

Inhaltsverzeichnis

Physik

Fließgeschwindigkeit, Fallgeschwindigkeit ..	2
Mittlere Fließgeschwindigkeit durch	
Reibungsverluste	2
Gießzeit, Metallmenge (Formfüllzeit)	2
Massestrom, Volumenstrom (Gießleistung) ..	3
Kontinuitäts-Gesetz	3
Hydrostatischer Druck (Schweredruck, Eigendruck)	3
Druckeinheiten umrechnen	4
Wärmemenge, Schmelzwärme	4
Wärmehaushalt einer Gießform („Wärmebilanz“)	5

Technische Kommunikation

Formzeichnung	6
Fertigungszeichnung	6
Zeichnerische Merkmale an Kernen	8
Modelle mit Losteilen	8

Werkstoff- und Formstofftechnik

Schrumpfung und Schwindung	9
Lineare Schwindung, Schwindmaß	9
Volumenschwindung (Kubische Schwindung)	10
Schwindung mit gegossenem Modell (doppelte Schwindung, „Urmodell“, „Muttermodell“)	10
Einflussgrößen auf das Schwindmaß	10

Schmelztechnik

Dichte einer Legierung	11
Legierungsanteil nach Mischen mehrerer Legierungen	11
Legierung mit reinem Stoff auflegieren	12
Mischungsverhältnis zweier Legierungen (Mischungskreuz)	12

Eisenwerkstoffe

Eisen-Kohlenstoff-Diagramm, Einordnung Gusseisen, Sättigungsgrad S_C ..	13
Gattieren von Gusseisen	13

Aluminium-Legierungen

Kornfeinung und Veredelung	14
Benötigte Menge Kornfeinungs- und Veredelungsmittel	14
Qualitätsindex (mechanische Leistungsfähigkeit einer Al-Legierung)	14
Dichteindex	15
Erstarrungsformen von Legierungen	15
Zusammenhang zwischen Erstarrungsform und Gussfehlern	16

Formstoffprüfungen

Gasdurchlässigkeit eines Formstoffs	16
Siebanalyse von Formsand (u. a. mittlere Korngröße)	17
Festigkeit: Zug, Scherung, Druck	17
Verdichtbarkeit	18
Biegefestigkeit von Sandkernen	18

Gießereitechnik

Druckgießen

Zuhaltekraft der Druckgießmaschine	19
Sprenkraft	19
Druckübersetzer (Multiplikator) einer Kaltkammer-Druckgießmaschine	20
Füllgrad Gießkammer (Kaltkammer)	20

Verlorene Formen

Gießsystem: Drucklos/ Druckbeaufschlagt, Verlustfaktor η	21
------------------------------------------------------------------------	----

Masse berechnen

Gussstückmasse mit Hilfe der Modellmasse ..	22
Gussstückmasse bei Wechsel des Gießmetalls	22

Gießkräfte

Deckkastenkraft („Deckelkraft“)	23
Seitenkraft	23
Bodenkraft	24
Kernkraft gegen den Oberkasten	25
Kerngewichtskraft	25
Kernauftriebskraft	25
Gesamtkraft gegen den Oberkasten	25
Beschweren und Verklammern der Formkästen	26
Druck am Kernlager der Form (Flächenpressung)	26

Speisertechnik

Modul, allgemein	27
Gelenkte Erstarrung des Gussstücks mit Modul Signifikant	27
Speiserdimensionierung	27
Wirkungsgrad des Speisers (Ausbringung, Aussaugung)	28
Wirkbereich von Speisern (Sättigungsweite, Speisungslänge)	28

Sonstiges

Ausbringung („Guter Guss“)	29
Schwindung von Holz (Bau eines Holzmodells)	29

Tabellen

Dichte (kg/dm³)

Gusslegierung	30
Sonstige Stoffe	30

Bezeichnung, Zusammensetzung und Eigenschaften ausgewählter Legierungen

Beispiel für Auswirkung des Gießverfahrens und Wärmebehandlung



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Metallberufe

Autor der Formelsammlung Gießereitechnik:
Mirco Finke

Verlagslektorat:
Dennis Erhard Kriwald

Formelsammlung Gießereitechnik

2. Auflage

Bildbearbeitung:
Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Druck 5 4 3 2 1
Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2023 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

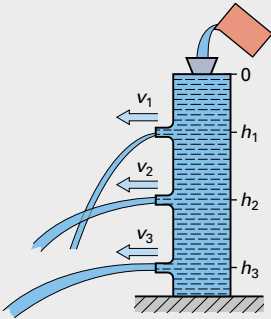
Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt
Umschlag: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar
Umschlagfotos: Laempe Mössner Sinto GmbH, Schopfheim und
SHW Casting Technologies GmbH & Co. KG, Aalen
Druck: UAB BALTO print, 08217 Vilnius (LT)

Europa-Nr.: 10489

ISBN 978-3-7585-1369-5

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Fließgeschwindigkeit, Fallgeschwindigkeit



v	Fließgeschwindigkeit in der Höhe h	m/s
g	Fallbeschleunigung	m/s ²
h	Gießhöhe	m

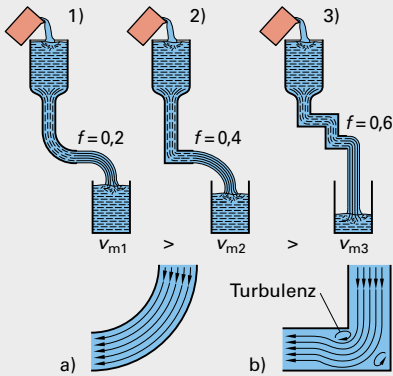
$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Beispiel

Die senkrecht gemessene Höhe vom Einguss bis zum Anschnitt ist $h = 250 \text{ mm} (=0,25\text{m})$. Die Schmelze hat im Anschnitt die Fließgeschwindigkeit

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot 0,25\text{m}} = \sqrt{2 \cdot 9,81\text{m/s}^2 \cdot 0,25\text{m}} = 2,21 \text{ m/s}$$

Mittlere Fließgeschwindigkeit durch Reibungsverluste



v_m	Fließgeschwindigkeit im Anschnitt	m/s
v	Fallgeschwindigkeit	m/s
f	Strömungsverlustfaktor	-

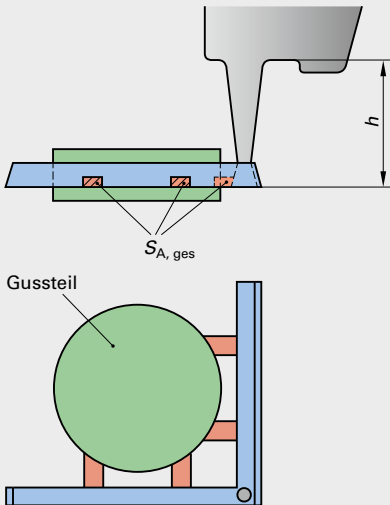
$$v_m = f \cdot \sqrt{(2 \cdot g \cdot h)}$$

$f \approx 0,4 \dots 0,7$

f wird in der Praxis abgeschätzt. Die Schmelze verliert an Bewegungsenergie durch rauen Sand, Winkel, Kurven und jegliche Querschnittsveränderungen im Lauf und Anschnitt, oder den Schlackenfilter.

$f = 0,7$ heißt, dass die Reibungsverluste 30 % betragen und 70% der ursprünglichen Geschwindigkeit verbleiben.

