

VDG - MERKBLATT

Gussteile für den Maschinenbau

Leitfaden für die Konstruktion und Bestellung von Gussteilen aus
Gusseisen für den Maschinenbau

K 200
Januar 2005

Vorwort

1 Erläuterung der Gießverfahren

- 1.1 Maschinenformverfahren
- 1.2 Handformverfahren
- 1.3 Vollformverfahren
- 1.4 Stranggießverfahren
- 1.5 Schleudergießverfahren

2 Modelltechnik und Modellwerkstoffe

- 2.1 Modellkonstruktion und
-herstellung
- 2.2 Modellgüteklassen

3 Konstruktive Empfehlungen

- 3.1 Allgemeine
Konstruktionsempfehlungen
 - 3.1.1 Einführung
 - 3.1.2 Formschrägen
 - 3.1.3 Schwindmaß
 - 3.1.4 Allgemeintoleranzen und
Bearbeitungszugaben
 - 3.1.5 Mindestwanddicken
 - 3.1.6 Übergänge zwischen Wänden
und Rippen
 - 3.1.7 Dichtspeisung
 - 3.1.8 Beispiele für beanspruchungs-
gerechte Ausführung
 - 3.1.9 Beispiele für spannungsarme und
rissunempfindliche Ausführung
 - 3.1.10 Beispiele für bearbeitungs-
gerechte Gestaltung
 - 3.1.11 Beispiele für handlungsgerechte
Ausführung

- 3.2 Konstruktionsbegleitende
CAE-Simulationstechniken
 - 3.2.1 CAE-Technologien für die
Gussteilentwicklung, Übersicht
 - 3.2.2 Datenübertragung, Schnittstellen
 - 3.2.3 Berechnungsnetze
 - 3.2.4 Gießsimulation
 - 3.2.5 Eigenschaftsberechnungen
 - 3.2.6 Eigenspannungsberechnung
 - 3.2.7 Simulation der Betriebsbelastung
 - 3.2.8 Betriebsfestigkeitsberechnungen
 - 3.2.9 Integration von CAE-Techniken
 - 3.2.10 Entwicklungen, Ausblick
- 3.3 Konstruktive Empfehlungen für
Maschinenformguss

4 Gusseisenwerkstoffe

- 4.1 Allgemeine Werkstoff-
eigenschaften
- 4.2 Normen für Gusseisenwerkstoffe
- 4.3 Wanddickenabhängige Eigen-
schaften

5 Kostenbeeinflussende Faktoren

6 Weiterführende Literatur und Datenbanken

- 6.1 Allgemeine Literatur über
Gusseisenwerkstoffe
- 6.2 Spezielle Eigenschaften von
Gusseisenwerkstoffen
- 6.3 Normen, Richtlinien und Merk-
blätter
- 6.4 Datenbanken
- 6.5 Software - Hilfreiche Links

vom Fachausschuss „Konstruieren in Guss“ erstellte Richtlinie



VEREIN DEUTSCHER GIESSEREIFACHLEUTE



Vorwort

Diese Richtlinie wendet sich an Konstrukteure des Werkzeugmaschinenbaus und deren Zulieferer. Sie umfasst Konstruktionshinweise für die Gestaltung von gegossenen Bauteilen aus Gusseisenwerkstoffen (insbesondere Gusseisen mit Lamellengraphit und Gusseisen mit Kugelgraphit).

Diese Richtlinie soll als Ergänzung für die einschlägigen Konstruktionsrichtlinien dienen, ersetzt jedoch nicht die Beachtung der jeweils aktuell gültigen Richtlinien und Normen.

Die in den Gießereien eingeführten Fertigungstechniken für Gussteile des Werkzeugmaschinenbaus werden als Überblick kurz beschrieben, im Wesentlichen aber als be-

kannt vorausgesetzt. Zur Einarbeitung in das generelle Thema der Gießereitechnik sei auf die Literatur verwiesen (vgl. 6.1).

Die Auswahl des für ein Bauteil besten Fertigungsverfahrens hinsichtlich Qualität und Preis ist bereits eine so komplexe Entscheidung, dass hier nur generelle Empfehlungen genannt werden können, die Detailentscheidung jedoch immer bauteilabhängig getroffen werden muss. Wesentliche Entscheidungskriterien sind:

- die benötigte Stückzahl,
- die Größe des Gussteils,
- die geforderte Maßgenauigkeit,
- der geplante Gusswerkstoff,
- die geometrische Komplexität des Gussteils.

Da im Rahmen dieser Richtlinie ausschließlich gegossene Bauteile aus Gusseisenwerkstoffen für den Werkzeugmaschinenbau behandelt werden, können die relevanten Fertigungsverfahren eingegrenzt werden auf:

Gießverfahren (Formverfahren)	relevante Losgröße	relevantes Bauteilgewicht	relevante Komplexität des Gussteils
Maschinenformverfahren	mittel bis hoch	50 g bis ca. 500 kg	hoch
Handformverfahren (mit Dauermodellen)	gering	bis ca. 250 t	hoch
Handformverfahren (Vollformverfahren mit Schaumstoffmodell)	Einzelstücke und kleinste Serien	bis ca. 30 t	hoch
Stranggießverfahren	hoch, allerdings Distributionsware	--- (Halbzeug)	sehr gering
Schleudergießverfahren	Klein- bis Großserie	5 kg bis ca. 500 kg (Halbzeug)	sehr gering

Eine Einführung in die genannten Gießverfahren sowie Hinweise auf weiterführende Literatur gibt Abschnitt 1 dieser Richtlinie.

1 Erläuterung der Gießverfahren

1.1 Maschinenformverfahren

Das Maschinenformverfahren wird bei mittleren und großen Serien von Gussteilen bis ca. 500 kg Gewicht (maximales Gussgewicht im Formkasten: 1300 kg) angewendet. Die maschinell ausgeführten Arbeitsschritte der Formherstellung sind im Prinzip weitgehend die gleichen wie beim Handformen.

Allgemein kann der Arbeitsablauf in vier Abschnitte eingeteilt werden:

- Herstellung der beiden Sandformhälften aus tongebundenen Sanden mit Hilfe der Modellplatte,
- parallele Herstellung der Sandkerne aus chemisch gebundenen Formstoffen,
- Einlegen der Sandkerne und Zulegen der Formhälften,
- Gießen der Eisenschmelze in den Formhohlraum.

Die Modelle zur Herstellung der Formen sind auf Formplatten montiert. Die heutigen vollautomatischen Formanlagen ermöglichen eine hochproduktive, maßgenaue Fertigung von Serienteilen.

Entsprechend der geplanten Stückzahl werden die Modelle mehr oder weniger aufwändig hergestellt. Für mittlere Serien werden Kunststoffmodelle, für große Serien werden heute meist verschleißbeständige Metallmodelle verwendet, die eine entsprechend lange Lebensdauer aufweisen.

1.2 Handformverfahren

Werden einzelne Gussteile oder Kleinserien benötigt oder übersteigt die Bauteilgröße ein Gewicht von ca. 500 kg, wird in der Regel das Handformverfahren mit kunstharzgebundenen Formstoffen angewendet.

Zur Formherstellung wird das Modell mit einem stabilen Formkasten umgeben, der die äußere Begrenzung der Form darstellt. Dieser wird mit selbstaushärtenden Formstoff gefüllt. Die Form ist dabei mindestens zwei-

teilig ausgebildet, d. h., es wird mindestens ein Unter- und ein Oberkasten benötigt. Gleichzeitig mit der Form wird das Anschnitt- und Eingusssystem eingeformt.

Nach der Abbindereaktion des chemisch härtenden Formstoffes werden Ober- und Unterkasten getrennt und das Modell herausgenommen. Alternativ können die beiden Modellhälften auch fest auf Modellplatten montiert sein. Auf diesen werden beide Formhälften parallel hergestellt und anschließend von der Modellplatte abgehoben.

Die Formoberflächen werden zur Verbesserung der Oberflächenqualität des Gussteils mit einem feuerfesten Überzug (Schlichte) versehen. Dann werden die für die Innenkontur des Gussteils benötigten Sandkerne in die Form eingelegt und die beiden Formhälften zusammengesetzt, verklammert und gegen Auftrieb beim Gießen belastet. Nach Erkalten des Gussstückes wird die Form geöffnet und das Gussteil entnommen. Die Form wird dabei zerstört, der Sand wird wieder aufgearbeitet. Nach Reinigung des Gussteils (Strahlen und Putzen) und einer ggf. erforderlichen Wärmebehandlung steht das Gussteil als Rohteil zur mechanischen Bearbeitung zur Verfügung.

1.3 Vollformverfahren

Das Vollformverfahren beruht auf der Verwendung von Modellen aus Polystyrol-Schaumstoffen, die im Fertigungsprozess der Gießerei – im Unterschied zu den klassischen Hohlformverfahren – innerhalb der Gießform verbleiben und während des Gießvorganges durch die flüssige Metallschmelze thermisch zersetzt werden.

Die Polystyrolmodelle für die Herstellung von Werkzeugteilen nach dem Vollformverfahren werden aus dem Vollmaterial gearbeitet oder aus Einzelteilen gefügt. Die Gießmodelle aus Polystyrol werden mit einer mineralischen, oxidischen Deckschicht (Schlichte) beschichtet, die später eine saubere Trennung des flüssigen Metalls von dem das Modell umgebenden Formstoff bilden soll. Das so vorbereitete Modell wird dann mit einem Eisenverteilsystem, bestehend aus Einguss, Läufen und Anschnitten, ausgerüstet, über

das die Schmelze während des Gießvorganges in die Form geleitet wird. Das Gebilde aus Modell und Gießsystem wird in einem Formkasten positioniert und dort allseitig mit Formstoff eingehüllt, der zugleich verdichtet werden muss. Nach dem Verklammern und Beschweren des Formkastens erfolgt der Gießvorgang wie beim Handformverfahren. Nach dem Abguss muss eine ausreichend lange und langsame Abkühlung erfolgen, damit spannungsarme, rissunempfindliche und verzugsarme Gussteile erzielt werden. Die Gussteilqualität steht ansonsten in direktem Zusammenhang mit der Modellqualität, der Güte der Metallschmelze, der Gießtemperatur und insbesondere der Gestaltung des Eisenverteilsystems.

Das Vollformverfahren zeichnet sich gegenüber den Hohlverfahren durch folgende Merkmale aus:

Vorteile:

- kurze Durchlaufzeiten im Modellbau,
- niedrige Modellkosten,
- niedrige Gussteilkosten, da die Kernfertigung entfällt,
- maximale konstruktive Gestaltungsfreiheit mit geringer Kostenwirkung,
- konstruktive Änderungen mit geringem Aufwand bis zur Modellabnahme möglich,
- Gestaltgleichheit zwischen Modell und späterem Gussstück.

Nachteile:

- größere Mindestwanddicke erforderlich,
- im Ausschussfall Zeitverlust und Kosten durch Modellersatz,
- Zersetzungsrückstände des Polystyrols in der beim Gießen oberliegenden Bearbeitungszugabe führen ggf. zu erschwerten Zerspanungsbedingungen.

Die Konstruktion von Werkzeugteilen für das Vollformverfahren ist in der VDI-Richtlinie VDI 3381 beschrieben.

Deutlich abzugrenzen vom Vollformverfahren ist das **Lost-foam-Verfahren** für Seriegussteile. Hierbei werden die mit feuerfestem Material geschichteten Schaumteile in ungebundenen Sand eingepackt und der Sand durch Vibration verdichtet. Dieses Verfahren eignet sich jedoch nur für Gussgewichte bis ca. 100 kg.

1.4 Stranggießverfahren

Halbzeug-Profile aus Gusseisen, überwiegend Rund- oder Vierkant-Profile, aber auch spezielle geometrische Profile, werden üblicherweise nach dem Stranggießverfahren hergestellt. Die verfügbaren Geometrien und Werkstoffe sind derzeit nicht genormt, die Gießereien und der Handel bieten eine Vielzahl von Varianten an. Das Stranggießverfahren ist ein kontinuierliches Gießverfahren mit einer gekühlten, geometriegebenden Kupferkokille, aus welcher der erstarrte Strang kontinuierlich abgezogen wird. Der Strang wird auf handhabbare Längen abgetrennt und kommt als Stangenware in den Handel oder wird auftragsbezogen auf Maß konfektioniert. Strangguss wird häufig für Führungsstangen, Hohlzylinder, Laufbahnen etc. verwendet.

1.5 Schleudergießverfahren

Für die Herstellung von Hohlzylindern (z.B. Zylinderlaufbuchsen, Führungsbuchsen etc.) bei denen der Außenbereich konturiert ist, wird als wirtschaftliche Alternative (geringes Bearbeitungsaufmaß) zum Stranggießverfahren das Schleudergießverfahren eingesetzt.

Die Schleudergussrohlinge werden je nach Geometrie einzeln oder mehrfach in rotierenden Metallformen (Kokillen) gegossen. Diese Kokillen werden in Abhängigkeit vom Profil auch geteilt bzw. mit Außenkern aus Sand eingesetzt.

2 Modelltechnik und Modellwerkstoffe

2.1 Modellkonstruktion und -herstellung

Sowohl für das Maschinenformverfahren als auch für das Handformverfahren werden Gießereimodelle und Zubehör zur Herstellung von Gießformen für das Sandgießverfahren benötigt. Dazu gehören die eigentlichen Modelle, Kernkästen, Aufstampfböden, Form- und Kernlehren etc. Sie werden gemeinsam als Modelleinrichtungen bezeichnet.

Grundlage für die Anfertigung von Modelleinrichtungen ist die Rohteil- und/oder Fertigteilgeometrie als Zeichnung oder Datensatz des zu fertigenden Bauteils. Die Gießerei plant überwiegend auf der Basis der Fertigteilgeometrie und erstellt – abhängig von ihrer individuellen Fertigungstechnik – daraus die Rohteilgeometrie.

Die gießereitechnische Bearbeitung der Fertigteilgeometrie zur Generierung der Rohteilgeometrie berücksichtigt zahlreiche fertigungstechnische Parameter, die sicherstellen sollen, dass die gewünschte Geometrie des Fertigteils problemlos aus der Rohteilgeometrie bearbeitet werden kann. Dies bedingt ein umfangreiches Know-how und die Kenntnis der betriebsspezifischen Einflussgrößen, wie z. B. Aufbau der Modelle, Modellteilung, werkstoffabhängige Schwindmaße, räumlicher Verzug, Bearbeitungszugaben etc. (vgl. 3). Die hierbei durchzuführende Festlegung der Gießtechnik (Anschnitt- und Speisungssystem, Gießlage etc.) beeinflusst die metallurgische Fehlerfreiheit des späteren Gussstückes erheblich.

Die Festlegung der Gießlage hat in diesem Zusammenhang wesentlichen Einfluss auf die Gestaltung der Rohteilgeometrie (Ausformschrägen, Bearbeitungszugaben etc.) und muss spätestens mit Beginn der Konstruktion des Rohteils erfolgen. Idealerweise stehen die bei Betrieb auftretenden Spannungsmaxima schon zur Verfügung, so

dass eine spannungsgerechte Giesslage gewählt werden kann. Da die Lage der Gussteile in der Form neben wichtigen qualitativen Aspekten auch bedeutsam für die Herstellkosten sein kann, sollte in enger Abstimmung zwischen Konstrukteur, Bearbeiter und Gießerei zum frühestmöglichen Zeitpunkt eine Entscheidung getroffen werden. Idealerweise wird als Basis des abgegebenen Angebots auch die für die Gießerei optimale Gießlage beschrieben.

Davon ausgehend ist es zweckmäßig, dass die Planung der Modelleinrichtung bei der Gießerei im Einvernehmen mit dem Auftraggeber erfolgt, um durch eine individuelle Abstimmung der Modelleinrichtung auf die Fertigungstechnik der Gießerei eine wirtschaftliche Fertigung der Gussstücke zu gewährleisten.

