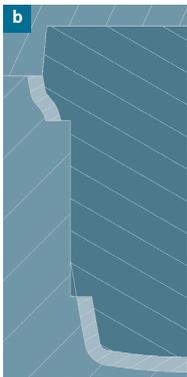
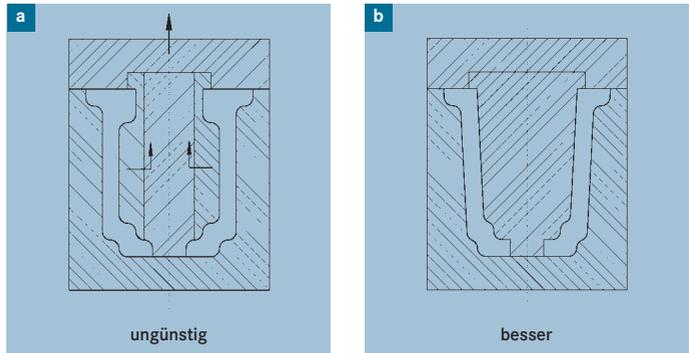


Bild 16: Konstruktionsbeispiele zum Vermeiden von Schiebern (a) ursprüngliche Konstruktion, (b) und (c) Lösungsvorschläge ohne seitlichen Schieber



4. Gestaltung

Bild 17: Eliminierung eines mehrteiligen Schiebers durch Überarbeitung der Bauteilgeometrie



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

Bei der Verwendung von Schiebern (auch Stahlkern oder Kernzug) in Kokillen sind folgende Punkte zu beachten:

- Schieber können hydraulisch oder mechanisch bewegt werden.
- Es ist eine Anordnung in Richtung der Formöffnung (senkrecht zur Formteilung) anzustreben.
- Seitliche Schieber können parallel zur Formteilung auch schräg zu diesen oder in einem bestimmten Winkel zur Formteilung angeordnet werden, wenn genügend Platz vorhanden ist.
- Ineinandergreifende Schieber sind störanfällig und nach Möglichkeit zu vermeiden.
- Schieber können auch auf einer kreisförmigen Bahn entformt werden.
- Die Genauigkeit eines Lochabstandes ist am größten, wenn die betreffenden Bohrungskerne in derselben Formhälfte oder in demselben Schieber untergebracht werden.

4. Gestaltung

4.10 Gewindeeinsätze

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

- Bewährt haben sich 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 Schlitz das Gewinde selbst.
- 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, so dass 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.

Bild 19: Einsatzbuchse „Ensat“

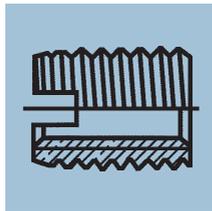
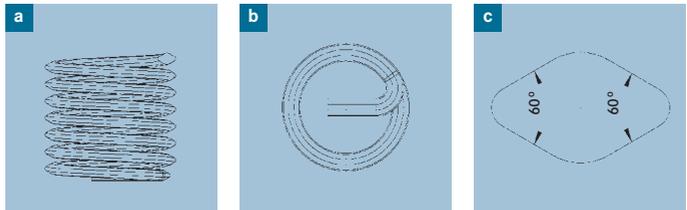


Bild 20: Gewindeeinsatz „Heli-Coil“



4.11 Schriftzeichen

Warenzeichen, Ziffern, Einstellmarken, Verzierungen und dergl. können auf Außen- und Innenflächen von Sand- und Kokillengussstücken – bei Beachtung der nachfolgenden Richtlinien – fertig mitgegossen werden. Die Ausführung nach **Bild 21 a** ist die gebräuchlichste, da sie den geringsten Aufwand an Zeit und Kosten beim Anfertigen des Modells und der Kokille verursacht. Beim Sandgussmodell wird das Schriftzeichen aufgesetzt, während es in die Kokille vertieft eingearbeitet wird. Das Schriftzeichen muss so angebracht werden, dass keine Hinterschneidung entsteht. Diese Ausführung ist gegenüber dem einströmenden Gießmetall am wenigsten empfindlich.

Bei Gussstücken, auf deren Oberfläche hervorstehende Schriftzeichen stören würden oder beschriftete Flächen bearbeitet bzw. geschliffen werden müssen, sind die erhabenen Schriftzeichen entsprechend **Bild 21 b** versenkt anzuordnen.

Die Ausführung nach **Bild 21 c** ist sehr teuer. Die in der Form erhaben stehenden Gravuren sind der Gefahr der Beschädigung und des starken Verschleißes ausgesetzt.