Gießzeit, Metallmenge (Formfüllzeit)



t	Gießzeit, Formfüllzeit	s
m	Masse des Gussstücks	kg
S_A	Querschnittsfläche aller Anschnitte (mittl. Geschw.)	dm ²
v_m	Geschwindigkeit im Anschnitt	dm/s
ρ_{fl}	Dichte des flüssigen Metalls	kg/dm ³

$$t = \frac{m}{S_A \cdot v_m \cdot \rho_{fl}}$$

$$S_A = \frac{m}{t \cdot v_m \cdot \rho_{fl}}$$

$$m = t \cdot S_A \cdot v_m \cdot \rho_{fl}$$

$$v_m = \frac{m}{t \cdot S_A \cdot \rho_{fl}}$$

Beispiel

Aluminium-Schmelze ($\rho_{fl} = 2,3 \text{ kg/dm}^3$) fließt mit $v_m = 0,6 \text{ m/s}$ durch vier Anschnitte mit jeweils $S_A = 50 \text{ mm}^2$. Nach $t = 5 \text{ s}$ beträgt die Masse

$$m = 5 \text{ s} \cdot (4 \cdot 0,005 \text{ dm}^2) \cdot 6 \text{ dm/s} \cdot 2,3 \text{ kg/dm}^3 = 1,38 \text{ kg}$$

Massestrom, Volumenstrom (Gießleistung)

\dot{m}, \dot{V}	Gießleistung (Masse- oder Volumenstrom)	kg/s, cm ³ /s
m	Masse des Abgusses	kg
V	Gegossenes Schmelzevolumen	dm ³
t	Gießzeit	s, min, h
ρ_{fl}	Dichte des Flüssigmetalls	kg/dm ³
S	Querschnittsfläche	dm ²

$$\dot{m} = \frac{m}{t}$$

$$\dot{V} = \frac{V}{t}$$

$$\dot{V} = S \cdot v$$

$$\dot{m} = S \cdot v \cdot \rho_{fl}$$

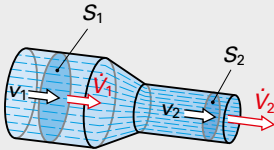
Die Gießleistung ist allgemein auch eine betriebliche Kennzahl zur Beurteilung der Produktionsmenge.

Beispiel

Es werden pro Schicht (7,5 h) 30 Stück Gusstücke von jeweils 50 kg gegossen (GJL, $\rho_{fl} = 6,5 \text{ kg/dm}^3$). Massestrom, Volumenstrom, Gießleistung ist:

$$\dot{m} = \frac{30 \cdot 50 \text{ kg}}{7,5 \text{ h}} = 200 \text{ kg/h} \quad \dot{V} = \frac{200 \text{ kg/h}}{6,5 \text{ kg/dm}^3} = 30,8 \text{ dm}^3/\text{h}$$

Kontinuitäts-Gesetz



\dot{V}	Durchflussmenge	dm ³ /s
S	Querschnittsfläche	dm ²
v	Fließgeschwindigkeit	dm/s

Ohne Reibung gilt:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2$$

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

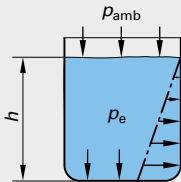
Querschnitte und Geschwindigkeiten gleichen sich aus. Der Volumenstrom bleibt ohne Reibungsverluste konstant.

Beispiel

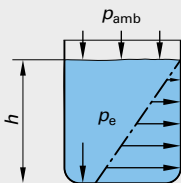
Im kleinen Querschnitt $S_1 = 1,75 \text{ dm}^2$ strömt Öl mit $v_1 = 20 \text{ dm/s}$ (somit $\dot{V} = 35 \text{ dm}^3/\text{s}$). Nach Vergrößerung auf $S_2 = 7 \text{ dm}^2$ ist v_2 :

$$\dot{V} = v_2 \cdot S_2 \quad v_2 = \frac{1,75 \text{ dm}^2 \cdot 20 \text{ dm/s}}{7 \text{ dm}^2} = 5 \text{ dm/s} \rightarrow S_1 = 4 \cdot S_2 \rightarrow v_2 = \frac{1}{4} \cdot v_1$$

Hydrostatischer Druck (Schweredruck, Eigendruck)



$$\rho_1 = 2,3 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$



$$\rho_2 = 6,5 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

p_e	Statischer Druck der Metallschmelze	N/m ² (= Pa)
g	Erdbeschleunigung	m/s ²
h	Höhe der Metallsäule	m
ρ_{fl}	Dichte des Flüssigmetalls	kg/m ³

$$p_e(\text{Pa}) = \rho_{fl} \cdot g \cdot h$$

$$p_e(\text{bar}) = \frac{\rho_{fl} \cdot g \cdot h}{100000}$$

Je höher die Metallsäule, und je höhere Dichte der Schmelze, desto höher der Druck.

Beispiel

Druck (Pa) auf eine Gießform für Gusseisen in einer Tiefe von $h = 0,6 \text{ m}$:

$$p_e = 6500 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,6 \text{ m}$$

$$p_e = 38259 \text{ N/m}^2 = \text{Pa} = 0,38 \text{ bar}$$

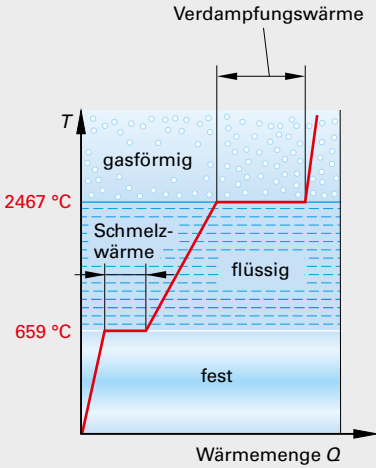
Der atmosphärische Luftdruck $p_{amb} \approx 1 \text{ bar}$ wird nicht miteingerechnet.

Druckeinheiten umrechnen

1 N/m ²	= 1 Pa	100000 N/m ²	= 1 bar	1 N/mm ²	= 0,1 bar
1000000 N/m ²	= 1 MPa	10 N/cm ²	= 1 bar	1 MPa	= 10 bar
1 N/mm ²	= 1 MPa	0,1 N/mm ²	= 1 bar	0,1 MPa	= 1 bar

Wärmemenge, Schmelzwärme

Aggregatzustände von Aluminium



$$Q = Q_{Temp} + Q_{Schmelz}$$

$$Q_{Temp} = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$Q_{Schmelz} = q \cdot m$$

Q	Gesamte Wärmemenge	kJ
Q_{Temp}	Wärmemenge durch Temperaturänderung	kJ
$Q_{Schmelz}$	Wärmemenge durch Schmelzen/Erstarren	kJ
c	Faktor spezifische Wärmekapazität des Werkstoffs	kJ/kgK
ΔT	Temperaturänderung	K
q	Faktor spezifische Schmelz-/Erstarrungs-/Verdampfungswärme	kJ/kg
m	Masse des Gussstücks	kg

* Wert „c“ → Tabellenbuch Metall, Stoffwerte.