Die Modelleinrichtungen werden in der Modellbauabteilung der Gießerei oder in externen Modellbaubetrieben hergestellt. Üblicherweise wickeln die Gießereien den Modellauftrag dann für den Kunden ab und sichern so den optimalen Informationsaustausch zwischen Gießerei und Modellbaubetrieb. Eigentümer der Modelleinrichtung ist üblicherweise der Auftraggeber der Gussteile.

Zur Optimierung der Modellkosten, insbesondere für größere, in kleinsten bis mittleren Serien laufenden Teilen, gibt es verschiedene Ansätze, die gemeinsam mit der Gießerei behandelt werden sollten:

- Gibt es zwischen zwei Bauteilvarianten geringfügige Geometrieänderungen, lassen sich diese mit nur einer Modelleinrichtung und entsprechenden Ansteckteilen realisieren.
- Längen- oder Ausrüstungsvarianten können oftmals über Kombimodelle realisiert werden, wenn die Varianten bereits bei der Modellkonzeption berücksichtigt werden. Gegenüber der Anfertigung mehrerer kompletter Modelleinrichtungen besteht ein erhebliches Einsparpotential.

- Wenn sich in zwei oder mehr Anlagen- oder Maschinentypen Teilfunktionen wiederholen, kann auch das Aufteilen der größeren Gussteile in kleinere Einheiten wirtschaftlich sinnvoll sein.

Das größte Potential liegt aber unbestritten im Zusammenfassen von Einzelteilen sowie der Integration von Anbauteilen. Neben verringerten Handling- und Lagerkosten reduzieren sich durch die entfallende Bearbeitung der Schnittstellen die Bearbeitungskosten erheblich.

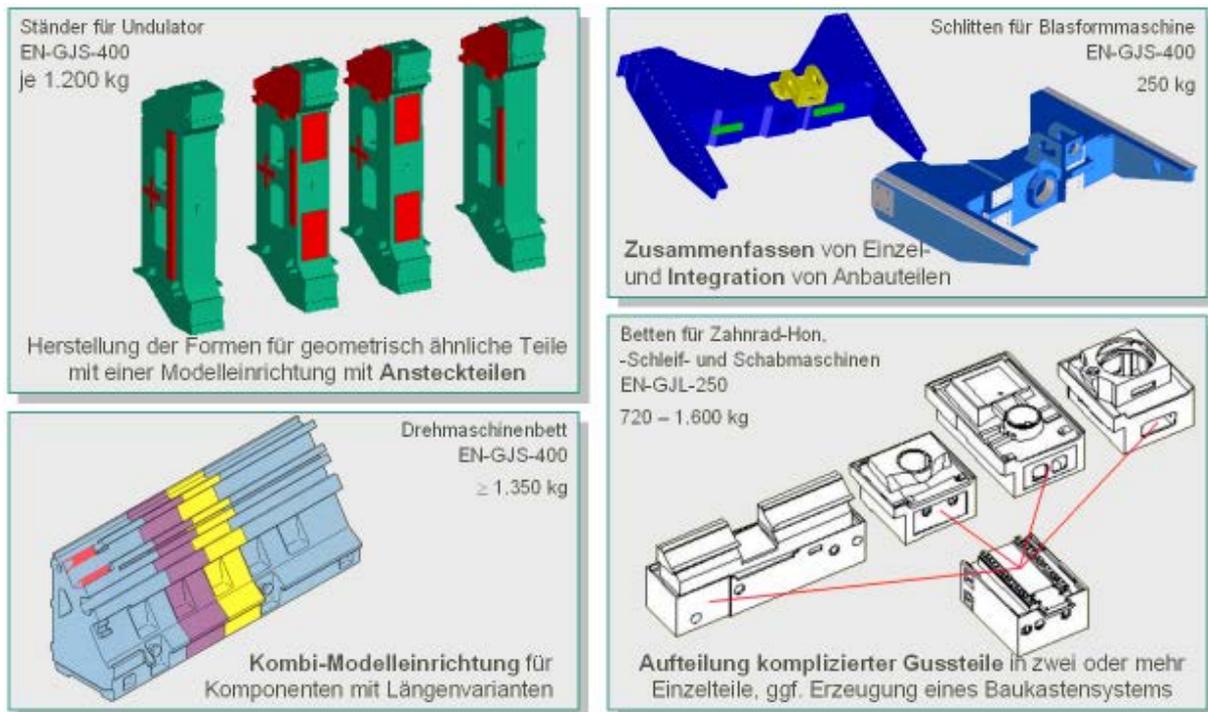


Bild 2.1.1a bis d Beispiele für Modelleinrichtungen

2.2 Modellgüteklassen

Die geplante Stückzahl und die Einsatzdauer (einschließlich Lagerzeit) bestimmt die Wahl der Modellgüteklasse (Tabellen 2.1 und 2.2). Die Modellgüteklassen in Zusammenhang mit dem Formverfahren haben wesentlichen Einfluss auf die erreichbare Maßgenauigkeit des Gussteils.

Die Preisunterschiede zwischen den einzelnen Modellgüteklassen sind hoch, so dass die Kosten pro Abguss und die Kapitalbindung über den Einsatzzeitraum genau zu betrachten sind.

Tabelle 2.1 zeigt die Einsatzbereiche der Modellwerkstoffe und der Modellgüteklassen in Abhängigkeit vom Formverfahren und der benötigten Stückzahl. Es sind ebenfalls Richtwerte für das Kostenverhältnis und mögliche Abformzahlen aufgeführt.

Die Modellgüteklassen und die daraus folgenden Anforderungen an die Modelle sind nach DIN EN 12890 genormt und in **Tabelle 2.2** auszugsweise wiedergegeben.

Modellgüteklassen

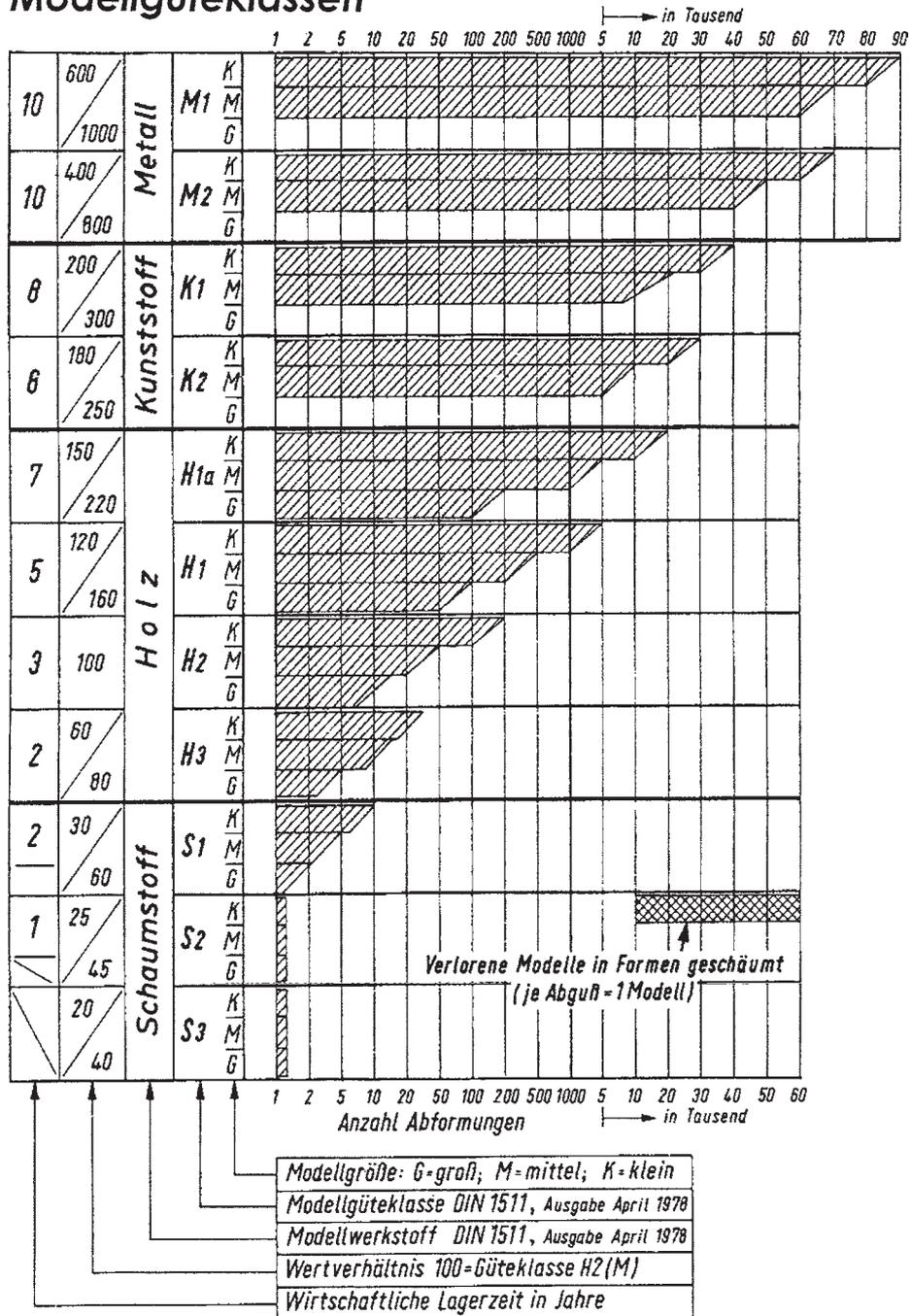


Tabelle 2.1 Modellgüteklassen

Richtwerte für Kostenverhältnis und mögliche Abformzahlen

Tabelle 2.2 Charakteristische Merkmale von Modellen und Modelleinrichtungen (Auszug aus DIN EN 12890)

Merkmale	Hauptsächliche Verwendung					
	Handformerei	Handformerei	Handformerei	Hand- oder Maschinenformerei	Hand- oder Maschinenformerei	Maschinenformerei
	Handformerei – wiederkehrende Einzelgußstücke	Handformerei – kleine wiederkehrende Serien Maschinenformerei – mittlere Serien	Handformerei – kleine wiederkehrende Serien Maschinenformerei – mittlere Serien	Hand- oder Maschinenformerei – kleine Modelle, die schwierig zu entnehmen sind Maschinenformerei – mittlere Serien	Hand- oder Maschinenformerei – große Teile, geeignete Formen, kleine Abmessungen, mittlere Serien	Maschinenformerei – mittlere Serien Maschinenformerei – Großserien
Güteklasse	H2 H3	H1 H2	H1 K2	K2	K1	M2 M1
Maximale Stückzahl, die gefertigt werden kann ¹⁾	20 10	300 150	750 300	3 000 1 000	10 000 ²⁾ 3 000	10 000 3 000 —
Werkstoff	Weichholz und normales Sperrholz	mittelhartes Holz, Sperrholz und Fűrnerholz	Sperrholz, veredelltes Holz und Laminierharz ³⁾	Harz ^{3)/4)} , verstärktes Laminierharz und veredelltes Holz ⁵⁾	Gießharz oder metallverstärktes Laminierharz ^{3)/4)}	mechanisch bearbeitete niedriglegierte Stähle mechanisch bearbeitetes oder geschichtetes und von Hand nachgearbeitetes Leichtmetall und Harz, falls anwendbar
Maximale Dauer der Lagerbeständigkeit ⁶⁾	1 Jahr	2 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	10 Jahre
Mittel zum Zusammenbau von Modellteilen	Holzdübel	Stahldübel (Dübel mit Hülse für austauschbare Teile)	Metaldübel mit Hülse	Dübel mit eingelassener Metallhülse	Dübel mit eingelassener Metallhülse	hochfeste Stahldübel
Hohlkehlen	Leder oder Harz ³⁾	handgeformt oder Harz ³⁾	handgeformt oder Harz ³⁾	mechanisch bearbeitet	mechanisch bearbeitet	mechanisch bearbeitet

1) Die Anzahl der Gußstücke, die hergestellt werden können, dient nur zur Information, es handelt sich um Maximalwerte: Die geringere Anzahl entspricht schwierig zu formenden oder zu entnehmenden Formen; die höhere Anzahl entspricht günstigen Bedingungen, unter denen die Formen leicht zu formen oder zu entnehmen sind.
 2) Bei Teilen von einfacher Gestalt kann unter Verwendung eines geeigneten Harzes die Anzahl der hergestellten Gußstücke beträchtlich höher sein (100 000 oder darüber).
 3) Kompatibel mit dem Formverfahren.
 4) Durch mechanische Bearbeitung von Harzblöcken oder Harzformteilen können ähnliche Eigenschaften erreicht werden, jedoch ist die Maßgenauigkeit höher.
 5) Die Verwendung eines Trägerkörpers aus Metall anstatt aus Holz erhöht die Haltbarkeitsdauer dieser Güteklasse sowie die Eignung für die maschinelle Verwendung. Die maximale Anzahl der Gußstücke kann auf 5 000 erhöht werden.
 6) Ohne wesentliche Ausbesserung. Die Lagerbeständigkeit wird von den Formen, Maßen, der Feuchte und den Temperaturen bestimmt und sollte Gegenstand einer vorherigen Vereinbarung sein.

3 Konstruktive Empfehlungen

3.1 Allgemeine Konstruktionsempfehlungen

3.1.1 Einführung

Das Wissen um einige typische Gesetzmäßigkeiten der Gießereitechnik erleichtert dem Konstrukteur die Arbeit mit dem Fertigungsverfahren Gießen. Dabei ist nicht primär der Gesichtspunkt der Gussfehlervermeidung zu sehen, sondern es sollen mehr die Chancen bewusst gemacht werden, die durch dieses Verfahren gegeben sind.

Gießgerechtes Konstruieren erlaubt mehr als nur gerade, parallele, geometrisch simple und daher nicht optimale Strukturen. Es erlaubt vor allem auch natürliche Formen, die den jeweiligen Kraftverläufen wie selbstverständlich angepasst sind.

Der Aufwand für ein Modell ist einmalig, die beanspruchungsgerechte Konstruktion bei günstigem Materialeinsatz rechtfertigt jedoch den Aufwand und sichert dauerhaft die Vorteile einer hohen Gestaltungsfreiheit.

Der Konstrukteur sollte sich bewusst machen, dass

1. die Fertigung von Gussteilen durch Fließ- und Füllvorgänge mit flüssiger metallischer Schmelze erfolgt. Daher sollte möglichst mit fließ- und strömungsgerechten Übergängen konstruiert werden.
2. die flüssige Schmelze während der Erstarrung in der Form schwindet. Dabei können Spannungen auftreten, die - abhängig vom Werkstoff – von Eigenspannungen bis hin zu Warmrissen führen können, sogar wenn berücksichtigt wird, diese Spannungen durch harmonische Wanddickenübergänge auszugleichen.
3. die bei der Erstarrung des flüssigen Materials auftretende Schwindung bei unsymmetrischer Materialverteilung in großen Gussteilen zu erheblichen Verzügen und Krümmungen führen kann. Deshalb

ist eine gewisse Erstarrungssymmetrie vorteilhaft.

4. die Materialschwindung zu Hohlräumen (Lunkern) führen kann, wenn kein flüssiges Material mehr in den durch Schwindung entstehenden Hohlraum nachfließen kann. Kritisch sind immer Warmrisse oder offene Lunker an erhitzten Sandkanten!
5. die Auslegung des Bauteils bzw. der Fügeverbindung hinsichtlich des Kraftflusses besonderer Aufmerksamkeit bedarf.

Beispiel: Die ein Drehmaschinenbett belastenden Kräfte und Momente werden über den Spindelantrieb, den Support (den Werkzeugträger), den Reitstock und ggf. die Setzstöcke über die Führungsbahnen oder andere Aufstellflächen in den Grundkörper eingeleitet. Dabei entstehen örtliche Verformungen, die einen erheblichen Beitrag zur Gesamtverformung liefern können. Der steifen Ankoppelung dieser Teile und der optimalen Anbindung der Führungsbahnen an den Grundkörper kommt demnach entscheidende Bedeutung zu.