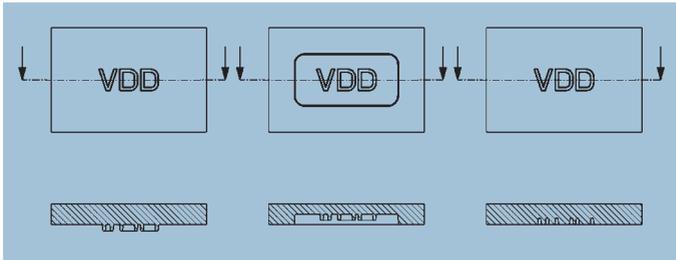


Bild 21: Ausführung mitgegossener Schriftzeichen

4. Gestaltung

4.12 Bearbeitungszugaben

Neben der Maßgenauigkeit wird die Bearbeitungszugabe von folgenden Größen bestimmt:

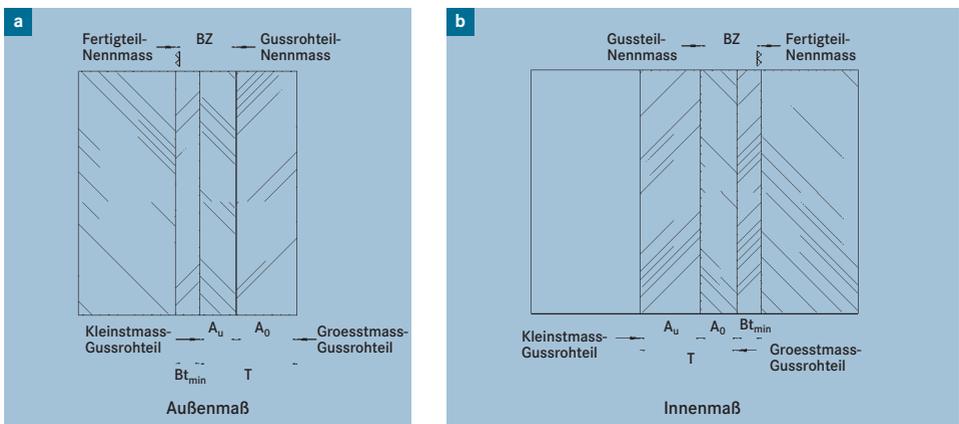
- Formverfahren,
- Schwindungsverhalten der Gusslegierung,
- Werkstückgröße,
- Art der Wärmebehandlung.

Allgemein beträgt die Bearbeitungszugabe für Sandguss 1,5 bis 3 mm und für Kokillenguss 0,7 bis 1,5 mm. Bei größeren Flächen ist u. U. eine größere Zugabe notwendig. Wird die Bearbeitungszugabe minimiert, so begünstigt dies auch die Dichtspeisung, den Materialeinsatz und Zerspannungsaufwand.

DIN 1680 und *DIN EN ISO 8062* machen allgemeine Angaben über Bearbeitungszugaben.

Bild 22: Zusammenhang zwischen Bearbeitungszugabe und Allgemeintoleranz

Den Zusammenhang zwischen Bearbeitungszugaben und Allgemeintoleranzen erläutert **Bild 22**.



BZ = Bearbeitungszugabe; A_0 = oberes Maß; A_u = unteres Maß; T = Toleranz (Allgemeintoleranz); Bt_{min} = Mindest-Bearbeitungsstufe

Die **Tabellen 9a** und **b** enthalten die Bearbeitungszugaben für den Sand- und Kokillenguss nach *DIN EN ISO 8062*.

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

Größtmaß		Erforderliche Bearbeitungszugabe [mm]									
		Grad der erforderlichen Bearbeitungszugabe (RMAG)									
		A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
-	≤ 40	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.7	1	2
> 40	≤ 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	≤ 1000	0.6	0.9	1.2	1.8	2.5	3.5	5	7	10	14
> 1000	≤ 1600	0.7	1	1.4	2	2.8	4	5.5	8	11	16
> 1600	≤ 2500	0.8	1.1	1.6	2.2	3.2	4.5	6	9	13	18
> 2500	≤ 4000	0.9	1.3	1.8	2.5	3.5	5	7	10	14	20
> 4000	≤ 6300	1	1.4	2	2.8	4	5.5	8	11	16	22
> 6300	≤ 10000	1.1	1.5	2.2	3	4.5	6	9	12	17	24

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

Tabelle 9a: Erforderliche Bearbeitungszugaben nach *DIN EN ISO 8062-3*

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

^a Für Gussteile mit einem Größtmaß von mehr als 6800 mm trifft F bis K zu.