Beispiel 1

Ein 40 kg schweres Aluminium-Gussstück wird mit 680 °C gegossen und mit 260 °C entformt. Dies entspricht $\Delta T = 420$ K. Die vom Werkzeug und Temperiergerät aufgenommene Wärmemenge ist:

$$Q = Q_{Temp} + Q_{Schmelz} \text{ (hier Erstarrung)}$$

$$Q_{Temp} = 0,94 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 40 \text{ kg} \cdot 420 \text{ K}$$

$$Q_{Schmelz} = 356 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 40 \text{ kg}$$

$$Q = 15792 \text{ kJ} + 14240 \text{ kJ} = \mathbf{30032 \text{ kJ}}$$

Beispiel 2

$m = 100$ kg Kupfer Cu sollen von Raumtemperatur $T_1 = 20$ °C auf Gießtemperatur $T_2 = 1250$ °C gebracht werden. Dies entspricht $\Delta T = 1230$ K. Zum Erhitzen und Schmelzen muss der Ofen (ohne sonstige Wärmeverluste) die gesamte Wärmemenge Q erzeugen:

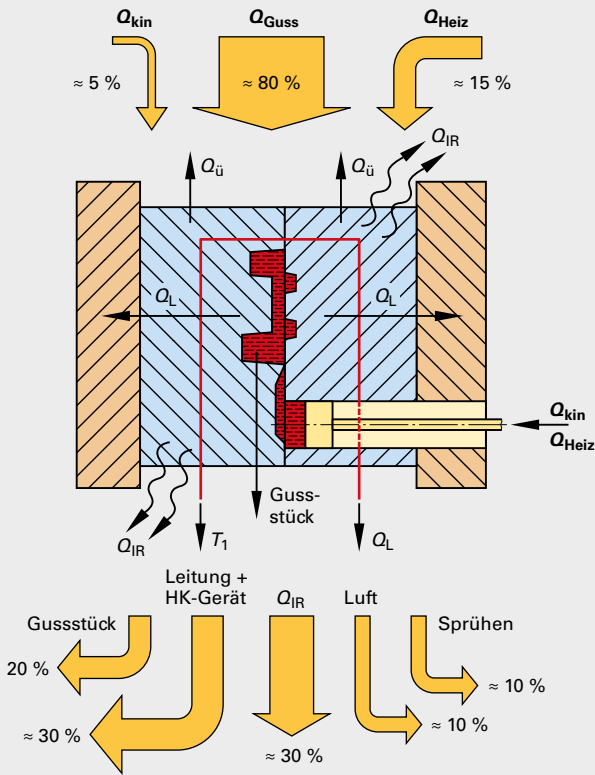
$$Q = Q_{Temp} + Q_{Schmelz}$$

$$Q_{Temp} = 0,39 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 100 \text{ kg} \cdot 1230 \text{ K}$$

$$Q_{Schmelz} = 213 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 100 \text{ kg}$$

$$Q = 47970 \text{ kJ} + 21300 \text{ kJ} = 69270 \text{ kJ} = \mathbf{69,27 \text{ MJ}}$$

Wärmehaushalt einer Gießform („Wärmebilanz“)



Q_{Ein}	Eingehende Wärmemenge	kJ
Q_{Aus}	Ausgehende Wärmemenge	kJ
Q_{Heiz}	Eintrag durch Zusatzbeheizungen	kJ
Q_{Guss}	Eintrag durch Schmelze für das Gussteil	kJ
Q_{kin}	Eintrag durch kinetische Energie	kJ
Q_L	Wärmeabgabe durch Leitung an Kontaktflächen der Metallform	kJ
Q_{IR}	Wärmeabgabe durch IR-Strahlung	kJ
$Q_{\text{Ü}}$	Wärmeabgabe durch Übergang, Konvektion (Luft, Verdampfung ...)	kJ

Thermisches Gleichgewicht:

$$Q_{\text{Ein}} = Q_{\text{Aus}}$$

Eingehende Wärmebeiträge:

$$Q_{\text{Ein}} = Q_{\text{Heiz}} + Q_{\text{Guss}} + Q_{\text{kin}}$$

$$Q_{\text{Guss}} = Q_{\text{Temp}} + Q_{\text{Schmelz}}$$

Ausgehende Wärmebeiträge:

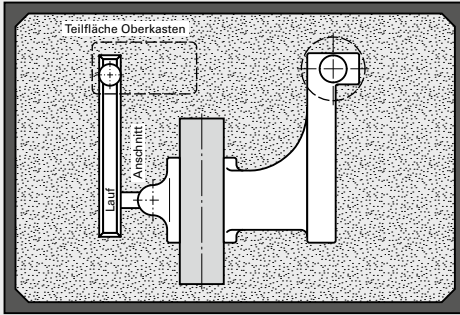
$$Q_{\text{Aus}} = Q_L + Q_{\text{IR}} + Q_{\text{Ü}}$$

Q_{Guss} wird nicht komplett an die Gießform abgegeben, da das Gussstück heiß entformt wird. Diese rund 20 % (von ehemals 80 %) der Wärmemenge der Schmelze sind somit eine Wärmeabgabe, die außerhalb der Gießform abgegeben wird.

Q_{Heiz} sind alle zusätzlich eingebrachten Beträge, um die Form örtlich zu erwärmen (beheizte Kreisläufe, elektr. Heizpatronen, die an der Form anliegende heiße Gießkammer usw.).

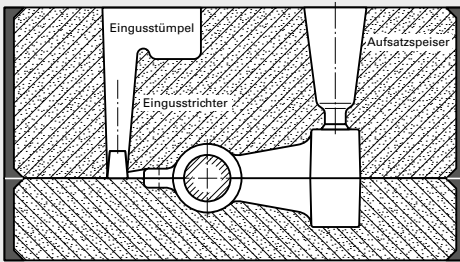
Q_{kin} entsteht als Reibungswärme durch die Bewegung mechanischer Teile (Kolben, Führungen, Schieber etc.) und durch Strömungsverluste der Schmelze.

Formzeichnung



Oberkasten,
Sicht von unten (Untersicht)

Kern grau, Speiser und Gießstümpel verdeckt,
Lauf trapezförmig, Anschnitt rechteckig,
Formrahmen geschwärzt.

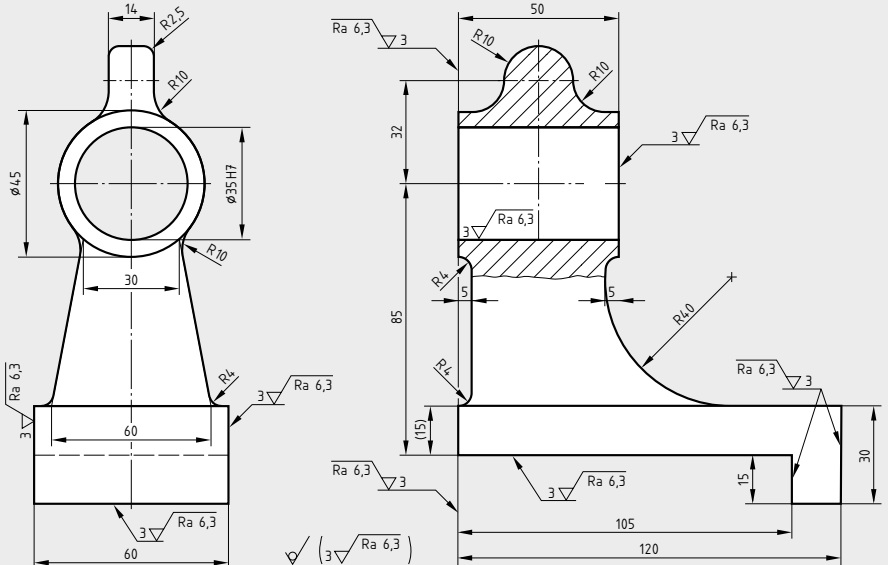


Ober- und Unterkasten,
Vorderansicht im Schnitt

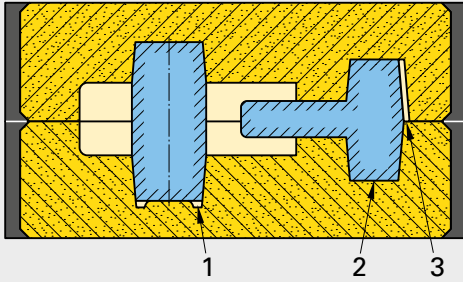
Zum besseren Verständnis dürfen Gießsystem und Speiser vollständig sichtbar eingezeichnet werden, obwohl sie nicht im Schnittlinienverlauf liegen.