Besondere Aufmerksamkeit ist also den Fügeverbindungen zu widmen, die im Kraftfluss liegen. Für den gesamten Kraftfluss ist zu beachten, dass das Gesamtsystem nur so steif sein kann wie das schwächste Glied.

6. bei der Suche nach dem wirtschaftlichen und funktionalen Optimum viele neue Wege gemeinsam erschlossen werden können, wenn die Gießerei frühzeitig einbezogen wird.
7. die Wahl der Modellgüte sowie die technischen Vorgaben für den Modellbau entscheidenden Einfluss auf die zu fertigen Teile haben.

Auch hier gilt, dass der Einfluss auf die Stückkosten schon in der Einrichtungsphase entscheidend beeinflusst werden kann (z. B. Kernfertigung, Formfertigung, Putzen, Bearbeitung usw.).

Für die Bearbeitungszugaben gibt DIN ISO 8062 wichtige Hinweise.

3.1.2 Formschrägen

Zur Entnahme des Modells nach der Formherstellung aus dem verdichteten Formstoff ist es notwendig, eine geringe Formschräge in Ziehrichtung am Modell anzubringen.

Ohne besondere Absprache wird die Formschräge üblicherweise auf die Fläche aufgegeben, das heißt, es entsteht eine Materialzugabe. Soll dies im Einzelfall (z. B. bei Innenkonturen oder Fensterdurchbrüchen) ausgeschlossen werden, das heißt, eine entsprechende Material-

wegnahme gewünscht werden, ist dies zu vereinbaren.

Die üblicherweise benötigten Formschrägen sind für das Maschinenformen und Handformen sind in DIN EN 12890 genormt und in **Tabelle 3.1** auszugsweise dargestellt. Abweichend von dieser Norm können die Mindestwerte der Formschrägen, je nach Anwendungsfall, auch auf $0,5^\circ$ oder sogar 0° abgesenkt werden.

Für das Vollformverfahren werden grundsätzlich keine Formschrägen benötigt.

Tabelle 3.1 Formschrägen nach DIN EN 12890 (alle Maße in mm)

Höhe H	Formschräge T					
	kleine Aushebeflächen ($H/W \leq 1$)			hohe Aushebeflächen ($H/W > 1$)		
	Handformerei		Maschinenformerei	Handformerei		Maschinenformerei
	tongebundener Formsand	chemisch gebundener Formsand		tongebundener Formsand	chemisch gebundener Formsand	
bis 30	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0
über 30 bis 80	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0
über 80 bis 180	3,0	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0
über 180 bis 250	3,5	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0
über 250 bis 1 000	+ 1,0 je 250-mm-Stufe	+ 1,0 je 250-mm-Stufe	+ 1,0 je 250-mm-Stufe	+ 1,0 je 250-mm-Stufe	+ 1,0 je 250-mm-Stufe	+ 1,0 je 250-mm-Stufe
über 1 000 bis 4 000	+ 2,0 je 1 000-mm-Stufe	+ 2,0 je 1 000-mm-Stufe	+ 2,0 je 1 000-mm-Stufe	+ 2,0 je 1 000-mm-Stufe	+ 2,0 je 1 000-mm-Stufe	+ 2,0 je 1 000-mm-Stufe

W = Innenmaß

3.1.3 Schwindmaß

Aufgrund des linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten aller Materialien schwinden auch Gussstücke bei der Abkühlung auf Raumtemperatur nach dem Erstarren in der Gießform. Dieses Schwinden muss kompensiert werden durch das lineare Schwindmaß, welches als Maßzugabe auf das ge-

wünschte Rohteilmaß bei der Modellherstellung berücksichtigt werden muss. Dieser Faktor ist legierungsabhängig und hängt ebenfalls von der Formtechnologie ab. Hierzu verfügt die Gießerei über langjährige Erfahrungswerte, Richtwerte sind in **Tabelle 3.2** angegeben.

Tabelle 3.2 Richtwerte für lineare Schwindmaße für Gussstücke

Werkstoff	Schwindmaß in %
Gusseisen mit Lamellengraphit	1,0
Gusseisen mit Kugelgraphit (ungeglüht)	1,2
Gusseisen mit Kugelgraphit (geglüht)	0,5
Austenitische Gusseisen	2,5

3.1.4 Allgmeintoleranzen und Bearbeitungszugaben

Allgemeintoleranzen sind Toleranzen für Maße an noch unbearbeiteten Flächen, für die in der Zeichnung keine besonderen Angaben über die erforderliche Maßhaltigkeit enthalten sind. Die Bearbeitungszugabe bei Gussrohteilen ist eine Materialzugabe, um die nachfolgende spanende Bearbeitung zu ermöglichen. DIN 1680 Teile 1 und 2 sowie DIN ISO 8062 enthalten allgemeine Angaben über die zu berücksichtigenden Gussallgemeintoleranzen und Bearbeitungszugaben.

Die Nennmaße zur Festlegung der Toleranzen beziehen sich auf die Rohteilmaße einschließlich eventuell erforderlicher Bearbeitungszugaben.

Die zu wählende Bearbeitungszugabe richtet sich nach dem größten Außenmaß des Gussrohteils und ist aus dem dafür zutreffenden Nennmaßbereich auszuwählen. Beispiele sind in DIN 1680 ausgeführt.

Obwohl DIN ISO 8062 keine Abhängigkeit der Bearbeitungszugabe von der Lage der Fläche in der Gießform oder in Bezug auf die Teilungsebene vorsieht (im Gegensatz zu DIN 1685-1 und DIN 1686-1), hat die Positionierung aus gießereitechnischen Gründen hierauf einen erheblichen Einfluss.

Somit können durch optimale Positionierung der Gussstückgeometrie in der Form die notwendigen Allgmeintoleranzen und die benötigten Bearbeitungszugaben deutlich eingeschränkt werden. Dies trifft insbesondere für Gussteile aus Gusseisen mit Kugelgraphit zu, bei denen in Gießposition oben liegende Flächen häufig größere Bearbeitungszugaben erfordern.

Allgemeine Empfehlungen für Bearbeitungszugaben geben DIN 1685-1 und DIN 1686-1 (**Tabellen 3.3** und **3.4**, nicht für Neukonstruktionen!) und DIN ISO 8062.

Bearbeitungszugaben für größere Nennmaße oder Einschränkungen für Großserienteile müssen zwischen dem Kunden und der Gießerei individuell vereinbart werden.

Wird für bestimmte Maße eine eingeschränkte Allgmeintoleranz oder Bearbeitungszugabe benötigt, ist dies in vielen Fällen bei frühzeitiger Abstimmung zwischen der Gießerei und dem Konstrukteur ebenfalls möglich.

Einen Überblick über die gebräuchlichsten Allgmeintoleranzen geben DIN 1680-2 (GTB) bzw. DIN ISO 8062 (CT). Ohne besonderen Kostenaufwand ist beim Handformverfahren die Reihe GTB 18 (CT 12), beim Maschinenformverfahren GTB 16 (CT 10) erreichbar.

Tabelle 3.3 Bearbeitungszugaben für Gussrohteile aus Gusseisen mit Kugelgraphit bis zu 1000 kg Gewicht und bis zu 50 mm Wanddicke nach DIN 1685-1 (nicht für Neukonstruktionen)

Lage der Fläche in der Gießform	Nennmaßbereich bezogen auf das größte Außenmaß des Gussrohteils	bis 50	über 50 bis 120	über 120 bis 250	über 250 bis 500	über 500 bis 1000	über 1000 bis 2500
unten, seitlich	Bearbeitungszugabe BZ	2	2,5	3	3,5	4	6
oben		2,5	3	4	5	7	8

Tabelle 3.4 Bearbeitungszugaben für Gussrohteile aus Gusseisen mit Lamellengraphit bis zu 1000 kg Gewicht und bis zu 50 mm Wanddicke nach DIN 1686-1 (nicht für Neukonstruktionen)

Lage der Fläche in der Gießform	Nennmaßbereich bezogen auf das größte Außenmaß des Gussrohteils	bis 50	über 50 bis 120	über 120 bis 250	über 250 bis 500	über 500 bis 1000	über 1000 bis 2500
unten, seitlich	Bearbeitungszugabe BZ	2	2	2,5	2,5	3,5	4
oben		2,5	2,5	3	3	4,5	5

3.1.5 Mindestwanddicken

Bedingt durch die Montagetoleranzen zwischen Formwänden und/oder Kernen und metallurgisch bedingten Mindestwanddicken wird bei Handformguss im Allgemeinen von einer Mindestwanddicke von 10 mm ausgegangen. Soll diese lokal begrenzt unterschritten werden oder die Mindestwanddicke über große Flächen realisiert werden, ist dies auf jeden Fall mit der Gießerei vorher abzustimmen. Beim Maschinenformverfahren sind in Abhängigkeit von der Bauteilgeometrie im Allgemeinen Mindestwanddicken von ca. 3 mm möglich.

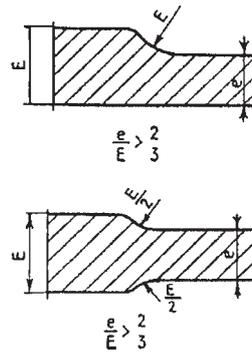


Bild 3.1 Verbindung unterschiedlicher Wanddicken

Scharfe, innere Kanten sind zu vermeiden, genauso wie falsch entworfene Übergänge, die eine Ansammlung von Metall zur Folge haben.

3.1.6 Übergänge zwischen Wänden und Rippen

Wie unter 3.1.1 beschrieben, fordern die gießereitechnischen Gesetzmäßigkeiten an Wandübergängen und Rippen möglichst harmonische Übergänge zur Vermeidung einer kritischen Kerbwirkung. Hierfür wurden empirische Empfehlungen erarbeitet, von denen die häufig vorkommenden im Folgenden ausgeführt sind.

Bei dynamisch belasteten Konstruktionen können Formoptimierungen zur weiteren Steigerung der Bauteilfestigkeit sinnvoll sein. Solche maßgeschneiderten Lösungen werden in der Regel von den dargestellten Vorschlägen abweichen.

3.1.6.2 Winkelelemente

Bei der Gestaltung von Winkelementen muss berücksichtigt werden, dass in der Nutzungsphase des Bauteils die Beanspruchung sowohl von dessen Geometrie als auch von Art und Richtung der Last abhängig ist (Moment, Biegung). Um ein mögliches Versagen des Bauteils zu vermeiden, ist gegebenenfalls eine Festigkeitsanalyse für die Nutzungsphase durchzuführen und die Gestaltung zu ändern.

Im Falle einer rechtwinkligen Verbindung gelten folgende Formeln (**Bild 3.2**):

3.1.6.1 Verbindung zwischen zwei Abschnitten unterschiedlicher Wanddicke

Ist es konstruktiv bedingt nicht möglich, einen konstanten Übergang zu realisieren, kann mit einem stufenweisen Übergang zwischen beiden Wanddicken gearbeitet werden.

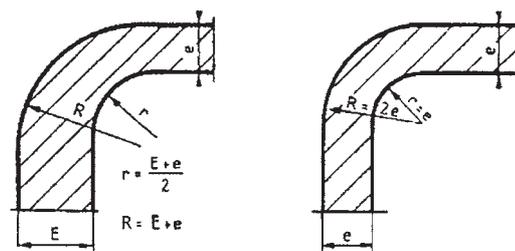


Bild 3.2 Rechtwinklige Verbindungen unterschiedlicher Dicken (links) und gleicher Dicken (rechts)

Wenn das Verhältnis von kleinerer zu größerer Dicke $\frac{2}{3}$ übersteigt, ist ein einfacher Übergang ausreichend (**Bild 3.1**); ist das Verhältnis kleiner als $\frac{2}{3}$, ist ein stufenweiser Übergang über eine größere Länge erforderlich.

bei verschiedenen Wanddicken:

$$r = \frac{E + e}{2} \text{ und } R = E - e$$

bei gleicher Wanddicke:

$$r = e \text{ und } R = 2 \cdot e$$

Wenn der äußere Winkel konstruktiv ein rechter Winkel sein muss (z. B. bei Rohrflanschen), sollte eine Ausführung nach **Bild 3.3** gewählt werden.

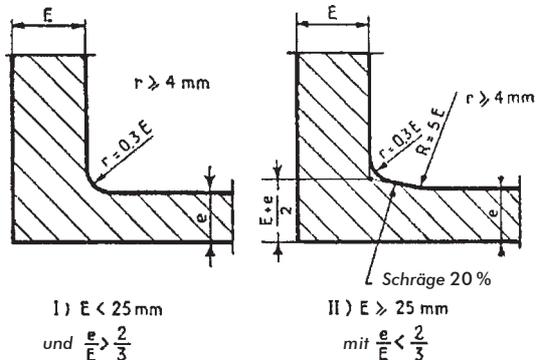


Bild 3.3 Rechtwinklige Verbindungen mit rechem Winkel an der Außenseite

Wenn der Winkel an der Verbindung kleiner ist als 90 Grad, ist es empfehlenswert, folgende Beziehungen zu verwenden:

bei gleicher Wanddicke (**Bild 3.4**):

$$r \geq e \text{ und } R = r + e$$

(mit $r > 10$, wenn der Innenwinkel A kleiner ist als 60°)

Für eine Wanddicke $e > 40 \text{ mm}$ gilt:

$$r = 1,5 \text{ und } R = r + E$$

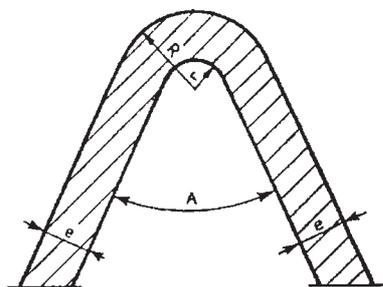


Bild 3.4 Verbindung für gleiche Wanddicken

bei verschiedenen Wanddicken (**Bild 3.5**):

$$r = \frac{E + e}{2} \text{ und } R_1 = r + e, R_2 = r + E$$

(mit $r \geq 10$, wenn der Innenwinkel A kleiner ist als 60°)

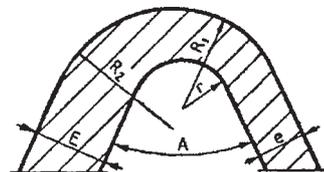


Bild 3.5 Verbindung für verschiedene Wanddicken

3.1.6.3 T-Verbindung

In **Bild 3.6** sind zwei Extremfälle dargestellt, die nicht empfehlenswerte Entwürfe zeigen.

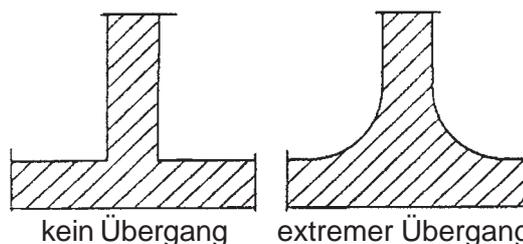


Bild 3.6 T-Verbindungen (ungünstig)

Der scharfe Winkel im ersten Entwurf ist ein Entstehungsort für Risse. Durch den übertriebenen Übergang im zweiten Entwurf wird die Masse lokal beträchtlich erhöht.

Bilder 3.7 und **3.8** zeigen Beispiele für gute Entwürfe.