Tabelle 9b: Typische, erforderliche Bearbeitungszugaben für Rohgussstücke aus Leichtmetalllegierungen (nach *DIN EN ISO 8062-3*)

4. Gestaltung

4.13 Toleranzen

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

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

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

Empfehlung: Von einer einseitigen Gussteiltolerierung ist abzusehen.

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

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

Die größere Genauigkeit ist stets bei Maßen zu erzielen, deren Begrenzungsflächen innerhalb einer Formhälfte liegen (formgebundene Maße) und nicht durch die Teilung (nicht formgebundene Maße) beeinflusst werden, siehe **Bild 23**.

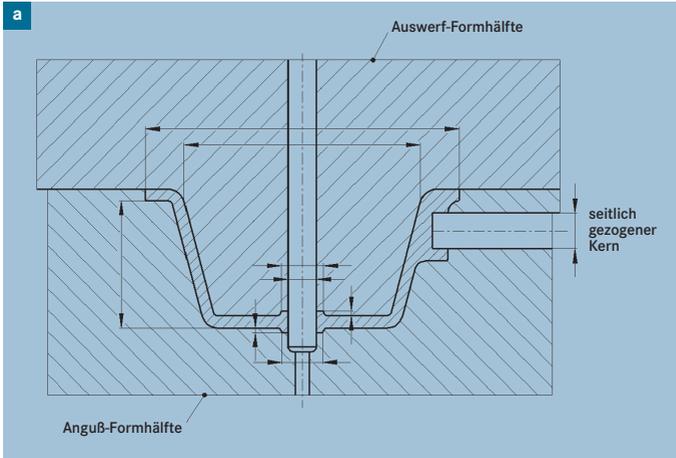
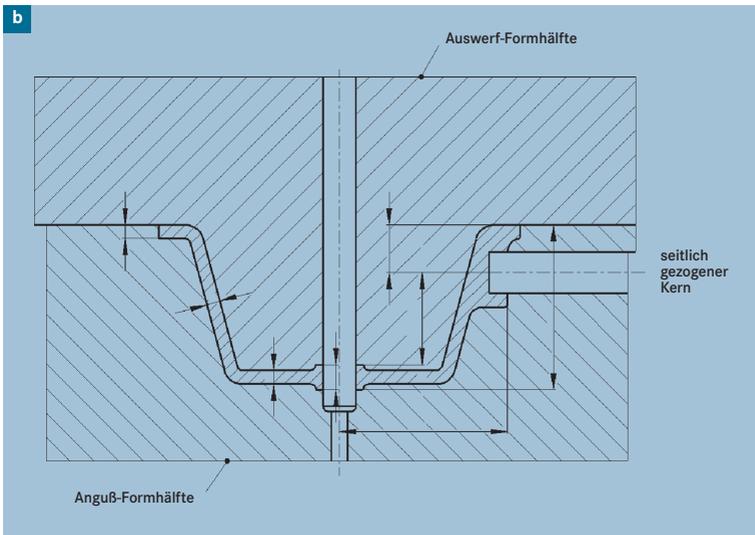


Bild 23: (a) formgebundene Maße, (b) nicht formgebundene Maße



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

4. Gestaltung

4.13.1 Einhaltbare Toleranzen (erzielbare Genauigkeit)

Über erzielbare Genauigkeiten gibt es vom Verein Deutscher Gießereifachleute (VDG) aufgestellte Festlegungen, siehe **Tabelle 10** für den Aluminium-Kokillenguss.

Nennmaß bis mm	Körpermaße		Mittenabstände	
	nicht von Form- bzw. Kokillenteilung durchschnitten	von Form- bzw. Kokillenteilung od. von Kernen oder Stempel bzw. Kern u. Stempeln gebildet	nicht von Form- bzw. Kokillenteilung durchschnitten	von Form- bzw. Kokillenteilung durchschnitten od. von Kernen oder Stempeln bzw. Kern und Stempel gebildet
50	± 0,2	± 0,3	± 0,2	± 0,3
100	± 0,3	± 0,4	± 0,3	± 0,4
180	± 0,3	± 0,5	± 0,3	± 0,5
300	± 0,4	± 0,7	± 0,4	± 0,7
450	± 0,5	± 0,8	± 0,5	± 0,8
600	± 0,5	± 0,9	± 0,5	± 0,9
800	± 0,6	± 1,0	± 0,6	± 1,0
1000	± 0,7	± 1,1	± 0,7	± 1,1