Fertigungszeichnung

Einzelzeichnung Gussstück (Fertig-/ Kundenzeichnung)



Zeichnerische Merkmale an Kernen



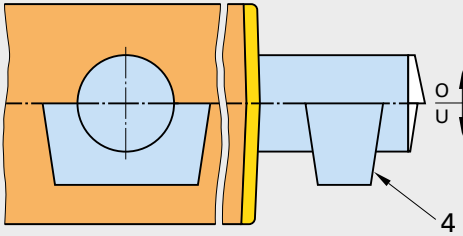
1 Sandschürze
Das Modell besitzt an der Kernmarke einen erhöhten Rand, welcher eine Vertiefung in die Form drückt. Diese fängt den beim Kerneinlegen herunter rieselnden Sand auf um einen sicheren Stand des Korns zu gewährleisten.

2 Kernschloss
Liegender Kern kann seitlich nicht verschoben werden. Falsches Einlegen möglich.

3 Kernluft, Kernspiel
Das Modell besitzt im OK eine geringfügig längere Kernmarke (s. Bild unten). Wird der Kern in die Form eingelegt, verbleibt ein kleiner Spalt. Dieses Spiel gewährleistet ein Aufsetzen des OK ohne den Kern und die Form zu beschädigen.

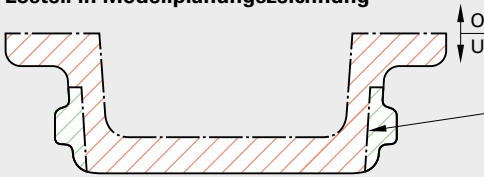
- Größe der Kernluft in DIN 12890 je nach:
- Modellgröße, -art, -genauigkeit
 - Genauigkeit beim Formen
 - Kernart, -herstellung, -schichte

4 Hammerkernmarke
Weder seitliches Verschieben noch Verdrehen des Korns möglich.



Modelle mit Losteilen

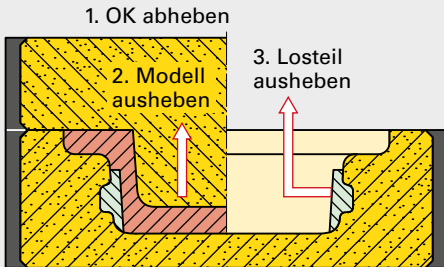
Losteil in Modellplanungszeichnung



Losteil verbunden durch Einschieben, Stecken oder Verschrauben.

Zeichnerische Begrenzung vom Modell durch breite Strich-Punkt-Linie (zusätzliche Teilungsebene).

Erzeugen der Hinterschnitte

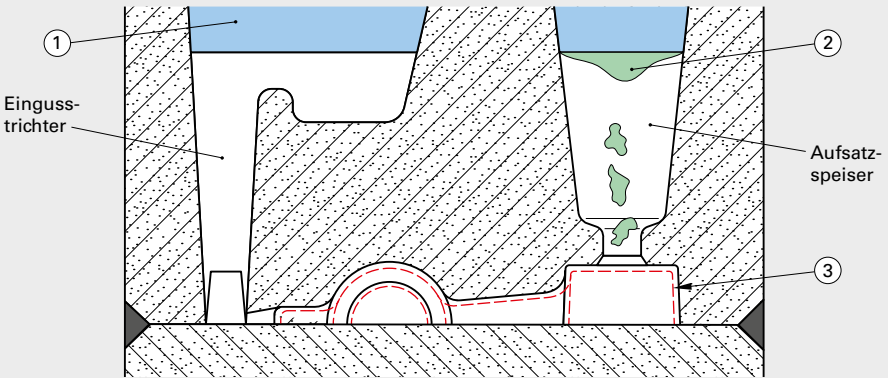


Schrumpfung und Schwindung

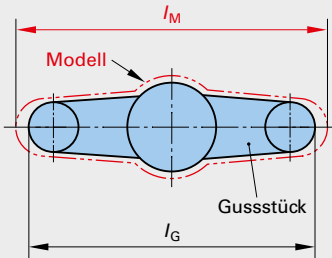
Die Phasen der Erstarrung und auftretende Volumendefizite:

- 1 Flüssigschrumpfung: Ausgleich durch nachfließende Schmelze aus Tümpel, Trichter, Speiser (Füllhöhe sinkt)
- 2 Erstarrungsschrumpfung (Flüssig-Fest-Übergang): Ausgleich durch Speiser (wg. Engstelle am Anschnitt dient der Trichter nicht zur Speisung)
- 3 Festkörperschrumpfung: Ausgleich durch Schwindmaß am Modell bzw. Gießwerkzeug

Gesamtes Volumendefizit = Summe der Volumendefizite Phase 1 + 2 + 3. Betrag je nach Gießmetall ca. 15%.



Lineare Schwindung, Schwindmaß



l_M	Modellmaß	mm
l_G	Gussstückmaß	mm
SM	Lineares (einfaches) Schwindmaß	%

Das Modell hat das äußere Maß (Ausgangsmaß) und entspricht 100%.

Das Gussstück hat immer < 100%.

$$l_M = \frac{l_G \cdot 100\%}{(100\% - SM)}$$

$$l_G = \frac{l_M \cdot (100\% - SM)}{100\%} \quad SM = \frac{(l_M - l_G)}{l_M} \cdot 100\%$$

Beispiel 1

Ein Gussstück aus Al-Legierung ($SM = 1,2\%$) soll die Höhe $h = 92 \text{ mm}$ (l_G) haben. Das Holzmodell wird gefertigt mit:

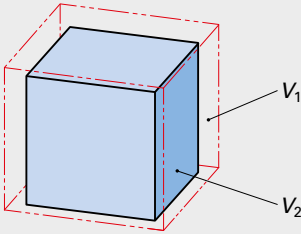
$$l_M = \frac{92 \text{ mm} \cdot 100\%}{(100\% - 1,2\%)} = \mathbf{93,12 \text{ mm}}$$

Beispiel 2

Nach dem Gießen hat das Al-Gussstück eine größere Maßabweichung $l_G = 91,5 \text{ mm}$. Wie groß ist das Schwindmaß, wenn $l_M = 93,12 \text{ mm}$:

$$SM = \frac{(93,12 \text{ mm} - 91,5 \text{ mm})}{93,12 \text{ mm}} \cdot 100\% = \mathbf{1,74\%}$$