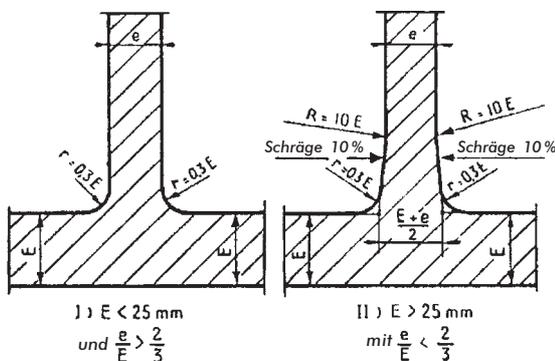


Bild 3.7 T-Verbindungen

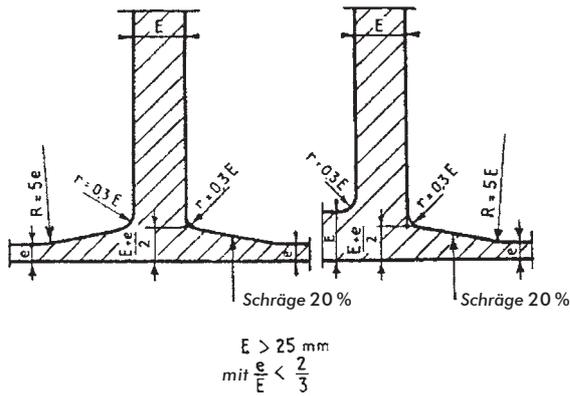


Bild 3.8 Weitere T-Verbindungen

3.1.6.4 Y-Verbindungen

Bild 3.9 und **Bild 3.10** zeigen die Verhältnisse, die für Verzweigungen dieser Art vorgeschlagen werden; der Entwurf A in Bild 3.10 ist nicht empfehlenswert.

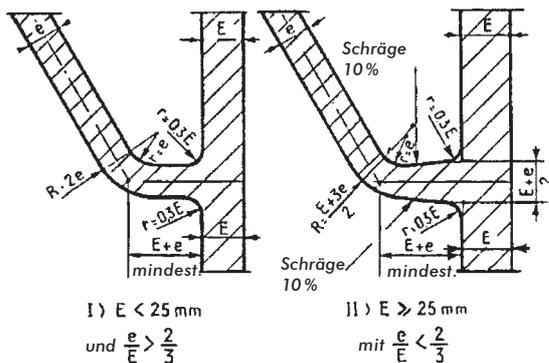


Bild 3.9 Y-Verbindungen

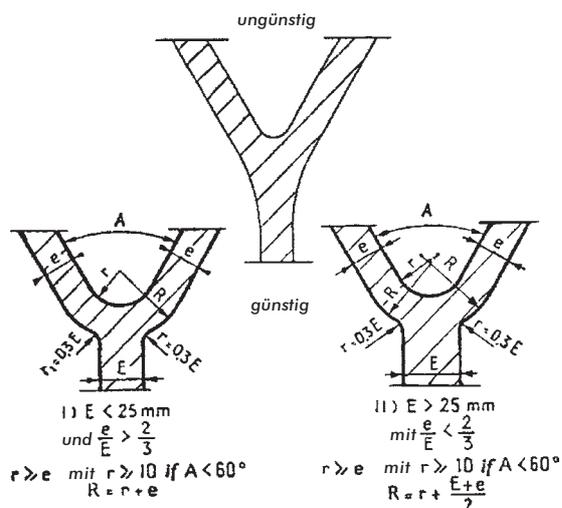


Bild 3.10 Weitere Y-Verbindungen

In Abhängigkeit vom Wert E und unter Einbeziehung des Verhältnisses $e : E$ können zwei Fälle unterschieden werden. Falls $E < 25 \text{ mm}$ und das Verhältnis $e : E > \frac{2}{3}$ ist, ist es nicht empfehlenswert, einen sich verjüngenden Übergang zu konstruieren.

3.1.6.5 Knotenpunkte

Es ist generell ratsam, Knotenpunkte zu vermeiden. Auch Verbindungen, wie in **Bild 3.11** und **Bild 3.12** jeweils links dargestellt, sollten vermieden werden. Für die Konstruktion solcher Knotenpunkte ist es ratsam, die jeweils rechts abgebildeten Entwürfe zu verwenden.

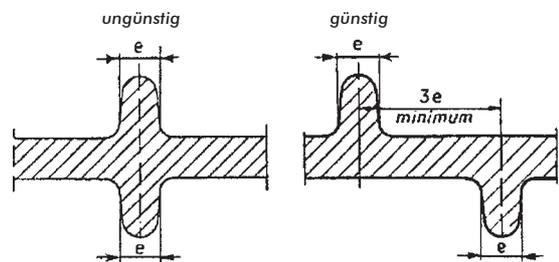


Bild 3.11 Rippen auf beiden Seiten einer Platte

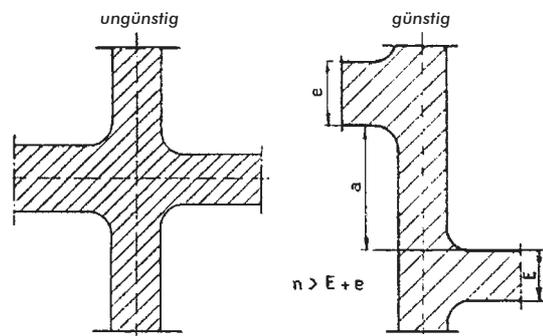


Bild 3.12 Verbindung von vier Wänden

Wenn Forderungen nach Symmetrie im Design die Verwendung der hier beschriebenen Knotenpunkte verhindern, sollte ein Kern eingelegt werden, vorausgesetzt, die korrekte Lage des Kerns kann sichergestellt werden (**Bild 3.13**).

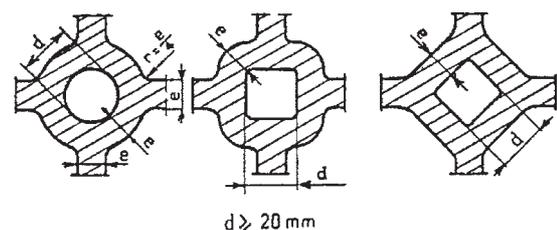


Bild 3.13 Verbesserung in der Verzweigungszone eines Kreuzanschlusses

3.1.7 Dichtspeisung

Da die gießtechnisch ideale Gestaltung in technischen Bauteilen oft nicht konsequent erreicht werden kann, hat der Gießer die Möglichkeit, ausgewählte Zonen des Gussteils während der Erstarrung zu speisen oder zu kühlen. Um dies zu planen, werden Simulationsprogramme eingesetzt, welche die Erstarrung und Abkühlung berechnen und visualisieren, so dass auf dieser Grundlage der Einsatz gießtechnischer Maßnahmen geplant oder eine Geometrieänderung dem Kunden vorgeschlagen werden kann.

Nachfolgend sind einige Anwendung der Designgrundregeln gezeigt:

3.1.7.1 Ungünstige Materialanhäufungen

Die in **Bild 3.14** gezeigten Gussteile zeigen Materialanhäufungen mit daraus resultierenden Schwierigkeiten beim Speisen.

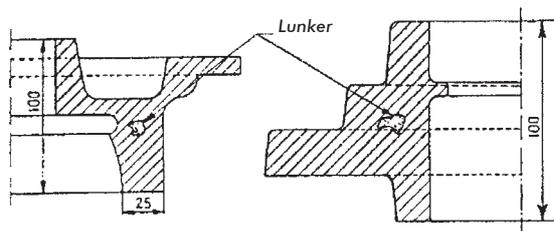


Bild 3.14 Konstruktionen mit schwer zu speisenden Materialanhäufungen

Solche Materialanhäufungen können durch gießereitechnische Maßnahmen (Speiser) fehlerfrei gestaltet werden, es entstehen dann aber Komplikationen bei der Formherstellung und hohe Putzkosten für die Entfernung von Einguss und Speiser.

3.1.7.2 Reduzierung von Materialanhäufungen (ohne Verwendung von Kernen)

Bild 3.15 zeigt schrittweise Änderungen, die an einem Entwurf vorgenommen wurden, um Materialanhäufungen zu verringern, mit der Bedingung, die Formherstellung nicht zu erschweren.

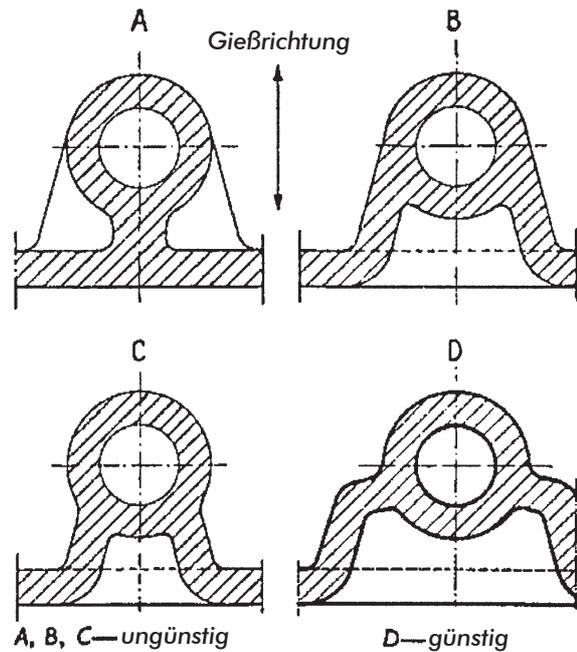


Bild 3.15 Reduzierung von Materialanhäufungen

Die ursprüngliche Konstruktion **A** enthält eine unerwünschte Materialanhäufung. Entwurf **B** (für die Formherstellung zu bevorzugen) hat noch zwei weniger starke Materialanhäufungen, die aber auch nicht wünschenswert sind. Die in **C** dargestellte Form des Bauteils hat eine regelmäßigeren Verteilung der Dicke, aber die Formherstellung ist komplizierter, da ein Außenkern erforderlich wird. Das Enddesign **D** wird beiden wesentlichen Anforderungen gerecht: der Formherstellung und der konstanten Verteilung der Wanddicke.

Bild 3.16 bis **Bild 3.21** zeigen weitere Konstruktionsmöglichkeiten, mit denen Materialanhäufungen vermieden werden können.

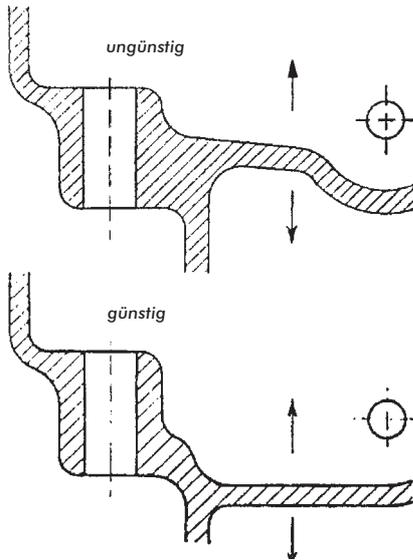


Bild 3.16

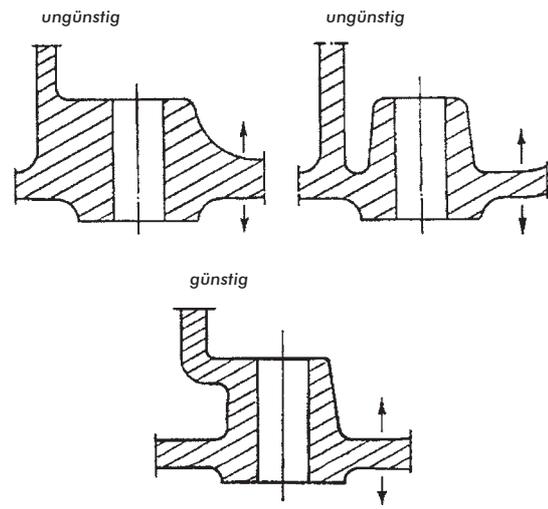


Bild 3.19

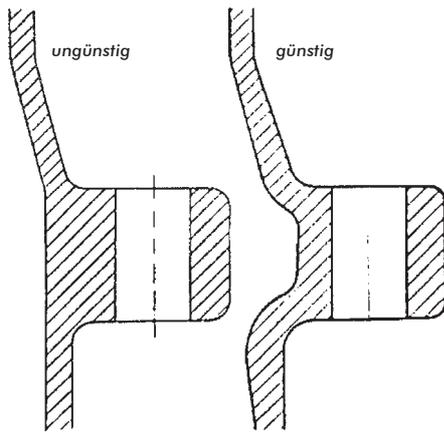


Bild 3.17

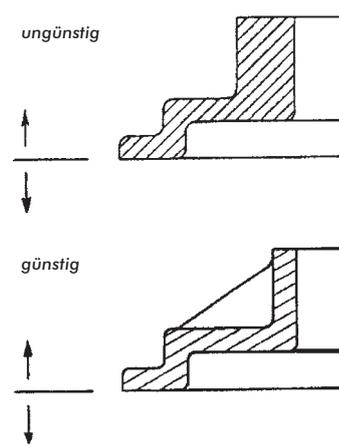


Bild 3.20

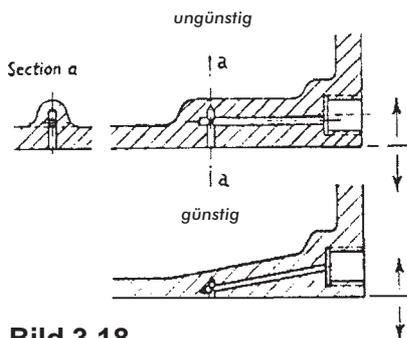


Bild 3.18

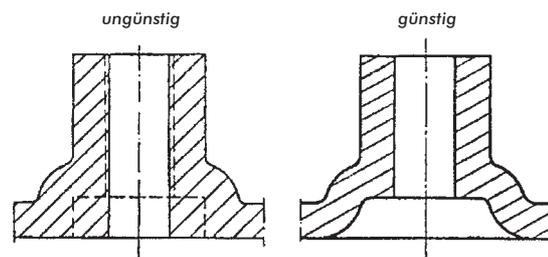
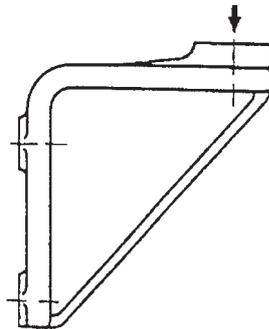
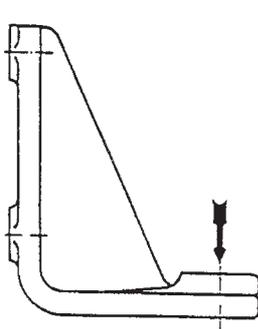


Bild 3.21

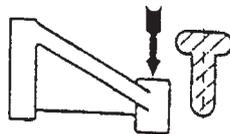
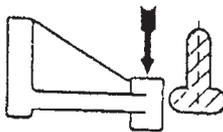
3.1.8 Beispiele für beanspruchungsgerechte Ausführungen

ungünstig

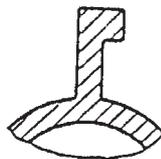
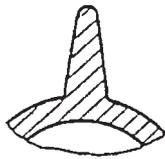
günstig



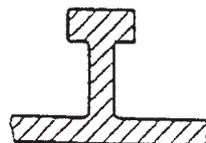
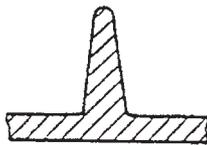
Durch Umkonstruktion eines auf Druck beanspruchten Lagerblocks wird die ungünstige Zugbeanspruchung in der Versteifungsrinne (links) in eine günstige Druckbeanspruchung (rechts) umgewandelt.



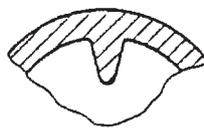
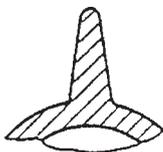
Die ungünstige Zugbeanspruchung in einem Lagerarm kann durch Umkonstruktion in eine günstige Druckbeanspruchung (rechts) umgewandelt werden.



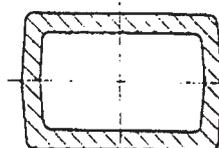
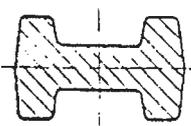
Durch Profilierung der Rippen können zugbeanspruchte Rippen günstiger gestaltet werden (rechts).