Tabelle 10: Einhaltbare Toleranzen für Aluminium-Kokillenguss

Die Teile werden entsprechend ihrer Raumdiagonale (Erläuterung der Raumdiagonale siehe **Bild 24**) in Größenklassen eingeteilt. Die Raumdiagonale ergibt sich aus:

$$R = \sqrt{(t^2 + b^2 + h^2)}$$

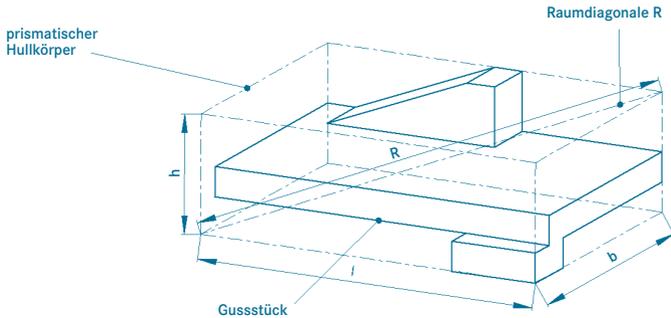


Bild 24: Erläuterung der Raumdiagonale

Diese einhaltbaren Toleranzen (erzielbare Genauigkeit) sind bei der Festlegung von tolerierten Maßen zu berücksichtigen. Erhöhte Ansprüche an die Maßgenauigkeit setzen einen entsprechend höheren Aufwand für die Kokillen und für die Fertigung voraus. Nicht zuletzt aus Kostengründen sollten daher allgemein nur funktionsnotwendige Genauigkeiten gefordert werden; **so genau wie notwendig, so grob wie möglich**. Bei allen Gießverfahren lassen sich durch spezielle, aufwendige Maßnahmen noch engere Toleranzen einhalten. Hier ist jedoch die Absprache mit der Gießerei zwingend erforderlich.

4.13.2 Allgemeintoleranzen

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

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

Ebenfalls für ältere Konstruktionen (vor 2008) sind die Allgemeintoleranzen für Längen- und Dickenmaße in *DIN 1688*, Teil 1 für den Aluminium-Sandguss aufgeführt.

Die *DIN EN ISO 8062* enthält ausschließlich für Sand- und Kokillenguss:

- Toleranzgrade für die Großserienfertigung, **Tabelle 11a**,
- Toleranzgrade für Einzelfertigung oder Kleinserien von Rohgussstücken, **Tabelle 11b** und
- Gusstoleranzen als Zahlenwerte, **Tabelle 11c**.

4. Gestaltung

Tabelle 11a: Typische Maßtoleranzgrade für Großserien- oder Massenfertigung von Rohgussstücken aus Leichtmetalllegierungen

Verfahren	Toleranzgrad DCTG
Sandguss, handgeformt	9 bis 12
Sandguss, maschinengeformt, Maskenformverfahren	7 bis 9
Kokillenguss (außer Druckguss)	6 bis 8

Anmerkung 1: Die angegebenen Toleranzgrade können üblicherweise bei der 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 Toleranzgrad größer empfohlen.

Tabelle 11b: Typische Maßtoleranzgrade für Kleinserien- oder Einzel-fertigung von Rohgussstücken aus Leichtmetalllegierungen

Verfahren	Formstoff	Toleranzgrad DCTG
Sandguss, handgeformt	tongebunden	11 bis 13
	chemisch gebunden	10 bis 13

Anmerkung: Die Werte in dieser Tabelle gelten allgemein für Nennmaße über 25 mm. Für kleinere Abmessungen können üblicherweise aus wirtschaftlichen und praktischen Gründen engere Toleranzen wie folgt festgelegt werden:

- Nennmaß bis 10 mm: drei Grade niedriger;
- Nennmaß 10 bis 16 mm: zwei Grade niedriger;
- Nennmaß 16 bis 25 mm: ein Grad niedriger.