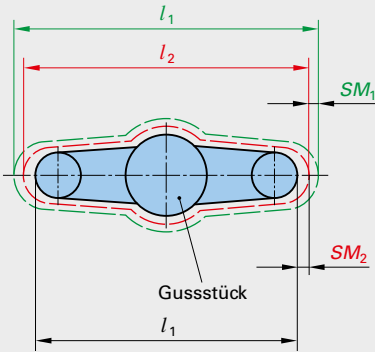
Volumenschwindung (Kubische Schwindung)



SV	Volumenschwindung	%
SM	Einfaches (lineares) Schwindmaß	%
V ₁	Volumen Gussstück, heiß glühend	dm ³
V ₂	Volumen Gussstück, abgekühlt	dm ³
ΔV	Volumenabnahme	dm ³

$SV = 3 \cdot SM$	$V_1 = \frac{V_2}{(1 - SV)}$
$\Delta V = V_1 - V_2$	
$V_2 = V_1 \cdot (1 - SV)$	

Schwindung mit gegossenem Modell (doppelte Schwindung, „Urmodell“, „Muttermodell“)



SM _{ges}	Gesamtschwindmaß	%
SM ₁	Schwindung gegossenes Urmodell	%
SM ₂	Schwindung Gussstück	%

$SM_{ges} = SM_1 + SM_2$

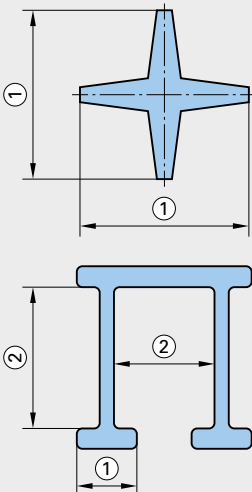
Beispiel 1

Maschinenformmodell aus Alu-Guss (SM₁) für Gussstücke aus GJL (SM₂):
 SM_{ges} = 1,2% + 1,0% = **2,2%**

Beispiel 2

Feingussmodell aus Wachs (SM₁) für Gussstücke aus Al-Leg (SM₂):
 SM_{ges} = 1,2% + 1,2% = **2,4%**

Einflussgrößen auf das Schwindmaß



SM wird größer (↑), kleiner (↓) oder bleibt unverändert (=)

Durch Zugabe von Legierungselementen:

- Si ↓
- C (Graphit-Expansion) ↓↓

Je nach Festigkeit der Form:

- Sandform ↑
- Stahlform ↓

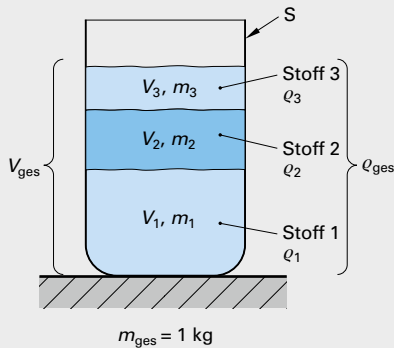
Je nach Schwindungsmöglichkeit:

- unbehindert =
- behindert ↓

- 1: freie, unbehinderte Schwindung nach innen wird behindert (1)
- 2: Schwinden auf die Form (2), Schwindung nach innen wird behindert → SM₁ > SM₂

Schmelztechnik

Dichte einer Legierung



ϱ_{ges}	Dichte der Legierung	kg/dm ³
$\varrho_{1,2,\dots}$	Dichte des einzelnen Legierungselements	kg/dm ³
V_{ges}	Gesamtvolumen	dm ³
$V_{1,2,\dots}$	Einzelvolumen der Legierungselements	dm ³
m_{ges}	Gesamtmasse	kg
$m_{1,2,\dots}$	Einzelmassen der Legierungselements	kg

$$\varrho_{ges} = \frac{1 \text{ kg}}{V_{ges}}$$

$$V_{ges} = V_1 + V_2 + \dots$$

$$V_1 = \frac{m_1}{\varrho_1}$$

Beispiel

ϱ_{ges} von AISi9Cu3:

$$V_{Si} = \frac{m_{Si}}{\varrho_{Si}} = \frac{0,09 \text{ kg}}{2,35 \text{ kg/dm}^3} = 0,0383 \text{ dm}^3$$

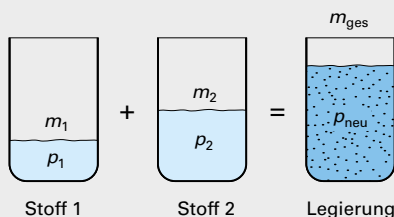
$$V_{Cu} = \frac{m_{Cu}}{\varrho_{Cu}} = \frac{0,03 \text{ kg}}{8,93 \text{ kg/dm}^3} = 0,0034 \text{ dm}^3$$

$$V_{Al} = \frac{m_{Al}}{\varrho_{Al}} = \frac{(1 \text{ kg} - 0,09 \text{ kg} - 0,03 \text{ kg})}{2,7 \text{ kg/dm}^3} = 0,3259 \text{ dm}^3$$

$$V_{ges} = V_{Si} + V_{Cu} + V_{Al} = 0,368 \text{ dm}^3$$

$$\varrho_{ges} = \frac{1 \text{ kg}}{V_{ges}} = 2,717 \text{ kg/dm}^3$$

Legierungsanteil nach Mischen mehrerer Legierungen



$m_{1,2}$	Vorhandene Einzelmasse	kg
m_{ges}	Neue Gesamtmasse	kg
$p_{1,2}$	Vorhandener Anteil des Legierungselements in $m_{1,2,\dots}$	%
p_{neu}	Entstehender Anteil des Legierungselements in m_{ges}	%

$$m_{ges} \cdot p_{neu} = m_1 \cdot p_1 + m_2 \cdot p_2 + \dots$$

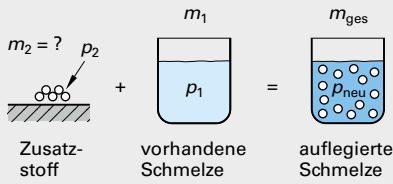
$$p_{neu} = \frac{(m_1 \cdot p_1 + m_2 \cdot p_2 + \dots)}{m_{ges}}$$

Beispiel

180 kg AISi8 + 450 kg AISi11 = 630 kg AISi(x %)

$$\text{Si-Gehalt } x (\%) = \frac{(180 \text{ kg} \cdot 8\% + 450 \text{ kg} \cdot 11\%)}{630 \text{ kg}} = 10,14\%$$

Legierung mit reinem Stoff auflegieren



p_{neu}	Gewünschter Anteil (Ziel-Analyse)	%
p_1	Anteil Legierungselement in m_1	%
p_2	Anteil Legierungselement im Zusatz	%
m_1	Masse der vorh. Legierung	kg
m_2	Benötigte Masse Zusatz für p_{neu}	kg

$$m_2 = \frac{(p_1 \cdot m_1 - p_{neu} \cdot m_1)}{(p_{neu} - p_2)}$$

Beispiel

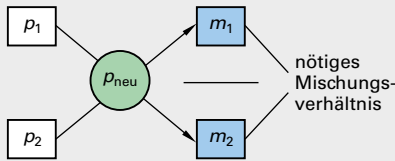
500 kg CuSn10 sollen mit reinem Sn zu CuSn20 auflegiert werden.