Zugbeanspruchte Rippen können durch Wulstverstärkung am Rippenkopf günstiger gestaltet werden (rechts).

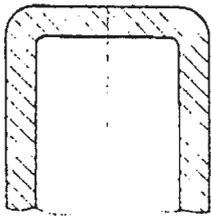


Bei biegebeanspruchten Hohlprofilen sollten Verstärkungsrippen in die Zonen geringer Zugbeanspruchung (rechts) gelegt werden.

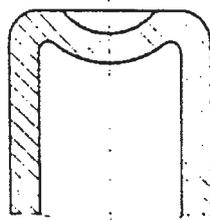


Vollprofile (links) sind materialökonomischer in Hohlprofile umzukonstruieren, da dann der Werkstoff in den Zonen der maximalen Beanspruchung liegt.

ungünstig

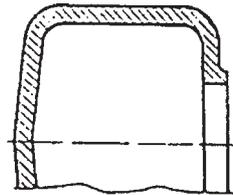


günstig

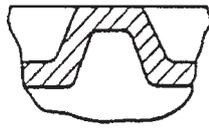
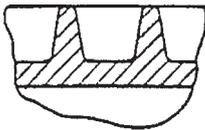


Die spezifischen Eigenschaften der Gusswerkstoffe, z. B. die hohe Druckfestigkeit von Gusseisen-Werkstoffen, sollten bei Konstruktionen genutzt werden.

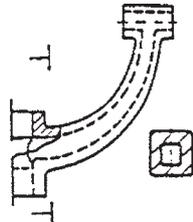
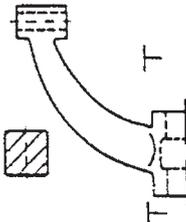
Links ein ungünstig gestalteter, auf Zugbeanspruchung ausgelegter Behälterboden; rechts der gleiche Behälterboden, der auf Druckbeanspruchung ausgelegt ist.



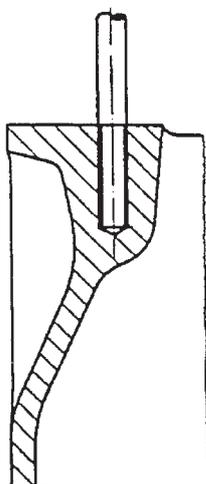
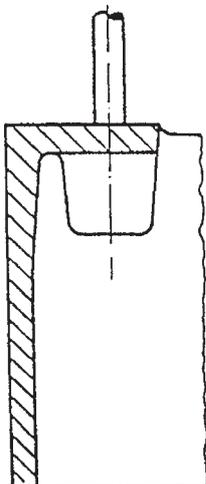
Geknickte Wände und Wölbungen erhöhen die Gestaltfestigkeit von Körpern; sie verbessern außerdem die Dämpfungseigenschaften.



Zur Versteifung von Wänden sind anstelle von Rippen (links) bevorzugt sickenförmige Profile einzusetzen (rechts).

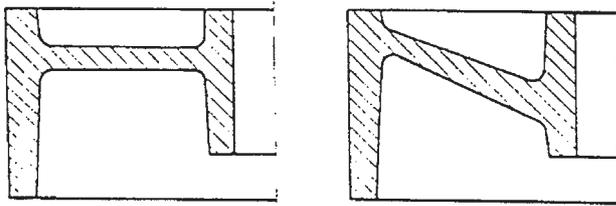


Für Querschnitte, die hohe Festigkeit und Steifigkeit erfordern, sind Hohlprofile einzusetzen (rechts).

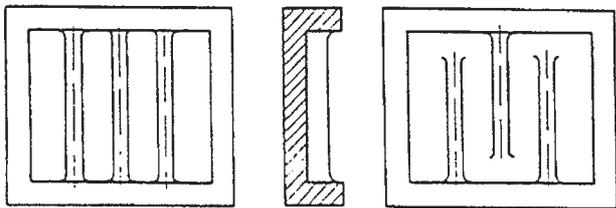


Bei auf Zug oder Druck beanspruchten Stiftschrauben, Stehbolzen o. ä. ist der Kraftfluß im Gussteil rechts günstiger als links.

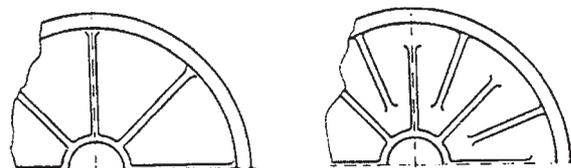
3.1.9 Beispiele für spannungsarme und rissunempfindliche Ausführungen



Riemenscheiben und andere Scheiben können spannungsarm gestaltet werden, wenn sie ausgeführt werden wie rechts dargestellt.



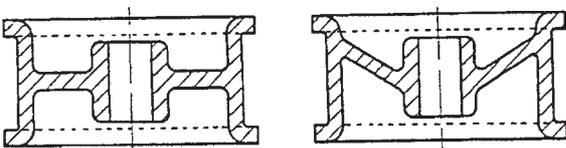
Starre Verrippungen behindern die Schwindung, was zu Spannungen und Kaltrissen führt. Rechts eine „elastische“ Verrippung.



Bei Grossgussteilen sollte eine starre, rissanfällige Konstruktion (links) vermieden werden. Durch versetzte Rippen ergibt sich eine optimale Konstruktion (rechts).



Zur Vermeidung von Spannungen, Warm- und Kaltrissen sind die Speichen von Handrädern abzuwinkeln (rechts).



Durch schräg ansteigende Flächen lässt sich das rechte Teil durch leichteren Materialfluss wesentlich besser giessen.

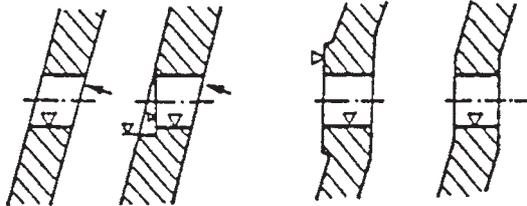
3.1.10 Beispiele für bearbeitungsgerechte Gestaltung

Gestaltung von Bohrungsverläufen

ungünstig

günstig

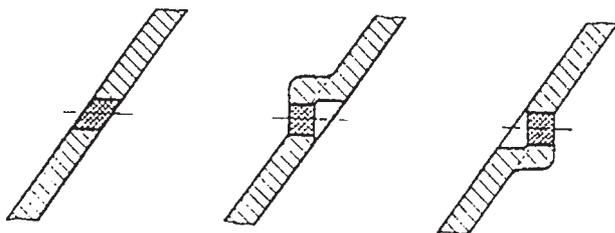
Erläuterung



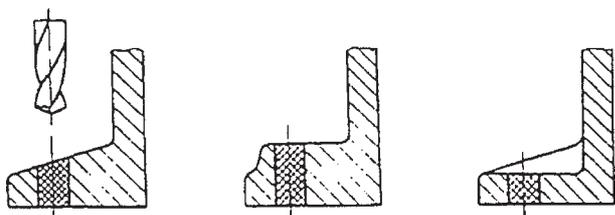
Bei schräg anzubohrenden Flächen brechen die Werkzeuge leicht oder verlaufen. Die freizügige Gestaltung gegossener Bauteile ermöglicht das Anbringen von Augen oder eine entsprechende Umgestaltung der Wände.



Sollen die Auflagenflächen von einer Mutter- und Schraubenköpfen bearbeitet werden, so genügt in vielen Fällen statt eines besonderen Auges eine entsprechende Ansenkung.



Für das Bohren von Löchern sind rechtwinklige Bohransätze vorzusehen. Links ungünstig, Mitte und rechts günstige Konstruktionen.



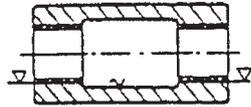
Bei Flächen mit zu bohrenden Löchern ist auf rechtwinkligen Bohransatz zu achten. Links ungünstig. Mitte und rechts günstige Konstruktionen, wobei die mittlere durch die Materialanhäufung am Flansch nicht so günstig ist wie die Ausführung rechts.

Gestaltung von Bearbeitungsflächen

ungünstig

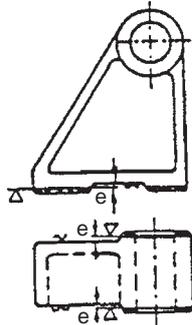
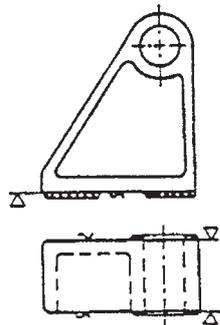
günstig

Erläuterung

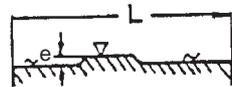
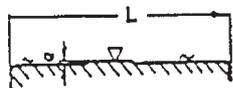


Bearbeitungsflächen:

Zur Verringerung der Bearbeitungsflächen sollten grossflächige Gussteile begrenzte Arbeitsflächen aufweisen.



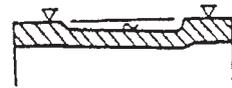
Die Arbeitsflächen sollten abgesetzt werden, damit keine unbearbeitet bleibenden Flächen angeschnitten werden. Die Arbeitsflächen (Lagerstirnflächen und Grundflächen) stehen daher den roh bleibenden Flächen um das Maß e vor.



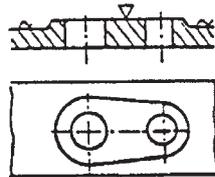
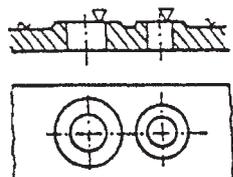
Der Mindestabstand e einer unbearbeiteten Fläche zu einer bearbeiteten richtet sich wegen des unvermeidbaren Verzuges nach der Längenausdehnung L des Gussteiles.

Richtwerte in mm

L	100	200	400	800	1000
e	2	3	4	5	>6



Die Bearbeitung wird vereinfacht, wenn mehrere Bearbeitungsflächen auf gleicher Höhe liegen.



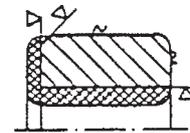
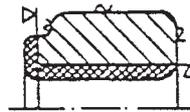
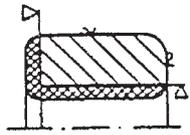
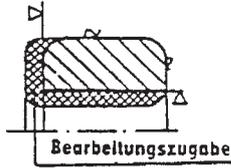
Dicht nebeneinanderliegende Bearbeitungsflächen sollten zu einer einzigen zusammengefasst werden.

Gestaltung von Bearbeitungsflächen

ungünstig

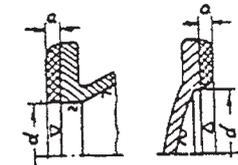
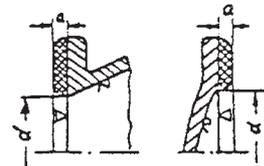
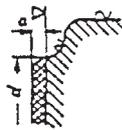
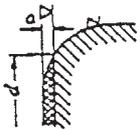
günstig

Erläuterung

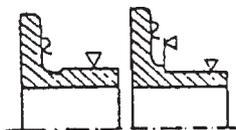
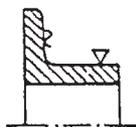


Bearbeitungszugabe:

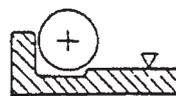
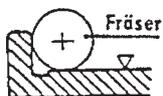
Das rohe Gusstück hat nur gerundete Kanten. Durch spanende Bearbeitung werden diese scharfkantig. Eine Abrundung ist spanend nur möglich, wenn beide anstoßenden Flächen bearbeitet werden, da infolge der Gusstoleranzen ein Auslauf der bearbeiteten Fläche nicht sauber wird. An Stelle einer Rundung lässt sich jedoch eine Fase andrehen, die außerdem noch kostengünstiger ist.



Die Bearbeitungsflächen dürfen nicht durch Rundungen oder schräg auslaufende Flächen begrenzt werden, da sonst die Tiefe a der Bearbeitung das Konstruktionsmaß d beeinträchtigt.



Der Übergang von einer bearbeiteten zu einer unbearbeiteten Fläche kann wegen der giesstechnisch bedingten Gusstoleranzen nur in Form eines Absatzes erfolgen.

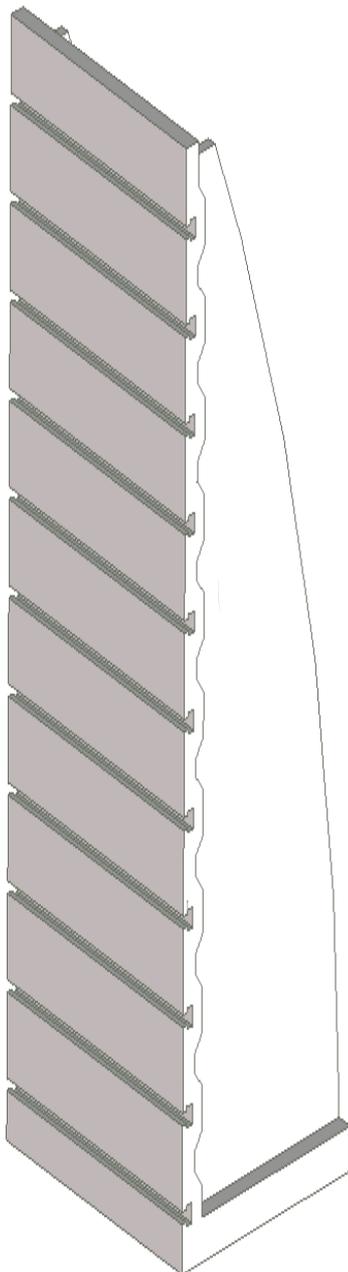


Auf ausreichenden Auslauf für das verwendete Bearbeitungswerkzeug (Fräser, Drehstahl, Hobelstahl) ist zu achten. Moderne Zerspanungswerkzeuge erlauben allerdings meist den Verzicht auf Auslaufecken.

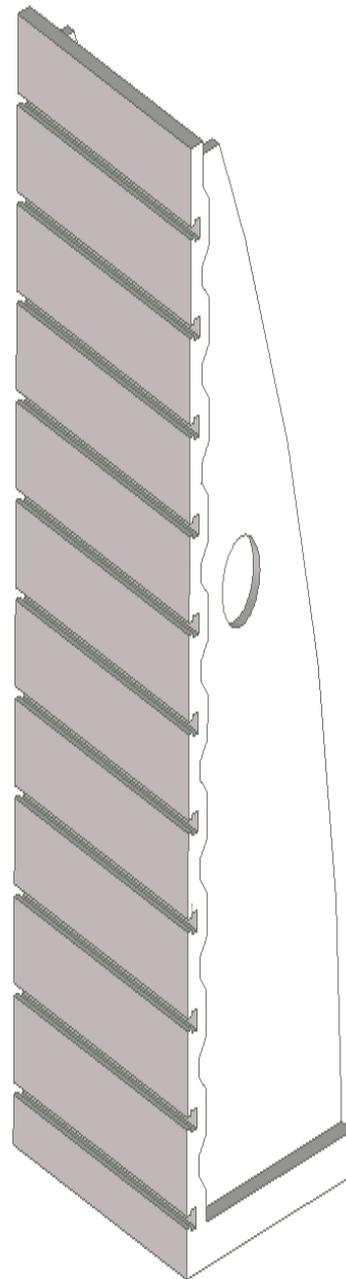
3.1.11 Beispiele für handlungsgerechte Ausführung

Gerade für Großgussteile ist die handlungsgerechte Konstruktion von besonderer Bedeutung. Häufig weisen die Rohteile keinerlei Anschlagmöglichkeiten für den innerbetrieblichen Transport oder die Strahlanlage auf. Öffnungen in den seitlichen Rippen oder eingegossene Gewindebuchsen können das Risiko beim Handling deutlich reduzieren.