Tabelle 11c: Längenmaßtoleranzen des Gussstückes (DCT)

Nennmaß des Formteiles		Längenmaßtoleranzen für Maßtoleranzgrade von Gussstücken (Auszug)							
		DCTG							
		6	7	8	9	10	11	12	13
-	≤ 10	0,52	0,74	1	1,5	2	2,8	4,2	-
> 10	≤ 16	0,54	0,78	1,1	1,6	2,2	3	4,4	-
> 16	≤ 25	0,58	0,82	1,2	1,7	2,4	3,2	4,6	6
> 25	≤ 40	0,64	0,9	1,3	1,8	2,6	3,6	5	7
> 40	≤ 63	0,7	1	1,4	2	2,8	4	6,6	8
> 63	≤ 100	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6	9
> 100	≤ 160	0,88	1,2	1,8	2,5	3,6	5	7	10
> 160	≤ 250	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11
> 250	≤ 400	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6,2	9	12
> 400	≤ 630	1,2	1,8	2,6	3,6	5	7	10	14
> 630	≤ 1000	1,4	2	2,8	4	6	8	11	16
> 1000	≤ 1600	1,6	2,2	3,2	4,6	7	9	13	18
> 1600	≤ 2500	-	2,6	3,8	5,4	8	10	15	21
> 2500	≤ 4000	-	-	4,4	6,2	9	12	17	24
> 4000	≤ 6300	-	-	-	7	10	14	20	28
> 6300	≤ 10000	-	-	-	-	11	16	23	32

Anmerkung: Für Wanddicken gilt der nächsthöhere Grad.

4.13.3 Form- und Lagetoleranzen

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

5. Prozesssimulation zur Bauteil- und Werkzeugauslegung

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

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

5.1 Zielsetzungen der gießtechnischen Simulation

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

5.2 Mathematische und physikalische Modelle

Bei der gießtechnischen Simulation wird mit Hilfe von numerischen Methoden der gesamte Gießprozess möglichst realitätsnah abgebildet, d. h. modelliert. Die numerische Simulation nutzt für die Berechnung der einzelnen Prozessschritte verschiedene mathematische Modelle.

Folgende Modelle haben sich etabliert:

Formfüllung bzw. Gießvorgang:

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

Erstarrung:

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

Gusseigenspannungen und Verzug:

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

Lokale Gefüge:

Mit Mikromodellen wird die Bildung von Gefügen für untereutektische Aluminium-Gusslegierungen berechnet. Diese stellen die wichtigste Gruppe der Al-Gusslegierungen dar. Die Berechnung der Gefüge wird auf der Grundlage der Legierungszusammensetzung aus den Gleichgewichtsphasen, der Kinetik, mit der einzelne Phasen bei einer Temperatur wachsen können und dem Seigerungsverhalten von einzelnen Legierungselementen, die zu einer Verschiebung einzelner Phasenanteile oder sogar zu neuen Phasen führen können, durchgeführt. Die Berechnung erfolgt für jeden Zeitschritt und in jedem Element.

Porositäten:

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

Lokale Bauteileigenschaften:

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

5. Prozesssimulation zur Bauteil- und Werkzeugauslegung

5.3 Aufbau der Programme

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

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

Datenbank:

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

Verfahrensspezifische Module:

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

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

5.4 Ablaufbeschreibung der Simulationsrechnung

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

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

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

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

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

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

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

Sind die Eingaben abgeschlossen, wird die Berechnung gestartet. Es kann nun der Prozessablauf mit seinen einzelnen Teilen wie die Formfüllung, die Erstarrung, die Berechnung von Eigenspannungen und lokalen Eigenschaften berechnet werden.

Die Rechenzeit für solche Berechnungen hängt von mehreren Parametern ab und kann mit leistungsfähigen PCs von einer Stunde bis zu einigen Tagen in Anspruch nehmen.

Mit dem Einsatz der Clustertechnik können diese Zeiten auch auf Minuten und Stunden reduziert werden. Nach erfolgter Berechnung wird die Ergebnisauswertung mit dem Postprocessor durchgeführt.

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

5. Prozesssimulation zur Bauteil- und Werkzeugauslegung

Die Berechnung liefert Ergebnisse zur:

- **Formfüllung:** Darstellung der Temperaturen, Strömungsgeschwindigkeiten und Drücke.
Kriteriumsergebnisse: Füllzeit, Formerosion usw.
- **Erstarrung:** Darstellung der Temperaturen, Wärmezentren, Wärmehaushalt von Kokillen und Kernen usw.
Kriteriumsergebnisse: Erstarrungszeiten, Abkühlraten, Porositäten, Nachspeisung, Niyama-Kriterium, Fraction Solid, thermischer Modul usw.
- **Eigenspannungen:** Darstellung der Spannungsverteilung bei Raumtemperatur (mit allen Spannungskomponenten), Darstellung der Ursachen der Spannungen, Wärmespannungen in Dauerformen (Kokillen).
- **Verzug:** Darstellung des Gesamtverzuges durch eine verformte Darstellung des Bauteils sowie der ausgewerteten Verschiebungen.
- **Gefüge:** Gefügeverteilungen, wie Dendritenarmabstand, primäre eutektische Phasen werden ermittelt.
- **Porositäten:** Die Ergebnisse der Berechnung geben Aufschluss über die lokale Verteilung und Größe der Poren im Gussteil.
- **Lokale Bauteileigenschaften:** quantitative Aussagen zu lokalen Bauteileigenschaften, wie Zugfestigkeit, $R_{p0,2\%}$ – Grenze, Dehnung.