$p_{neu} = 20\%$ (CuSn20)

$$m_{Sn} = \frac{(10\% \cdot 500 \text{ kg} - 20\% \cdot 500 \text{ kg})}{(20\% - 10\%)} = 62,5 \text{ kg}$$

$m_{ges} = 562,5 \text{ kg}$

Mischungsverhältnis zweier Legierungen (Mischungskreuz)



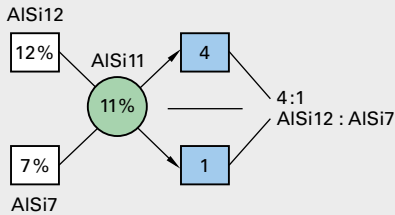
p_{neu}	Gewünschter Anteil der Mischung	%
p_1	Anteil Legierung A	%
p_2	Anteil Legierung B	%
m_1	Benötigter Massenanteil 1	-
m_2	Benötigter Massenanteil 2	-

Formeln zur Verwendung des Mischungskreuzes:

$$m_1 = p_2 - p_{neu}$$

$$m_2 = p_1 - p_{neu}$$

Ergebnis immer ohne Vorzeichen

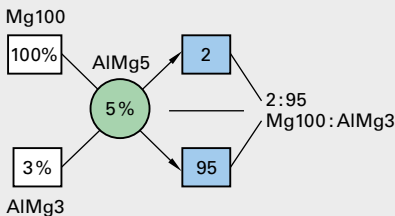


Beispiel 1

Für AlSi11 ($p_{neu} = 11\%$) sind AlSi12 ($p_1 = 12\%$) und AlSi7 ($p_2 = 7\%$) vorhanden.

Sie müssen laut Mischungskreuz im Verhältnis 4:1 abgewogen werden.

z. B. 400 kg AlSi12 + 100 kg AlSi7 = 500 kg AlSi11.



Beispiel 2

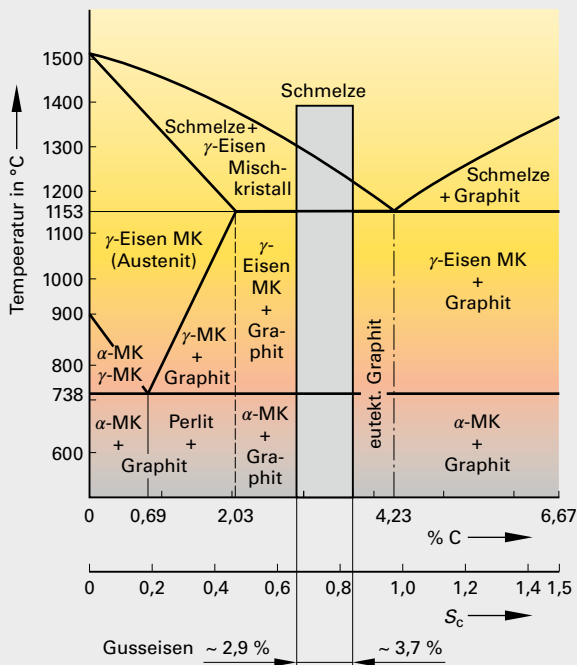
Für AlMg5 stehen reines Mg und AlMg3 zur Verfügung.

Sie müssen laut Mischungskreuz im Verhältnis 2:95 abgewogen werden.

z. B. 20 kg Mg (100%) + 190 kg AlMg3 = 210 kg AlMg5.

Eisenwerkstoffe

Eisen-Kohlenstoff-Diagramm, Einordnung Gusseisen, Sättigungsgrad S_c



S_c	Sättigungsgrad	-
CE	Kohlenstoff-äquivalent	% C
R_m	Zugfestigkeit*	N/mm ²
T_s	Schmelztemperatur der Eisenschmelze	°C

* Die weichen Graphitlamellen liegen eingebettet im ferritisch/perlitischen Grundgefüge des Eisens. Perlit-Anteil und -formung beeinflussen R_m .

Die Anteile von C, Si, P sind in % einzutragen.

$$S_c = \frac{C}{4,26 - \frac{1}{3} \cdot (Si + P)}$$

$$S_c = \frac{C}{4,3 - CE - C}$$

$$CE = C + \frac{1}{3} \cdot (Si + P)$$

$$R_m = (102 - 80,5 \cdot S_c) \cdot 9,81$$

$$T_s \approx 1669 \text{ °C} - (124 \cdot CE)$$

Gattieren von Gusseisen

		Analysen der Einsatzstoffe		Analysenanteil aus den Einsatzstoffen	
		% C	% Si	% C	% Si
Haupt-einsatzmaterialien	Einsatzmaterialien				
	30 % Kreislaufmaterial	3,7	2,4	1,11	0,72
	20 % Stahlschrott	0,4	0,2	0,08	0,04
	50 % Roheisen	4,0	2,2	2,0	1,1
Analysenkorrekturzuschlagstoffe	100 %			3,19	1,86
	1 % FeSi 75		75		0,75
	0,8 % Kohle	90		0,72	
	Abbrand			0,2	0,2
	Soll-Analyse %			3,71	2,41

Rechnung Kohlenstoffgehalt, % C:

Einsatz:
 $\frac{30}{100} \cdot 3,7\% C = + 1,11\% C$
 $\frac{20}{100} \cdot 0,4\% C = + 0,08\% C$
 $\frac{50}{100} \cdot 4,0\% C = + 2,00\% C$
 Abbrand:¹
 $- 0,20\% C$

Zuschlag (hier Kohle):
 $\frac{0,8}{100} \cdot 90\% C = + 0,72\% C$

Soll-Analyse:²
 $(1,11 + 0,08 + 2,00 + 0,72) - 0,20 = 3,71\% C$

¹ Je nach Schmelzpunkt des Elements, Ofentyp, Verweilzeit, Befeuungsart

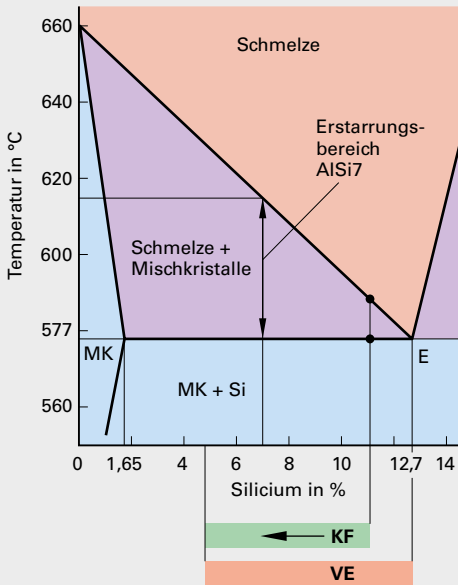
² Bei Gusseisen wird die Schmelze weiter durch Kennwerte wie S_c , CE und die Thermoanalyse beurteilt.

Analysen sind die Ergebnisse der Spektralanalyse.

Aluminium-Legierungen

Kornfeinung und Veredelung

Al-Si-Zustandsdiagramm



KF (Kornfeinung):

- gilt nicht nur für AlSi, sondern für alle untereutektoide Al-Gusslegierung. (AlMg, AlCu, ...)
- In Pfeilrichtung steigt die Wichtigkeit der KF.
- dichteres Gefüge bei zähfließenden, schlecht speisbaren Gusslegierung
- gleichmäßige Erstarrung bereits im Kern
- gegen Lunkerung, Rissneigung, Verzug usw., vor allem bei unterschiedlichen Wanddicken
- Je kleiner der Erstarrungsbereich, desto weniger notwendig bzw. wirksam ist die KF.