Spanwinkel



Spanwinkel mit Loch



3.2 Konstruktionsbegleitende CAE-Simulationstechniken

3.2.1 CAE-Technologien für die Gussteilentwicklung, Übersicht

Unter CAE-Techniken versteht man alle computergestützten Technologien, die in der Entwicklung von Bauteilen angewendet werden (computer aided engineering). CAD, also die computergestützte Konstruktion, ist heute dabei die am weitesten verbreitete und angewendete CAE-Technik. CAD wird im Modell- und Werkzeugbau sowie in Gießereien für die Konstruktion von Gussteilen, Modellen, Kernkästen und Gießsystemen verwendet. Die in CAD erzeugten Konstruktionen sind die Grundlage für 3-D-Simulationen, wie sie im Folgenden aufgeführt sind:

- Simulation der Formfüllung, Erstarrung und Gefügeausbildung des Gussteils („**Gießsimulation**“),
- Berechnung der zu erwartenden anisotropen Festigkeitseigenschaften in Gussteilen („**Eigenschaftsberechnungen**“),
- Simulation der Eigenspannungsentstehung in Gussteilen nach dem Entformen und nach dem Abtrennen von Speisern und Gießläufen; Berechnung des sich aus den Eigenspannungen ergebenden Verzuges der Gussteile („**Eigenspannungsberechnung**“),
- Simulation der Spannungsentstehung im statisch belasteten Gussteil und Berechnung der sich daraus ergebenden Verformungen („**Simulation der Betriebsbelastung**“),
- Berechnung der Dauerfestigkeit eines Gussteils („**Betriebsfestigkeitsberechnung**“).

Die computergestützte Bauteilkonstruktion mit CAD-Systemen ist die zentrale CAE-Technik, um die sich die Simulations- und Rapid-Prototyping-Verfahren gruppieren.

Zunehmende Bedeutung haben die 3-D-Systeme, mit denen Volumenmodelle, soge-

nannte „Solids“, erzeugt werden. Gegenüber der zweidimensionalen Konstruktion haben diese Systeme den Vorteil, dass die erzeugten Geometrien über genormte **Schnittstellen** (VDA, IGES, STEP, STL) meist unproblematisch in andere rechnergestützte Ingenieurwerkzeuge zu überführen sind.

In CAD wird im Allgemeinen zuerst das fertig bearbeitete Teil konstruiert. Von dieser Konstruktion lassen sich, je nach dem verwendeten CAD-System, sehr komfortabel andere benötigte Geometrien ableiten wie beispielsweise:

- Rohgussteilgeometrie mit und ohne Schrumpfung,
- Kerngeometrie (zunächst ohne Kernmarken, diese müssen hinzu konstruiert werden),
- Konturen für den Modellbauer.

Im Interesse einer strukturierten, nachvollziehbaren und kontrollierten Bauteilentwicklung ist darauf zu achten, dass es immer einen zentral verwalteten und aktualisierten Datensatz für die Bauteilgeometrie gibt. Alle anderen bei der Gussteilentwicklung angewandten CAE-Techniken sollten ausschließlich diesen Datensatz verwenden.

Moderne 3-D-CAD-Systeme bieten auch die Möglichkeit des **Concurrent Engineering**. Bei einer frühzeitigen Zusammenarbeit erhält die Gießerei vom Maschinenbauer ein 3-D-Modell des Bauraums. Während der Maschinenbauer die Konstruktionselemente für die Bearbeitung im Bauraum-Modell platziert, erarbeitet die Gießerei zeitgleich die unter funktionalen und gießtechnischen Aspekten optimale Rohgusskontur. Durch Verschmelzen beider Modelle entsteht die Fertigteil-Geometrie.

3.2.2 Datenübertragung, Schnittstellen

Die Übertragung von Geometriedaten aus einem CAD-System („native“ Daten) in andere CAE-Anwendungen (Simulationsprogramme) geschieht über genormte Schnittstellen:

- VDA, IGES (wandelt native Daten in Flächendaten um),
- STEP (wandelt native Daten in Flächen-

oder Volumendaten um),
-STL (wandelt native Daten in facettierte Flächen um).

Die Schnittstellen werden passend zu den jeweiligen CAD-Systemen von deren Herstellern angeboten. Alternativ dazu gibt es Software, die Volumen- oder Flächenmodelle aus den CAD-Systemen im jeweiligen Ursprungsformat einlesen und in die Formate der genormten Schnittstellen umwandeln kann (siehe 6 Software). Eine wichtige Zusatzfunktion dieser Software ist im Allgemeinen, dass sich eventuell durch die Umformatierung fehlerhaft oder unvollständig gewordene Geometrien („korrupte“ Daten) reparieren oder ergänzen lassen.

Die Geometriedaten in den Formaten der genormten Schnittstellen können nun von anderer CAE-Software über die entsprechenden Schnittstellen eingelesen werden.

3.2.3 Berechnungsnetze

Für jede Simulation muss aus der in der Berechnung zu betrachtenden Geometrie (Gussteil mit/ohne Gieß- und Speisersystem, mit/ohne Form und Kernen) ein Berechnungsnetz erstellt werden. Dies geschieht je nach Simulationsprogramm vollautomatisch innerhalb weniger Minuten (im Allgemeinen bei strukturierten Netzen, Finite-Volumen- oder Finite-Differenzen-Verfahren) oder mit automatischen Netzgeneratoren unter Nachbearbeitung von Hand (im Allgemeinen bei unstrukturierten Netzen, Finite-Elemente-Verfahren).

Strukturierte Netze haben sich allgemein als hervorragend geeignet für Strömungs- und Wärmeflussberechnungen herausgestellt, im Gegensatz zu der allgemein anerkannten Stärke der unstrukturierten Hexaeder- und Pentaedernetze für Spannungsberechnungen. Ebenfalls akzeptiert sind Tetraedernetze höherer Ordnung. Kritisch sind Netze aus linearen Tetraedern für die Spannungsberechnung.

Bei gleicher lokaler Auflösung sind Berechnungen auf unstrukturierten Netzen wesentlich langsamer als auf strukturierten Netzen. Die Effekte der treppenförmigen Ausbildung

von Flächen, die schräg zu den drei Raumrichtungen in einem strukturierten Netz verlaufen, werden durch entsprechende Korrekturalgorithmen kompensiert.

Die Übertragung von Daten – wie zum Beispiel eine Eigenspannungsverteilung in einem Gussteil – zwischen strukturierten und unstrukturierten Netzen verschiedener Simulationssoftware ist mit geeigneten Schnittstellen möglich und wird praktiziert.

3.2.4 Gießsimulation

Unter Gießsimulation versteht man:

- die Simulation der Strömung der Schmelze in einen Formhohlraum,
- die gleichzeitige Berechnung des Temperaturverlustes der Schmelze während der Formfüllung,
- die Simulation des Wärmeflusses aus der Schmelze in die Form, der zur Erstarrung und Abkühlung des Gussteils führt, und
- die Berechnung von Speisungsbedarf und Speisungseffekten, Lunker- und Porenbildung sowie der Gefügeausbildung.

Für die Simulation der Formfüllung werden dreidimensionale Differentialgleichungen (Navier-Stokes'sche Gleichung und Fourier'sche Wärmeleitungsgleichung) gekoppelt iterativ gelöst. Für die Simulation der Erstarrung und Abkühlung des Gussteils wird die Fourier'sche Wärmeleitungsgleichung gelöst. Dabei werden folgende Größen und Phänomene berücksichtigt:

- Dichte, Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität der Legierung und des Formstoffs,
- Phasenumwandlungsenthalpien (z. B. latente Wärme bei der Erstarrung, freiwerdende Wärme bei der eutektoiden Umwandlung),
- Wärmeübergangskoeffizienten an Grenzflächen zwischen Gussteil und Form (auch z. B. an Kühleisen) sowie zwischen Form und Umgebung,
- laminare, einphasige Strömung der Schmelze in den Formhohlraum (angenommen z. B. beim Schwerkraft- oder beim Niederdruck-Gießverfahren),

- Volumenkontraktion bzw. Graphitausdehnung sowie das sich daraus ergebende Gesamtvolumendefizit bei der Erstarrung,
- Einfluss des Treibdruckes und der Formsteifigkeit bei Gusseisen mit Kugelgraphit,
- Phasenumwandlungen im festen Zustand, Phasenanteile (Ferrit, Perlit, etc.),
- Keimhaushalt der Schmelze, der die Größe der eutektischen Zellen bzw. die Anzahl der Graphitkugeln (Sphärolithenzahl) beeinflusst.

Einfachere Ansätze sind möglich, werden jedoch aufgrund des Risikos der Folgen eines falschen Ergebnisses immer weniger berücksichtigt.

Die für die Konstruktion eines Gussteils wichtigsten Ergebnisse aus der Gießsimulation sind die maximalen Temperaturunterschiede sowie die Verteilungen und Größen von zu erwartenden Porositäten und Gefügen im Gussteil:

- Lage und Größe der Schrumpfungfehler,
- Austenit-, Ferrit- und Perlitverteilung,
- Größe der eutektischen Zellen (bei Gusseisen mit Lamellengraphit) bzw. Sphärolithenzahl (bei Gusseisen mit Kugelgraphit).

3.2.5 Eigenschaftsberechnungen

Die in der Gießsimulation berechneten Gefügemerkmale lassen es zu, mechanische Kennwerte für das Gussteil zu berechnen. Kennwerte wie Zugfestigkeit, 0,2-%-Dehngrenze, Bruchdehnung oder Härte hängen wesentlich von der Verteilung der Gefüge im Gussteil ab. Diese wiederum ergeben sich aus dem Ablauf der Erstarrung und der Abkühlung des Gussteils und sind deswegen anisotrop, also ungleichmäßig im Gussteil verteilt. Die Kenntnis der Verteilung der mechanischen Kennwerte im Gussteil sind eine wesentliche Voraussetzung für eine beanspruchungsgerechte Konstruktion des Gussteils.

Ohne eine Gießsimulation wird auf diese wertvolle Information verzichtet.

Die Vorausberechnung von Gussteileigenschaften erfordert eine Simulation unter Berücksichtigung sehr spezifischer Bedingungen aus dem Gießprozess. Aus diesem Grund

werden solche Berechnungen seitens der Gießerei durchgeführt, wo einerseits Erfahrungen mit den Gießprozessen und andererseits Kenntnisse in der Anwendung und Gültigkeit von Berechnungsmodellen existieren. Als Partner bei der Entwicklung eines neuen Gussteils ist eine Gießerei in der Lage, mit Hilfe der Gießsimulation innerhalb kürzester Zeit grundsätzliche Aussagen über die Gießbarkeit einer Konstruktion zu treffen, bzw. Änderungen vorzuschlagen, die eine sichere Fertigung der Teile gewährleisten.

3.2.6 Eigenspannungsberechnung

In jedem Werkstoff, der bei der Erstarrung und der weiteren Abkühlung bis zur Raumtemperatur schrumpft, werden durch Behinderung dieser Schrumpfung Eigenspannungen aufgebaut. Eine Schrumpfungsbehinderung ergibt sich primär durch die Konstruktion des Bauteils, bzw. durch mangelnde Berücksichtigung der durch die Konstruktion gegebenen Probleme beim Gießen (zu steife Form in den Bereichen, in denen das Gussteil frei schrumpfen sollte).

Die Entwicklung von Eigenspannungen verschärft sich durch die fast immer ungleichmäßige Abkühlung des Gussteils in der Form und nach dem Auspacken. Eine kontrollierte Abkühlung (in-situ-Wärmebehandlung) lässt sich berücksichtigen. Es ist möglich, auf der Grundlage der Ergebnisse der Gießsimulation eine Berechnung der Eigenspannungen durchzuführen. Dabei kommen im Allgemeinen linear elastoplastische Ansätze zur Anwendung. Die im Rahmen der Gießsimulation ermittelten Gefüge bzw. die sich daraus ergebenden Verteilungen der mechanischen Kennwerte lassen sich bei der Simulation der Eigenspannungen berücksichtigen. Die Ergebnisse einer Eigenspannungsberechnung sind:

- Verteilung der Eigenspannungen im Gussteil mit Speisern und Gießsystem zu jedem beliebigen Zeitpunkt nach der Erstarrung (z. B. zum Zeitpunkt des Auspackens aus der Form und bei Raumtemperatur),
- Verteilung der Eigenspannungen im Gussteil nach dem Abtrennen von Speisern und Gießsystem,

-Verteilung der Eigenspannungen im Gussteil nach dem Bearbeiten.

Dargestellt werden im Allgemeinen:

- Spannungen in den drei Raumrichtungen,
- Hauptspannungen nach von Mises,
- Verschiebungen in den drei Raumrichtungen,
- Gesamtverzug des Gussteils.

Die Eigenspannungsberechnung kann mit demselben Berechnungsnetz wie die Gießsimulation durchgeführt werden, vorausgesetzt dieses ist zur Simulation von Spannungen ebenso geeignet wie zur Simulation von Strömungsvorgängen und des Wärmeflusses (dies ist bei den strukturierten Netzen der Fall). Alternativ können die Temperaturfelder, die in der Gießsimulation ermittelt wurden, über geeignete Schnittstellen von einem Berechnungsnetz auf ein anderes überschrieben werden, was jedoch mit zusätzlichem Aufwand verbunden ist.

3.2.7 Simulation der Betriebsbelastung

Die Simulation der Betriebsbelastung eines Bauteils ist in der Regel der erste Schritt in der Gussteilberechnung. Mit Hilfe dieser Berechnung wird die grobe Bauteilgeometrie festgelegt.

Die Art der Berechnung hängt von der Betriebsbelastung und der geforderten Berechnungsgenauigkeit ab. Ist die Belastung während des Betriebs konstant oder ändert sich nur langsam, so werden statische Berechnungen durchgeführt. Bei stoßartiger Belastung wird eine dynamische Berechnung durchgeführt, bei der auch die Massenträgheit des Bauteils berücksichtigt wird. Dynamische Berechnungen sind erheblich aufwändiger, so dass in vielen Fällen dynamische durch statische Berechnungen ersetzt werden. Der dadurch entstehende Fehler wird durch Sicherheitsfaktoren ausgeglichen, was zwangsweise zu einer Überdimensionierung des Bauteils führt.

Für viele Bauteile im Werkzeugmaschinenbau spielt auch das Eigenschwingungsverhalten eine zentrale Rolle. Mit Hilfe der Si-

mulation können hier optimale Orte für Verrippungen gefunden werden.

Die ersten Berechnungen werden in der Regel unter der Annahme eines idealen, im gesamten Bauteil gleichen Werkstoffverhaltens und ohne die Berücksichtigung von Eigenspannungen, die eine Vorbelastung des Bauteils darstellen, durchgeführt. Für die Konstruktion eines optimalen Bauteils müssen jedoch der Fertigungsprozess und die mit diesem verbundenen Möglichkeiten der Steuerung von Eigenschaften und Eigenspannungen mit berücksichtigt werden.

Dazu müssen die Ergebnisse der Gießsimulation und der Eigenspannungsberechnung auf das Modell für die Belastungssimulation übertragen werden. Da jede Berechnung problemangepasste Vernetzungen benötigt, ist es weder erforderlich noch sinnvoll, alle Berechnungen mit dem gleichen Netz durchzuführen. Wichtig ist jedoch das Vorhandensein von Schnittstellen zur Übertragung der Eigenschaften und Eigenspannungen.

3.2.8 Betriebsfestigkeitsberechnungen

Bauteile werden so bemessen, dass sie die angestrebte Lebensdauer bei der zu erwartenden Betriebsbelastung erreichen, also betriebsfest sind. Die Betriebsfestigkeit ist abhängig von der Art, Höhe und Geschwindigkeit der Beanspruchung, der Einsatztemperatur sowie der Fähigkeit des Werkstoffes, Beanspruchungen zu ertragen.