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

5.5 Simulation in der Lebensdauervorhersage

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

5.6 Simulation in der Lebensdauervorhersage

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

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

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

Die organisatorische Einbindung der gießtechnischen Simulation in die QS-Systeme wird heute von Unternehmen erfolgreich praktiziert. Hierzu empfiehlt es sich, verschiedene Fragestellungen zu klären und verbindlich festzulegen.

- In welchen Fällen wird simuliert?
- Welche Ressourcen werden in welchem Umfang eingesetzt?
- Integration der gießtechnischen Simulation:
 - Wann wird mit der Simulation begonnen?
Es wird empfohlen, diese schon mit dem ersten 3D-Bauteildesign durchzuführen, um in diesem sehr frühen Stadium der Bauteilentwicklung erste Erkenntnisse über das gießtechnische Verhalten des Bauteils zu erhalten und mögliche Problembereiche konstruktiv zu verändern. Zu diesem Zeitpunkt kann eine solche sehr schnell durchzuführende Erstarrungssimulation für die Absicherung des späteren Fertigungsprozesses sehr hilfreich sein.
- Wann und von wem werden die Ergebnisse ausgewertet?
- Wem werden die Ergebnisse zur weiteren Verwendung zur Verfügung gestellt?
- Welche Maßnahmen werden auf Grund der Simulation zur Durchführung freigegeben?
- Wer gibt Maßnahmen frei und wer ist für deren Umsetzung zuständig?
- Wie wird dokumentiert und berichtet?

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

6. Oberflächenbehandlung

Aluminiumgussstücke werden im Allgemeinen ohne besondere Oberflächenbehandlung verwendet. Eine Verbesserung der Oberfläche ist auf vielseitige Art möglich.

Die Oberflächen von Gussstücken werden behandelt, um unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen, die einerseits **dekorativ** andererseits **funktio-nell** bestimmt sein können, siehe **Tabelle 12**.

Tabelle 12: Anforderungen an Oberflächen von Gussstücken

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

Tabelle 13 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Behandlungsverfahren von der mechanischen und chemischen Bearbeitung über die anodische Oxidation bis 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.

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		Gleitlackbeschichtung
	Phosphatieren		KTL-Beschichtung
	Stromlos Vernickeln		Kunststoffüberzüge
Vorbereitung			
Endbehandlung			
Vor- oder Endbehandlung			

Tabelle 13: Überblick über Oberflächenbehandlungsverfahren

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

Die Grundregeln der Oberflächenbehandlung sind bereits bei der Gussstück- und Formkonstruktion zu beachten. Die Güte der Oberflächenbeschichtung hängt dann in starkem Maße von der sorgfältig aufeinander abgestimmten Abfolge der Vor- und Endbehandlungsschritte sowie deren sicheren technischen Beherrschung ab. Es kann erforderlich sein, dass mehrere Vorbehandlungsschritte durchgeführt werden müssen, bevor die Endsicht aufgebracht werden kann. Für dekorative Zwecke bestimmte Gussstücke sind häufig zunächst mechanisch zu bearbeiten (z. B. Strahlen + Schleifen + Polieren), zu reinigen (z. B. Entfetten/Beizen) und eine oder mehrere Haft- oder Unterschichten aufzubringen (z. B. Phosphatieren zur Haftvermittlung oder Verkupfern), bevor die Endbeschichtung erfolgen kann (z. B. galvanisch Verchromen).

7. Qualität

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

7.1 WERKSTOFF, GEFÜGE, OBERFLÄCHE

7.1.1 Chemische Zusammensetzung

Die chemische Zusammensetzung des Gusswerkstoffs, die naturgemäß das Gefüge beeinflusst, wird in der Regel mit einem Funkenspektrometer (F-OES) überprüft. Bei Gussstücken mit höheren Qualitätsanforderungen wird zusätzlich in den Gießereien die Unterdruckdichtepfung zur Überwachung der Schmelzereinheit eingesetzt.