VE (Veredelung):

- gilt nur für AlSi
- zur Ausbildung feinkörniger AlSi-Struktur im Al
- erhöht R_{eT} , R_{mT} , A
- ohne VE grobe, spröde Si-Phasen, da Si in Al unlöslich ist
- mittels Na oder Sr, je nach Gießverfahren, Schmelze, Wanddicken u. a.
- VE entweder durch Zugabe von Na (kurzzeitige Wirkung, da Na schnell abbrennt) oder Sr (langzeitige Dauerwirkung, brennt kaum oder gar nicht ab), ansonsten Wahl und Menge je nach Gießverfahren, Schmelze, Wanddicke usw.

Benötigte Menge Kornfeinungs- und Veredelungsmittel

x	Rezepturvorgabe des Zusatzes	ppm
m_s	Masse der Schmelze	kg
m_z	Masse an benötigtem Zusatz	kg

$$m_z = \frac{m_s \cdot x}{1000000}$$

ppm = parts per million

Beispiel

1,4 t Schmelze sollen mit 150 ppm Sr veredelt werden:

$$m_z = \frac{1400 \text{ kg} \cdot 150}{1000000} = 0,21 \text{ kg}$$

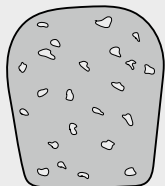
Qualitätsindex (mechanische Leistungsfähigkeit einer Al-Legierung)

Q	Qualitätsindex	-
R_m	Zugfestigkeit	N/mm ²
A	Bruchdehnung	%

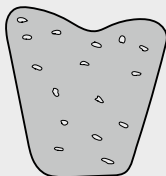
$$Q = R_m + 150 \cdot \log(A)$$

Aluminium-Legierungen

Dichteindex



ρ_{Vak}



ρ_{Atm}

$$\begin{aligned} m_{Vak} &= m_{Atm} \\ V_{Vak} &> V_{Atm} \\ \rho_{Vak} &= \rho_{Atm} \end{aligned}$$

DI Dichteindex %
 ρ_{Atm} Probendichte bei Atmosphärendruck kg/dm^3
 ρ_{Vak} Probendichte bei Unterdruck kg/dm^3

$$DI = \frac{(\rho_{Atm} - \rho_{Vak})}{\rho_{Atm}} \cdot 100\%$$

$$\rho_{Vak} = \rho_{Atm} - \frac{DI \cdot \rho_{Atm}}{100\%}$$

DI entspricht nicht dem H_2 -Gehalt in der Schmelze, sondern dient einzig zur Beurteilung bzw. Einhaltung einer gleichbleibenden Schmelzequalität.

Der absolute H_2 -Gehalt ist i. d. R. nicht von Interesse.

Beispiel 1

Nach dem Entgasen wird der DI einer Schmelze geprüft. Die Dichten sind $\rho_{Atm} = 2,6 \text{ g/cm}^3$ und $\rho_{Vak} = 2,5 \text{ g/cm}^3$.

$$DI = \frac{(2,6 - 2,5) \text{ g/cm}^3 \cdot 100\%}{2,6 \text{ g/cm}^3} = 3,85\%$$

Beispiel 2

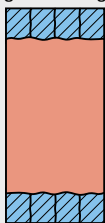
Für ein Gussstück ist $DI = 2,5\%$ erlaubt. Es wurde geprüft $\rho_{Atm} = 2,6 \text{ g/cm}^3$. Wie groß darf ρ_{Vak} höchstens sein?

$$\rho_{Vak} = 2,6 \text{ g/cm}^3 - (0,025 \cdot 2,6 \text{ g/cm}^3) = 2,54 \text{ g/cm}^3$$

Erstarrungsformen von Legierungen

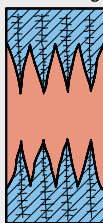
Exogene Erstarrung

glattwandig



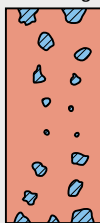
Erstarrung von außen mit mehr oder weniger fester Schale

rauwandig



Endogene Erstarrung

breiartig



breiartig schalenbildend



Kristallbildung im gesamten Querschnitt

Al 99,99 (Kokille + Sand)			
Al 99,5 (Kokille)	Al 99,5 (Sand)		
	AlMg5 (Kokille)	AlMg5 (Sand)	
	AlSi12 (unveredelt, Kokille)	AlSi12 (unveredelt, Sand)	
AlSi12 (veredelt, Kokille + Sand)			
	AlCu4 (Kokille)	AlSi9Cu3 (Sand)	AlSi9Cu3 (Kokille)
		AlCu4 (Sand)	

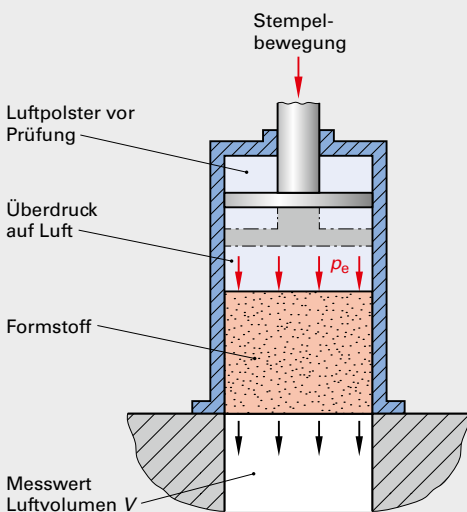
Aluminium-Legierungen

Zusammenhang zwischen Erstarrungsform und Gussfehlern

	Exogene Erstarrung		Endogene Erstarrung	
	glattwandig	rauwandig	breiartig	breiartig schalenbildend
Fließfähigkeit (besser, längere Fließwege)	←—————			
Warmrissgefahr (geringer)	←—————			mäßig gering
Ausheilen von Warmrissen in der Form (besser)	←—————			mäßig heilbar, da zähe Schmelze
Lunkerbildung	große zusammenhängende Lunker		eher Porennester, keine Lunker	
Speisbarkeit (besser)	←—————			

Formstoffprüfungen

Gasdurchlässigkeit eines Formstoffs



G	Gasdurchlässigkeit	–
V	Gemessenes Luftvolumen	cm^3
h	Probenhöhe	cm
S	Probenquerschnittsfläche	cm^2
$p_{\bar{u}}$	Überdruck am Stempel	N/cm^2
t	Zeit	s

Bei konstanten Prüfparametern:

$$G = \frac{V}{4}$$

Bei veränderten Prüfparametern:

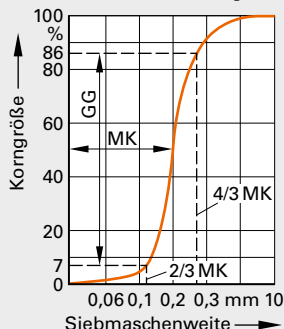
$$G = \frac{V \cdot h}{S \cdot p_{\bar{u}} \cdot t}$$

G muss insbesondere gegeben sein, wenn in feuchte, kernbestückte Formen gegossen wird und die Gefahr besteht, dass sich entwickelnde Gießgase nicht entweichen können und innere Gussfehler verursachen.