Die Festigkeitseigenschaften werden durch die chemische Zusammensetzung und den Fertigungsprozess bestimmt. Bei Gussteilen aus Gusseisen ist die Festigkeit beispielsweise abhängig von den Erstarrungsbedingungen (die für die Art der Graphitbildung maßgeblich ist), der Abkühlgeschwindigkeit im Bereich der eutektoiden Umwandlung sowie eventuell vorhandenen Fehlstellen wie Lunkern oder Porositäten.

Im Betrieb unterliegen Bauteile zumeist regellosen, von der individuellen Nutzung abhängigen Belastungsverläufen. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Beanspruchung eines Pkw, dessen Beanspruchung im Wesentlichen

durch das Fahrverhalten des Fahrers bestimmt wird. Bei der rechnerischen Vorhersage der Betriebsfestigkeit werden die Belastungsverläufe auf eine Folge von Schwingbeanspruchungen, die mit einer bestimmten Häufigkeit auftreten, zurückgeführt. Für jede Schwingbeanspruchung wird dann eine Berechnung der Lastspannungen durchgeführt. Die Betriebsfestigkeit ergibt sich durch eine von der gewählten Beanspruchungshypothese abhängige Überlagerung der einzelnen Lastspannungen. Die Eigenspannungen eines Bauteils stellen bei der Berechnung eine Vorbelastung dar, die in Form einer statischen Grundlast berücksichtigt werden muss.

3.2.9 Integration von CAE-Techniken

Simulationstechniken sind generell Technologien, mit deren Hilfe Informationen geschaffen werden. Diese Informationen sind die Grundlage für das Wissen, wie ein Gussteil oder ein Gießprozess besser gestaltet werden könnte. Erst wenn dieses Wissen in die Entwicklungs- und Entscheidungsprozesse für Gussteil und Gießverfahren integriert wird, kann Nutzen aus der Anwendung der Simulation gezogen werden.

Aus diesem Grunde müssen verbindliche Strukturen und Prozesse innerhalb der Gussteilentwicklung und Verfahrensauslegung sicherstellen, dass die Informationen aus der Simulation wirksam berücksichtigt werden. Simulation ist ein Werkzeug zur Qualitätssicherung und muss dementsprechend organisatorisch integriert sein.

3.2.10 Entwicklungen, Ausblick

Kaum ein industrieller Bereich ist seit Jahren solchen Veränderungen und Fortschritten unterworfen wie die Hard- und Softwareindustrie. Aus diesem Grund ist es wichtig, die bereits erkennbaren Neuerungen auf diesem Markt frühzeitig zu erkennen, um diese in Planungen mit einzubeziehen. Zu solchen, bereits absehbaren Entwicklungen gehören **Parallelcomputer** sowie **automatische Gestalt- und Prozessoptimierung**. Weitere Entwicklungen beziehen sich auf neue Modelle zur Abbildung der Vorgänge bei der Formfüllung, Erstarrung und insbesondere der Gefügebildung in Gussteilen.

Automatische Gestalt- und Prozessoptimierung

Die ständig zunehmenden Rechnerleistungen erlauben bereits so schnelle Simulationen, dass in überschaubaren Zeiträumen zahlreiche Simulationsrechnungen durchgeführt werden könnten. Auf dem Weg von einer simulierten Variante zur nächsten müssen jedoch die Simulationsergebnisse ausgewertet und bewertet werden, und eine neue Simulation muss definiert und gestartet werden. Eine Automatisierung dieser Schritte führt letztendlich zu einer automatischen Optimierung. Dabei wird ein Simulator (gießtechnische Simulation oder Betriebslastberechnungen) von einem Optimierungsalgorithmus bis zum Erreichen eines vorgegebenen Zieles immer wieder neu gestartet.

Die heute möglichen automatischen Optimierungen gliedern sich im Wesentlichen in die beiden folgenden Bereiche:

- Automatische Optimierung der Gussteilgestalt (**Topologieoptimierung**). Dabei werden beispielsweise der Bauraum, festgelegte Anschlussmaße und eine Normlast für das Gussteil vorgegeben. Die Gestalt des Teiles wird dann nach Zielvorgaben (z.B. maximal erlaubte Spannung oder Verzug bei minimalem Volumen bzw. Gewicht) optimiert. Nach einer anschließenden fertigungstechnischen Optimierung ist das Ergebnis ein typisches Gussteil mit komplexen freien Formen.
- Automatische Optimierung von Prozessparametern. Dabei werden, ausgehend von einem definierten Gießprozess, dessen gießtechnische Parameter (Gießzeit, Gießtemperatur, Temperaturen von Kühlmedien etc.) nach Zielvorgaben optimiert.

Obwohl häufig diskutiert und präsentiert, sind diese Verfahren heute noch nicht in der Routineanwendung zu finden. Allerdings ist bereits klar, dass die automatischen Optimierungsverfahren mittelfristig zu einer neuen Arbeitsweise mit Simulationstechniken führen werden.

3.3 Konstruktive Empfehlungen für Maschinenformguss

Generell gelten die gleichen konstruktiven Empfehlungen wie beim Handformverfahren. Aufgrund der Losgrößen gewinnt jedoch die Beachtung der möglichen Nachbearbeitungsgänge bereits in der Konstruktionsphase zur Minimierung von Aufwand und Kosten in der Fertigung besondere Bedeutung (vgl. 5). Ziel ist die weitgehende Reduzierung aller manuellen Tätigkeiten an den Rohgussteilen. Daher ist möglichst frühzeitig der Kontakt mit der Gießerei zu suchen. Für die Konstruktion von Serienteilen für das Maschinenformverfahren sollten die folgenden Aspekte zusätzlich berücksichtigt werden:

1. Eine glatte Formteilung spart Platz im Formkasten und ermöglicht eine bessere Belegung des Formkastens. Daraus ergeben sich bessere gießtechnische Möglichkeiten bei der Gestaltung des Gieß- und Speisungssystems (Zugänglichkeit!), sowohl bei der erstmaligen Gestaltung als auch bei späteren Modifikationen.
2. Die bei der Konstruktion der Modelle und Kerne erforderlichen Formschrägen und Radien können ggf. in Folgeprozessen sinnvoll genutzt werden.

Beispiel: Erstanlage- und Spannflächen können in die Kerngeometrie eingeschlossen werden. Hieraus ergibt sich eine sehr große Wiederholgenauigkeit bei der Erstspannung.
3. Die eingesetzte Kerntechnik beeinflusst die Bearbeitungszugaben. Bei Verwendung vieler Einzelkerne summieren sich die Fügetoleranzen, so dass eine größere Bearbeitungszugabe resultiert. Der Fertigungs- und Montageaufwand kann durch Verwendung von Kernpaketen verringert werden.
4. Sind Kerne erforderlich, so ist die spätere Entfernung des Kernsands aus dem Gussteil zu beachten. Neben der Möglichkeit, die Innenräume maschinell oder manuell zu reinigen, können ggf. auch Inspektionsöffnungen erforderlich sein. Außerdem hat

die Ausführung der Kernquerschnitte einen Einfluss auf die Auswahl des eingesetzten Kernformstoffs sowie auf die Kernfertigung.

5. Der Versatz zwischen Ober- und Unterkasten und damit die Toleranzen des Gussteils lassen sich gießereiseitig durch Verwendung moderner Maschinenteknik verringern, aber auch konstruktiv durch den Einsatz von CAM-gefertigten Modellen.
6. Die spätere Beseitigung von Materialüberständen am Rohgussteil (Entgraten) muss nicht ausschließlich manuell erfolgen. Insbesondere in der Großserienfertigung rechnet sich der Einsatz eines speziell konstruierten, robusten Werkzeugs zum maschinellen Entgraten.
7. Für die dauerhafte Beschriftung der Gussteile im Sinne der Produkthaftung sollten entsprechende Flächen am Gussteil vorgesehen werden, die nicht mit Erstanlage- und Spannflächen zusammenfallen. Der Informationsgehalt kann u. a. Rohteilnummer, Herstellungsdatum, Werkstoff und Herstellerzeichen umfassen.
8. Die pauschale Festlegung von Toleranzen für das gesamte Bauteil ist meist nicht sinnvoll. In Abstimmung mit der Gießerei sollten lokal erforderliche, fertigungstechnisch realisierbare Toleranzen am Gussteil festgelegt werden. Gegebenenfalls sollte die Konstruktion des Bauteils entsprechend den Toleranzvorgaben modifiziert werden.

4 Gusseisenwerkstoffe

4.1 Allgemeine Werkstoffeigenschaften

Der Begriff Gusseisen bezeichnet die bedeutendste Werkstoffgruppe aller gegossenen Werkstoffe. Die Gusseisenwerkstoffe zeichnen sich insbesondere durch ihr breites Spektrum an möglichen Eigenschaften und gezielten Eigenschaftskombinationen aus.

Für den Werkzeugmaschinenbau werden nahezu ausschließlich Gusseisen mit Lamellengraphit und Gusseisen mit Kugelgraphit eingesetzt.

Alle Gusseisenwerkstoffe sind Verbundwerkstoffe aus einem stahlähnlichen Grundgefüge mit eingelagertem Graphit.

Durch gezielte Auswahl und Kombination von Grundgefüge und Graphitstruktur können die charakteristischen Eigenschaften in breiten Grenzen zielsicher eingestellt werden.

4.1.1 Gusseisen mit Lamellengraphit (EN-GJL)

Gusseisen mit Lamellengraphit nach DIN EN 1561 umfasst verschiedene Werkstoffsorten, bei denen die Graphitphase in Lamellenform in der metallischen Grundmasse eingebettet ist. Die lamellenförmige Graphitausbildung bestimmt die charakteristischen Eigenschaften dieser Werkstoffgruppe.

4.1.2 Gusseisen mit Kugelgraphit (EN-GJS)

Gusseisen mit Kugelgraphit nach DIN EN 1563 umfasst verschiedene Werkstoffsorten, bei denen die Graphitphase in Form von Kugeln in der metallischen Grundmasse eingebettet ist. Die Ausbildung des Graphits in Kugelform wird durch eine spezielle Behandlung erzielt. Durch die kugelförmige Ausbildung des Graphits erhält der Werkstoff besondere Eigenschaften: Zugfestigkeit, 0,2%-Dehngrenze und Elastizitätsmodul werden gesteigert, Bruchdehnung und Schlagzähigkeit nehmen zu.

Die allgemeine Tendenz der güterelevanten Eigenschaften von EN-GJL und EN-GJS ist in der **Tabelle 4.1** dargestellt.

Tabelle 4.1 Allgemeine Angaben über die Verbesserung verschiedener Werkstoffeigenschaften in Abhängigkeit von der Werkstoffsorte (nach W. Patterson)

Werkstoffsorte	EN-GJL-100	EN-GJL-350
	EN-GJS-350-22	EN-GJS-900-2
Mechanische und physikalische Eigenschaften	Zugfestigkeit	→
	Härte	→
	Elastizitätsmodul	→
	Dämpfungsvermögen	←
	Temperaturwechselbeständigkeit	←
	Warmfestigkeit	→
Fertigungstechnische Aspekte	Bearbeitbarkeit	←
	Oberflächengüte nach Bearbeitung	→
	Fertigung minimaler Wanddicken	←

4.2 Normen für Gusseisenwerkstoffe

Die folgenden Europäischen Normen für Gusseisenwerkstoffe sind veröffentlicht (**Tabelle 4.2**). Nicht alle Werkstoffsorten sind für die Fertigung von Gussteilen für den Maschinenbau relevant.

Tabelle 4.2 Europäisch genormte Gusseisensorten und Bezeichnungssystem

Norm	Titel	Bemerkung
DIN EN 1560	Gießereiwesen – Bezeichnungssystem für Gusseisen – Werkstoffkurzzeichen und Werkstoffnummern	
DIN EN 1561	Gießereiwesen – Gusseisen mit Lamellengraphit	ersetzt DIN 1691
DIN EN 1562	Gießereiwesen – Temperguss	ersetzt DIN 1692
DIN EN 1563	Gießereiwesen – Gusseisen mit Kugelgraphit	ersetzt DIN 1693
DIN EN 1564	Gießereiwesen – Bainitisches Gusseisen	
DIN EN 12513	Gießereiwesen – Verschleißbeständige Gusseisen	ersetzt DIN 1695
DIN EN 13835	Gießereiwesen – Austenitische Gusseisen	ersetzt DIN 1694

Die jeweils aktuellste Ausgabe der Norm ist zu verwenden.

4.2.1 Gusseisen mit Lamellengraphit

DIN EN 1561 legt die charakteristischen Eigenschaften von unlegiertem und niedriglegiertem Gusseisen mit Lamellengraphit fest. Die Sorteneinteilung und die Werkstoffbezeichnung erfolgt entweder nach der Zugfestigkeit oder alternativ nach der Brinellhärte. Beide Eigenschaften können nicht gleichzeitig vorgegeben werden.

Genormt sind die folgenden Werkstoffsorten nach ihrer Zugfestigkeit bzw. ihrer Brinellhärte:

Tabelle 4.3 Genormte Werkstoffsorten nach Zugfestigkeit nach DIN EN 1561

Werkstoffsorte	Werkstoffkurzzeichen	Zugfestigkeit (Mindestwert) in N/mm ²
EN-GJL-100	EN-JL1010	100
EN-GJL-150	EN-JL1020	150
EN-GJL-200	EN-JL1030	200
EN-GJL-250	EN-JL1040	250
EN-GJL-300	EN-JL1050	300
EN-GJL-350	EN-JL1060	350

Tabelle 4.4 Genormte Werkstoffsorten nach Brinellhärte nach DIN EN 1561

Werkstoffsorte	Werkstoffkurzzeichen	Brinellhärte (Mindestwert HBW 30)
EN-GJL-HB155	EN-JL2010	155
EN-GJL-HB175	EN-JL2020	175
EN-GJL-HB195	EN-JL2030	195
EN-GJL-HB215	EN-JL2040	215
EN-GJL-HB235	EN-JL2050	235
EN-GJL-HB255	EN-JL2060	255

Die Angaben zur Zugfestigkeit beziehen sich auf getrennt gegossene oder angegossene Probestücke mit einem Durchmesser von 30 mm.

Angegeben sind außerdem Erwartungswerte für die Zugfestigkeit im Gussstück. Diese sind jedoch wanddickenabhängig und stellen keine zugesicherten Eigenschaften dar. Nähere Angaben zur Wanddickenabhängigkeit sind in 4.3 aufgeführt.

Die Wanddickenabhängigkeit der Eigenschaften ist in **Tabelle 4.5** am Beispiel der Werkstoffsorte EN-GJL-250 dargestellt:

Tabelle 4.5 Zugfestigkeit von Gusseisen mit Lamellengraphit (nach DIN EN 1561, Auszug)

Werkstoffbezeichnung		Maßgebende Wanddicke in mm		einzuhaltende im getrennt gegossenen Probestück	Zugfestigkeit R_m in N/mm^2	
Kurzzeichen	Nummer	über	bis		Werte im angegossenen Probestück	Erwartungswert im Gussstück
EN-GJL-250	EN-JL1040	5	10	250 bis 350	---	250
		10	20		---	225
		20	40		210	195
		40	80		190	170
		80	150		170	155
		150	300		160	---

DIN EN 1561 enthält außerdem Anhaltswerte über mechanische Eigenschaften (Elastizitätsmodul etc.) und physikalische Eigenschaften in getrennt gegossenen Proben mit 30 mm Rohgussdurchmesser.