7.1.2 Gefüge

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

Grundsätzlich sollen Gussstücke so konstruiert werden, dass diese im Anwendungsfall mit den verfahrenstechnisch bedingten Gefügedefekten (Gasporositäten, Volumendefizite) den Beanspruchungen standhalten. Das **VDG Merkblatt P 201** (ab 2010: P202) zur Kennzeichnung von Porosität gibt Hinweise, wie der Kunde Porenforderungen in der Zeichnung definieren kann. Das Merkblatt stellt einen Standard z. B. in der Automobilindustrie dar.

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

- **Röntgen** als schneller qualitativer Überblick, bei dem jedoch nur mit hohem Aufwand die Porengröße und Anzahl bestimmt werden kann.
- **Computertomografie**, wird vorwiegend in der Produktentwicklung eingesetzt, da der Aufwand für eine Serienüberwachung zu hoch ist. Jedoch kann hierbei die Porenverteilung genau bestimmt werden.

- **Probefräsung**, Schlitze mit Porenauswertung (mikroskopisch) am vereinbarten Schliff entweder nach Vergleichstabellen, Grenzmustern oder durch Rechner unterstützte Bildanalyse.

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

Die rechnerische Simulation der Formfüllung und Erstarrung für Gussstücke ist soweit entwickelt, dass bereits in der Konstruktionsphase porengefährdete Bereiche aufgezeigt werden. Durch geeignete Änderungen am Gussstück und im Anschnittsystem lassen sich Gegenmaßnahmen bereits vor der Werkzeugherstellung treffen und die Gefahr zur Porenbildung im Gussstück minimieren (vergl. **Kap.5**).

7.1.3 Rissprüfung (Farbeindringverfahren)

Eine Riss- oder auch Farbeindringprüfung kann zur Detektion von oberflächenoffenen Fehlern bei Gussteilen aus nicht porösem Material angewandt werden. Zu diesen Fehlern zählen zum Beispiel Risse, Überlappungen, Falten und Poren.

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

Weitere Angaben zu diesem Prüfverfahren sind in der *DIN EN 571-1* und in der *DIN EN 1371-1* ersichtlich.

7. Qualität

7.1.4 Oberflächenrauheit von Gussstücken

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

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

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

Orientierende Angaben zur Rauheit von Gussoberflächen sind in *DIN 4766, Teil 2*, gemacht. Danach kann sich die Rauheit Ra bei Sandguss zwischen 12,5 µm und 125 µm und bei Kokillenguss zwischen 3,2 µm und 80 µm bewegen. Diese Werte gelten für alle Gusswerkstoffe.

7.2 Prozessfähigkeit

Der Prozessfähigkeitsnachweis erfolgt über die vereinbarten Toleranzen. Insbesondere Maße über die Formteilung, Schiebermaße oder Kerne sind verfahrensbedingt nur mit höheren Toleranzen zu fertigen. Diese Maße weisen auch keinen Verlauf im Sinne der Prozessfähigkeit auf, sondern schwanken von Abguss zu Abguss. Soll eine Prozessfähigkeit über solche Maße hergestellt werden, ist eine sehr grobe Toleranzbemaßung notwendig. Es gilt zu beachten:

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

7.3 Rückverfolgbarkeit

Die Kennzeichnung der Gussstücke ist aus logistischen Gründen und gesetzlichen Vorgaben sinnvoll. Zur Identifikation von Gussstücken werden z. B. folgende Angaben gefordert:

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

Sicherheitsrelevante Bauteile erfordern möglicherweise weitere Kennzeichnungen.

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

7. Qualität

7.4 Beispiele für Kennzeichnungsarten

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

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

Etikettieren: Neben den vorstehend genannten „unverlierbaren“ Kennzeichnungen kann auch der Einsatz von Beschriftungsetiketten infrage kommen. Sinnvoll ist dies immer dann, wenn die Größe eines Bauteils, seine Geometrie oder der Wunsch des Kunden eine Kennzeichnung mit anderen Verfahren nicht zulassen. Das Etikettieren kann manuell mit herkömmlichen Etikettiergeräten (Handauszeichner) oder automatisiert mit Labeldruckern erfolgen. Es stehen diverse Etikettengrößen und -materialien, sowie unterschiedlich stark haftende Klebstoffe zur Verfügung. In der Wahl der Beschriftung ist der Anwender relativ frei; beschränkt wird diese lediglich durch die Größe des gewählten Etiketts sowie durch die gewünschte Schriftgröße.