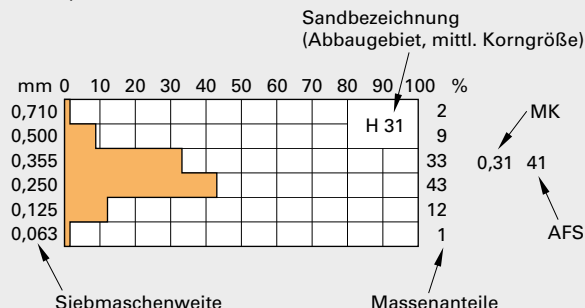
Formstoffprüfungen

Siebanalyse von Formsand (u. a. mittlere Korngröße)

Aufsummierte Darstellung



Klassenweise Darstellung der Siebanalyse (am Bsp. Quarzsand „H31“)



MK: Mittlere Korngröße (mm) des Formsands, abgelesen bei aufsummiertem Massenanteil von 50%. Staub vor dem Sieben und Wiegen entfernt und zählt nicht zur Sandmasse.

GG = Gleichmäßigkeitsgrad (%), Anteil Sand zwischen 3/4 – 2/3 MK, bezogen auf Sandgesammasse „H“ = Kürzel des Abbaugbiets des Sandes, z. B. „F“ = Frechen, NRW, „H“ = Haltern am See, NRW „31“ = Kennzahl zur MK, hier MK = 0,31 mm

AFS: „Amerikanische Feinheitensnummer“, einheitslose Kennzahl. Bildet Zusammenhang zwischen Kornanzahl und der Oberflächenbeschaffenheit (d. h. rundliche oder zerklüftete Form).

Festigkeit: Zug, Scherung, Druck

Messen der Grünzugfestigkeit am bentonitgebundenen Formstoff

σ_z	Zugfestigkeit*	N/cm ²
F	Prüfkraft bei Bruch	N
S	Belastete Querschnittsfläche	cm ²

* Grün- und Nasszugfestigkeit werden mit derselben Formel berechnet. Unterschiedlich sind die Prüfapparate und -bedingungen, die zum Bruch der Probe führen.

$$\sigma_z = \frac{F}{S}$$

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

Längsbruch des Probekörpers

Querschnittsfläche S

h

d

Querbruch des Probekörpers

Querschnittsfläche S

d

τ_s	Scherfestigkeit	N/cm ²
F	Prüfkraft bei Bruch	N
S	Belastete Querschnittsfläche	cm ²

$$\tau_s = \frac{F}{S}$$

S bei stehender Probe:

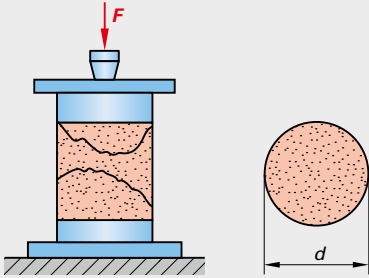
$$S_{\text{längs}} = d \cdot h$$

S bei liegender Probe:

$$S_{\text{quer}} = 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

Formstoffprüfungen

Festigkeit: Zug, Scherung, Druck

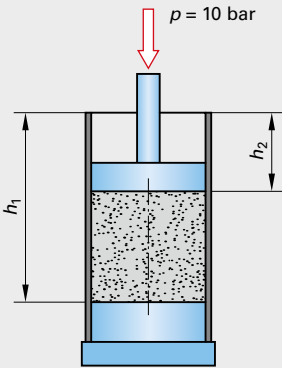


σ_D	Druckfestigkeit	N/cm ²
F	Prüfkraft bei Bruch	N
S	belastete Querschnittsfläche	cm ²

$$\sigma_D = \frac{F}{S}$$

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

Verdichtbarkeit



V_b	Verdichtbarkeit	%
h_1	Höhe unverdichtet	mm
h_2	Höhenverlust (Verdichtung)	mm

$$V_b = \frac{h_2}{h_1} \cdot 100\%$$

V_b ist u. a. temperatur- und feuchtigkeitsabhängig und eine wichtige Kennzahl für das Mischen und Aufbereiten des Formsandes.

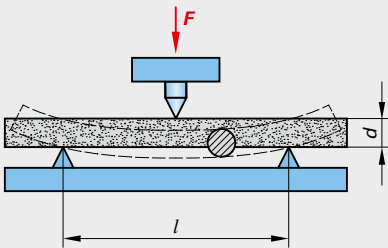
Beispiel

Der Sand im 100 mm hohen Prüfrohr wird um 35 mm verdichtet.

$$V_b = \frac{35 \text{ mm} \cdot 100\%}{100 \text{ mm}} = 35\%$$

Diese Qualität wäre z. B. zum Maschinenformen mit Bentonit geeignet.

Biegefestigkeit von Sandkernen



σ_B	Biegefestigkeit	N/cm ²
M_b	Biegemoment	Ncm
W_b	Widerstandsmoment	cm ³
F	Prüfkraft	N
l	Stützlänge	cm
d	Probendurchmesser	cm

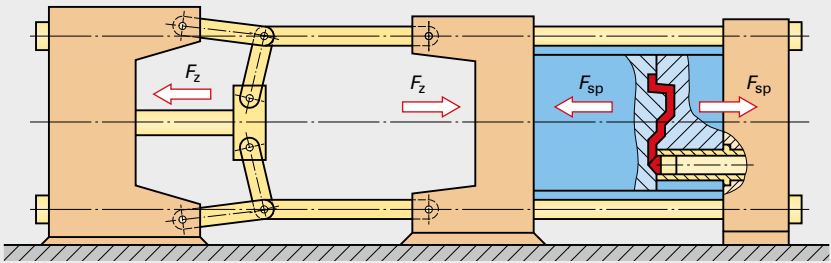
$$\sigma_B = \frac{M_b}{W_b}$$

$$M_b = \frac{F \cdot l}{4}$$

$$W_b = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$

Druckgießen

Zuhaltekraft der Druckgießmaschine



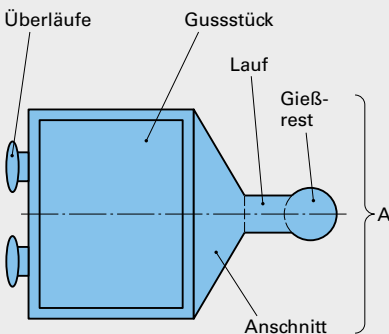
F_z	Zuhaltekraft	kN
F_s	Sprengkraft	kN
f	Sicherheitsfaktor gegen Öffnen der Gießform	-

$$F_z = F_s \cdot f$$

Faktoren $\approx 1,1 \dots 1,3$.

Größere Sicherheit ginge z. B. zulasten der Genauigkeit oder Trägheit der Maschine. Anders als eingezeichnet, wird F_z über die an der festen Seite verriegelten Maschinensäulen übertragen.

Sprengkraft



F_s	Sprengkraft auf Formhälften	kN
p_2	Gießdruck	bar
A_s	Gesamte Sprengfläche von Gussstück + Gießsystem, Überläufe	cm ²

Druckformel, allgemein:

$$F = p \cdot A$$

Sprengkraft (kN):

$$F_s = \frac{p_2 \text{ (bar)} \cdot A_s \text{ (cm}^2\text{)}}{100}$$

Beispiel

Ein quadratischer Behälter mit 500 mm x 500 mm x 120 mm (Höhe) wird mit $p_2 = 600$ bar gegossen. Anschnitte, Läufe, Überläufe und Gießrest werden mit 25% hinzugerechnet.

$$A_s = 50 \text{ cm} \cdot 50 \text{ cm} \cdot 1,25 (\hat{=} 125\%) = 3125 \text{ cm}^2$$

$$F_s = \frac{600 \text{ bar} \cdot 3125 \text{ cm}^2}{100} = 18750 \text{ kN} (\hat{=} 1875 \text{ t})$$