4.2.2 Gusseisen mit Kugelgraphit

DIN EN 1563 legt die charakteristischen Eigenschaften von unlegiertem und niedriglegiertem Gusseisen mit Kugelgraphit fest. Die Sorteneinteilung und die Werkstoff-

bezeichnung erfolgen nach der Zugfestigkeit und Bruchdehnung; eine Sorteneinteilung in Abhängigkeit der Härte steht zur Information zur Verfügung. Genormt sind die folgenden Werkstoffsorten nach ihrer Zugfestigkeit und Bruchdehnung bzw. Brinellhärte:

Tabelle 4.6 Genormte Werkstoffsorten nach Zugfestigkeit nach DIN EN 1563, Eigenschaften gemessen an getrennt gegossenen Probestäben (nach DIN EN 1563, Auszug)

Werkstoffsorte	Werkstoffkurzzeichen	Zugfestigkeit (Mindestwert) in N/mm^2	Bruchdehnung (Mindestwert) in %
EN-GJS-350-22-LT	EN-JS1015	350	22
EN-GJS-350-22-RT	EN-JS1014	350	22
EN-GJS-350-22	EN-JS1010	350	22
EN-GJS-400-18-LT	EN-JS1025	400	18
EN-GJS-400-18-RT	EN-JS1024	400	18
EN-GJS-400-18	EN-JS1020	400	18
EN-GJS-400-15	EN-JS1030	400	15
EN-GJS-450-10	EN-JS1040	450	10
EN-GJS-500-7	EN-JS1050	500	7
EN-GJS-600-3	EN-JS1060	600	3
EN-GJS-700-2	EN-JS1070	700	2
EN-GJS-800-2	EN-JS1080	800	2
EN-GJS-900-2	EN-JS1090	900	2

Bezeichnung der Prüftemperatur: LT = tiefe Temperatur, RT = Raumtemperatur

Tabelle 4.7 Genormte Werkstoffsorten nach Brinellhärte nach DIN EN 1563

Werkstoffsorte	Werkstoffkurzzeichen	Brinellhärtebereich HBW
EN-GJS-HB130	EN-JS2010	unter 160
EN-GJS-HB150	EN-JS2020	130 bis 175
EN-GJS-HB155	EN-JS2030	135 bis 180
EN-GJS-HB185	EN-JS2040	160 bis 210
EN-GJS-HB200	EN-JS2050	170 bis 230
EN-GJS-HB230	EN-JS2060	190 bis 270
EN-GJS-HB265	EN-JS2070	225 bis 305
EN-GJS-HB300*	EN-JS2080	245 bis 335
EN-GJS-HB330*	EN-JS2090	270 bis 360

*) Diese Werkstoffsorten sind für Gusstücke mit großen Wanddicken nicht empfehlenswert

Die Wanddickenabhängigkeit der Eigenschaften ist in **Tabelle 4.8** am Beispiel der Werkstoffsorte EN-GJS-400-15U dargestellt (U steht für den angegossenen Probestab; hier ist der Effekt besonders deutlich):

Tabelle 4.8 Zugfestigkeit und Bruchdehnung von Gusseisen mit Kugelgraphit, gemessen an Proben aus angegossenen Probestäben (nach DIN EN 1563, Auszug)

Werkstoffbezeichnung		Maßgebende Wanddicke t in mm	Zugfestigkeit R_m in N/mm ² min.	0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ in N/mm ² min.	Dehnung A in % min.
Kurzzeichen	Nummer				
EN-GJS-400-15U	EN-JS1072	$t \leq 30$	400	250	15
		$30 < t \leq 60$	390	250	14
		$60 < t \leq 200$	370	240	11

DIN EN 1563 enthält außerdem Anhaltswerte über mechanische Eigenschaften (Elastizitätsmodul etc.) und physikalische Eigenschaften.

4.3 Wanddickenabhängige Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften aller Gusseisenwerkstoffe hängen wesentlich von der Erstarrungsgeschwindigkeit und damit von der Wanddicke der Gussteile ab. Normwerte beziehen sich grundsätzlich auf einen

getrennt gegossenen Probestab mit 30 mm Durchmesser oder einer maßgeblichen Wandstärke von 15 mm. Sollen in einem Gussteil die lokalen Werkstoffeigenschaften (Bauteileigenschaften) betrachtet werden, können die spezifischen mechanischen Eigenschaften entsprechend **Bild 4.1a bis c** abgeschätzt werden.

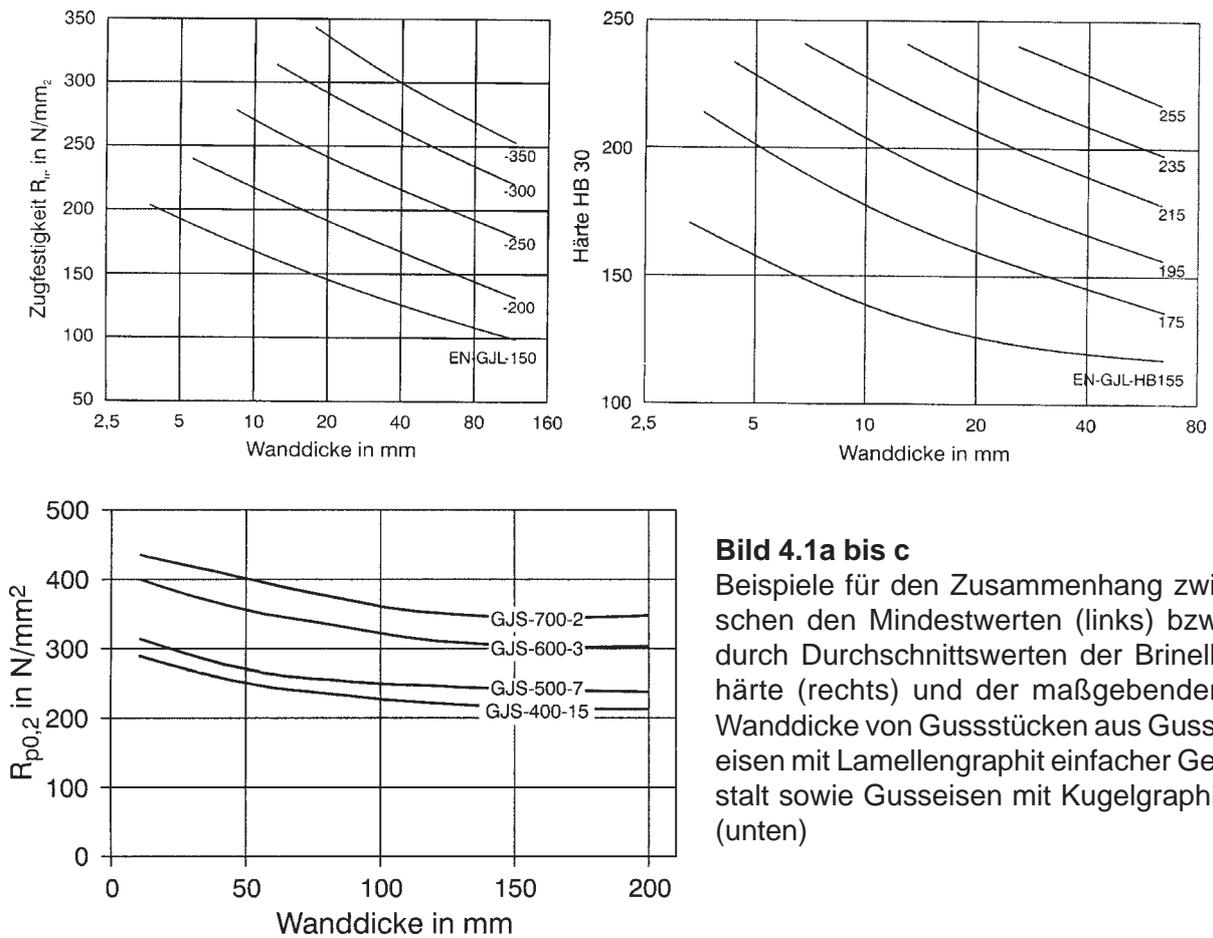


Bild 4.1a bis c

Beispiele für den Zusammenhang zwischen den Mindestwerten (links) bzw. durch Durchschnittswerten der Brinellhärte (rechts) und der maßgebenden Wanddicke von Gussteilen aus Gusseisen mit Lamellengraphit einfacher Gestalt sowie Gusseisen mit Kugelgraphit (unten)

5 Kosten beeinflussende Faktoren

Nachfolgend werden einfache Grundprinzipien angegeben, die für verschiedenste Aufgabenstellungen als allgemeingültig angesehen werden können.

1. Modelleinrichtungen für Gussteile sind so auszuführen, dass Formaufwand, Kern- und Putzaufwand in der Summe minimiert werden. Ideal ist ein Modell naturentformbar (d. h., ohne zusätzliche Formschrägen) und die Gießform kernlos herzustellen.
2. Die Wahl eines hochwertigen Modellbauwerkstoffs (z. B. Dauermodell aus Metall) ist zwar mit höheren Kosten verbunden, kann aber durch die höhere Standzeit den Putzaufwand dauerhaft niedrig halten. Die sachgemäße Lagerung des Modells spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle.
3. Gussteile sollten mit möglichst gleichmäßigem Wanddickenverlauf oder sanften Wanddickenübergängen konstruiert werden. Durch die Vermeidung von Wärmезentren und die Förderung einer gerichteten Erstarrung kann der Einsatz von Speisern, Kokillen, Spezialformstoffen oder ähnlich kostenintensiven Fertigungshilfsmitteln minimiert bzw. vermieden werden.
4. Der Materialeinsatz für Gussteile sollte streng funktions- bzw. beanspruchungsorientiert erfolgen, um eine Gewichtsminimierung und Kostenoptimierung zu erzielen.
5. Werkstoffauswahl, Rohgusstoleranzen sowie Qualitäts- und Prüfkriterien sollten sich ebenfalls streng an den Anforderun-

gen orientieren, die an das Bauteil gestellt werden, um unnötige Kosten zu vermeiden. In Absprache mit der Gießerei sollten festgelegt werden:

Werkstoffsorte: Wenn bestimmte Festigkeitskennwerte nur lokal erforderlich sind, kann ggf. lokal eine erhöhte Wanddicke vereinbart werden. Die generelle Steigerung der Festigkeitskennwerte (höherwertiger Werkstoff) ist mit zusätzlichen Kosten verbunden.

Zulässige Fehler: Wenn eine bestimmte Gütestufe nur lokal erforderlich ist, kann dies vereinbart werden. Die generelle Festlegung einer höheren Gütestufe ist mit zusätzlichen Kosten verbunden.

Prüfaufwand: Um den Prüfaufwand zu minimieren, sind Prüfungen besonders an den hoch beanspruchten Stellen festzulegen.

6. Die Notwendigkeit einer Wärmebehandlung (z. B. Spannungsarmglühen) ist im Einzelfall zu prüfen, da dies mit zusätzlichen Kosten verbunden ist. Gegebenenfalls kann der gleiche Effekt in der Gießerei durch geregelte Abkühlung erzielt werden.
7. Bearbeitungszugaben sind zu minimieren bzw. gegebenenfalls ist generell darauf zu verzichten, um Gewicht und Bearbeitungskosten einzusparen.
8. Bei größeren Bauteilen ist die Dimensionierung im Hinblick auf die späteren Transportmöglichkeiten (z. B. per Lkw) zu beachten.
9. Die Bereitschaft zur geometrischen Optimierung, sofern dies realisierbar ist, kann Kosten im ganzen Fertigungsprozess senken.

Die folgende Tabelle gibt einen vereinfachten, rein qualitativen Überblick über verschiedene Kosten beeinflussende Faktoren

Kostentendenz	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Kriterium				
Teileanforderung	gering	mittel	hoch	spezielle Eigenschaften
Werkstoff	EN-GJL	EN-GJS	legierte Sorten, ADI	Stahlguss
Losgröße	Großserie > 10.000	Mittelserie 500 bis 1000	Kleinserie > 20 bis 100	Einzelteile bis 20
Formverfahren	Formautomat	Formanlage	mechanisierte Anlage	Handformverfahren
Spezialverfahren	Kernblock	Maskenform	Gipsguss	Feinguss
Teilegröße	kleinere Teile 0,5 bis 100 kg	Mittelguss 100 kg bis 2 t	Großguss 2 bis 10 t	sehr große Teile bis 250 t
Komplexität	Naturmodell	geteilt	mehrfach geteilt	mehrfach geteilt mit Losteilen
Maßhaltigkeit	gering	mittel	hoch	einbaufertig
Kernhaltigkeit	ohne Kern	1 bis 3 Kerne	3 bis 10 Kerne	> 10 Kerne
Kernart	einfach, kompakt	Kernmontage erforderlich	spez. Formstoff (Maskenform- sand, etc.)	spez. Material (Keramik, Quarzgut, etc.)
Modellstandzeit	gering: Einzelteil	mittel: Kleinserie	Hoch: Mittelserie	hoch: Großserie
Disposition	langfristig	mittelfristig	kurzfristig	sehr kurzfristig

6 Weiterführende Literatur und Datenbanken

6.1 Allgemeine Literatur über Gusseisenwerkstoffe

- [1] Patterson, W.: Gusseisen-Handbuch. Giesserei-Verlag, Düsseldorf, 1963.
- [2] Liesenberg, O.; Wittekopf, D.: Stahlguss- und Gusseisenlegierungen. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig 1992
- [3] Sonderheft „konstruieren und gießen“ Nr. 2 (2000): Gusseisen mit Lamellengraphit. ZGV, Düsseldorf, 2000.
- [4] Sonderheft „konstruieren und gießen“ Nr. 1 (1988): Gusseisen mit Kugelgraphit. ZGV, Düsseldorf, 1988.
- [5] Motz, J.M.; Kress, E.: Bainitisches Gusseisen mit Kugelgraphit. konstruieren und gießen 10 (1985).

6.2 Spezielle Eigenschaften von Gusseisenwerkstoffen

- [6] Angus, H.T.: Cast Iron: Physical and Engineering Properties. Butterworths, London.
- [7] Nieth F.; Wiegand, H.: Dauerfestigkeit von Gusseisenwerkstoffen bei phasengleicher Überlagerung von Zu/Druck- und Biegespannungen. Giessereiforschung 29 (1977) Nr. 4.
- [8] Motz, J.M. u. a.: Bruchmechanische Eigenschaften von großen Wanddicken von Gussstücken aus GJS. Giessereiforschung 32 (1980) Nr. 3.
- [9] Wolters, D.B.: Wärmebehandlung von Gusseisen.
- [10] Berger, H.; Wiemann, W.: Bruchmechanische Eigenschaften in dickwandigen Gussstücken aus GJS als Kriterium für die Konstruktion. VDI-Berichte Nr. 469, 1983.

[11] Optimierung komplexer Gussbauteile aus dem Werkzeugmaschinenbau hinsichtlich Festigkeit und Steifigkeit. Abschlussbereich AiF-Forschungsvorhaben Nr. 8978.

[12] Einfluss von Gussfehlern in duktilem Gusseisen auf die Schwingfestigkeit von dickwandigen Bauteilen aus GGG-40. Abschlussbericht AiF-Forschungsvorhaben Nr. 9155.

6.3 Normen, Richtlinien und Merkblätter

Richtlinie „Rechnerischer Fertigenachweis für Maschinenbauteile“. Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM), 4. erweiterte Ausgabe 2002. VDMA-Verlag, Frankfurt, 2002.

Schmidt, T.: Festigenachweis von Eisengussteilen nach der FKM-Richtlinie“. Konstruieren + gießen 28 (2003), S. 15 – 21.

VDI-Richtlinie 3381 (Entwurf) Schaumstoffmodelle - Konstruktionshinweise für Werkzeugteile aus Gusseisen und Stahlguss.

DIN EN 1561:1997 Gießereiwesen – Gusseisen mit Lamellengraphit

DIN EN 1563:2003 Gießereiwesen – Gusseisen mit Kugelgraphit

prEN 1011-8:2002 Schweißen – Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe – Teil 8. Schweißen von Gusseisen

6.4 Datenbanken

Metalldatenbank WIAM® - METALLINFO. IMA GmbH, Dresden. www.ima-dresden.de

6.5 Software – Hilfreiche Links

Software zum Einlesen und Umwandeln von 2-D- und 3-D-Modellen:

www.deskartes.fi
www.compunix-usa.com
www.cadfix.com