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

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

8. Hinweise zur Gussstückanfrage und Wirtschaftlichkeit

Die vorliegenden Empfehlungen und Gestaltungsmerkmale für Sand- und Kokillenguss aus Aluminium zeigen, dass diese modernen und wirtschaftlichen Gießverfahren wie jede Fertigungsmethode spezifische Eigenheiten besitzen, 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 Gusswerkstoffes erst an zweiter Stelle kommt. Die volle Wirtschaftlichkeit der Gießverfahren wird nur dann erreicht, wenn ein Bauteil von vornherein gießgerecht konstruiert wird. Im Sinne echten „Simultaneous-Engineerings“ ist es notwendig, bereits in der Konzeptphase Kontakt mit einer erfahrenen Gießerei aufzunehmen. Bereits in diesem Stadium ist es notwendig, durch entsprechende Beratung die Konstruktion optimal auf die verfahrenstechnischen Möglichkeiten des Sand- oder Kokillengießens hin auszulegen. Nur so können alle Möglichkeiten dieser Fertigungstechnologien ausgeschöpft werden. In der Regel ergeben sich erhebliche Änderungen gegenüber Ausführungen als Blech- und Schweißkonstruktion.

Die bei solchen Diskussionen geäußerten „Änderungswünsche“ der Gießerei sind nicht als Bequemlichkeit oder mögliche Inflexibilität zu interpretieren. Gießtechnisch erforderliche Konstruktionsänderungen bedeuten für die serienmäßige und seriensichere Herstellung eines Gussstückes langfristig entscheidende Kostenvorteile.

Die enge Zusammenarbeit zwischen Konstrukteur und Gießer zum frühestmöglichen Zeitpunkt führt außerdem zu deutlichen Reduzierungen der Entwicklungszeit und damit zu Kostenreduzierungen.

Findet keine mündliche Besprechung statt, ist es zweckmäßig, der Gießerei zusammen mit der Anfrage folgende Unterlagen an die Hand zu geben:

- 3D-Datensatz für Roh- und Fertigteil,
- Roh- und Fertigteil-Zeichnung des Gussstücks und, sofern vorhanden, auch ein maßgerechtes Musterstück,
- Angaben über die mechanische, chemische und thermische Beanspruchung des Gussstücks im späteren Betrieb zwecks Auswahl des geeigneten Gusswerkstoffes,
- Voraussichtliche Losgröße und ungefährender Jahresbedarf zwecks Auswahl der richtigen Modell- bzw. Kokillenwerkstoffe sowie zur optimalen Anlage 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.

Bei einer Prüfung der Wirtschaftlichkeit von Aluminiumguss darf man nicht von den Kosten für das unbearbeitete Gussstück (Rohling) ausgehen. Selbst die Gegenüberstellung der einbaufertigen Teile gibt nicht immer das richtige Bild. Das geringere Gewicht bewirkt häufig beim Abnehmer eine zusätzliche Ersparnis an Transport- und Energiekosten. Die höhere Maßgenauigkeit bedeutet vereinfachte Kontrolle und geringeren Ausschuss bei der Weiterverarbeitung und gewährleistet außerdem eine einfachere und kostengünstigere Austauschbarkeit bei Ersatzbedarf.

Die gerade für den Aluminiumguss zur Verfügung stehenden Gießverfahren gestatten überwiegend die Herstellung sehr maßgenauer Gussstücke. Dabei kann erheblich an Bearbeitung eingespart werden. In Verbindung mit der sehr guten spanenden Bearbeitbarkeit ergeben sich hier beachtliche Kostenvorteile. Gegenüber anderen Werkstoffen kann auch der Gewichtsvorteil des Aluminiums von entscheidender Bedeutung sein.

Ganz besonders sollte bei einer Neukonstruktion an die Verwendung von Aluminiumguss gedacht werden. Vergleichskalkulationen mit anderen Werkstoffen und Fertigungsverfahren, gegebenenfalls im Rahmen einer Wertanalyse, werden vielfach zeigen, dass eine Aluminiumgussausführung technisch-wirtschaftlich die günstigste Lösung ist.

9. Weiterführende Literatur

Aluminium-Zentrale (Hrsg.): **Aluminium Taschenbuch**,
15. Auflage, Aluminium-Verlag Düsseldorf, 1999

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

VDG Merkblätter

K100 Rauheit von Gussoberflächen
P202 Volumendefizite von Gussstücken aus Aluminium-,
Magnesium- und Zinkgusslegierungen

Weitere Unterlagen und Informationen sind erhältlich bei:

VDG-Merkblätter

Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (BDG)
Düsseldorf

Normen

Beuth Verlag GmbH
10772 Berlin

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 ist.

Notizen



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

Sohnstraße 70
40237 Düsseldorf
Internet: www.bdguss.de