

Inhaltsverzeichnis

Physik

Fließgeschwindigkeit, Fallgeschwindigkeit ..	2
Fließgeschwindigkeit mit Reibungsverlust ..	2
Gießzeit, Metallmenge (Formfüllzeit) ..	2
Gießleistung (Massestrom, Durchflussmenge) ..	3
Kontinuitäts-Gesetz ..	3
Hydrostatischer Druck (Schweredruck, Eigendruck) ..	3
Druckeinheiten umrechnen ..	4
Wärmemenge ..	4
Wärmehaushalt einer Gießform („Wärmebilanz“) ..	5

Technische Kommunikation

Formzeichnung ..	6
Modellplanungszeichnung ..	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 vorhandenen 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
Aussaugvolumen von Speisern (Wirkungsgrad, Aussaugbarkeit) ..	28
Wirkbereich von Speisern (Sättigungsweite, Speisungslänge) ..	28

Sonstiges

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

Tabellen

Dichte (kg/dm³)

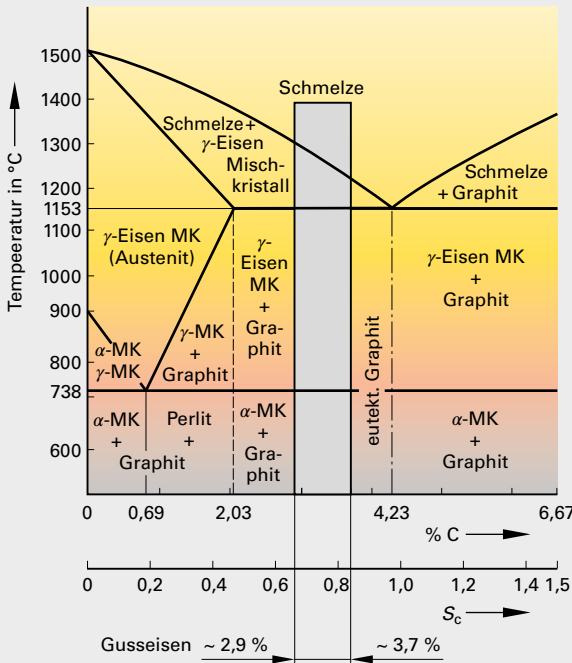
Gusslegierung ..	30
Sonstige Stoffe ..	30

Bezeichnung, Zusammensetzung und Eigenschaften ausgewählter Legierungen

Beispiel für Auswirkung des Gießverfahrens und Wärmebehandlung

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	
	Einsatzmaterialien	% C	% Si	
Haupt-einsatzmaterialien	30 % Kreislaufmaterial	3,7	2,4	1,11
	20 % Stahlschrott	0,4	0,2	0,08
	50 % Roheisen	4,0	2,2	2,0
Analysenkorrekturzuschlagstoffe	100 %			3,19
	1 % FeSi 75		75	0,75
	0,8 % Kohle	90		0,72
	Abbrand			0,2
	Soll-Analyse %			3,71

Rechnung Kohlenstoffgehalt, % C:

Einsatz:

$$\frac{30}{100} \cdot 3,7\% \text{ C} = + 1,11\% \text{ C}$$

$$\frac{20}{100} \cdot 0,4\% \text{ C} = + 0,08\% \text{ C}$$

$$\frac{50}{100} \cdot 4,0\% \text{ C} = + 2,00\% \text{ C}$$

Abbrand:¹

$$- 0,20\% \text{ C}$$

Zuschlag (hier Kohle):

$$\frac{0,8}{100} \cdot 90\% \text{ C} = + 0,72\% \text{ C}$$

Soll-Analyse:²

$$(1,11 + 0,08 + 2,00 + 0,72) - 0,20 = 3,71\% \text{ C}$$

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

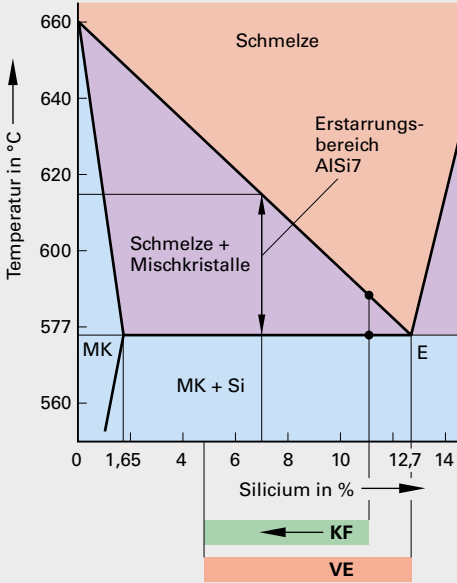
² Bei Gusseisen wird die Schmelze weiter durch Kennwerte wie S_c , CE und die Thermoanalyse beurteilt.

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_g, R_m, A
- ohne VE grobe, spröde Si-Phasen, da Si in Al unlöslich ist
- mittels Na oder Sr, je nach Gießverfahren, Schmelze, Wanddicken u. a.

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:

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

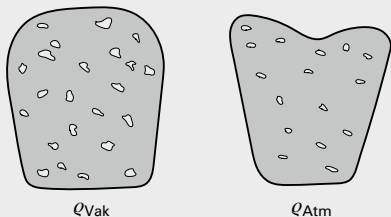
Qualitätsindex (mechanische Leistungsfähigkeit einer Al-Legierung)

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

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

Aluminium-Legierungen

Dichteindex



Q_{Vak}

Q_{Atm}

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

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

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

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

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 $Q_{Atm} = 2,6 g/cm^3$ und $Q_{Vak} = 2,5 g/cm^3$.

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

Beispiel 2

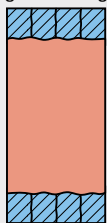
Für ein Gussstück ist $DI = 2,5\%$ erlaubt. Es wurde geprüft $Q_{Atm} = 2,6 g/cm^3$. Wie groß darf Q_{Vak} höchstens sein?

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

Erstarrungsformen von Legierungen

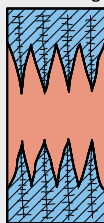
Exogene Erstarrung

glattwandig



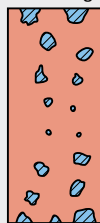
Erstarrung von außen mit mehr oder weniger fester Schale

rauwandig



Endogene Erstarrung

breiertig



breiertig 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)	

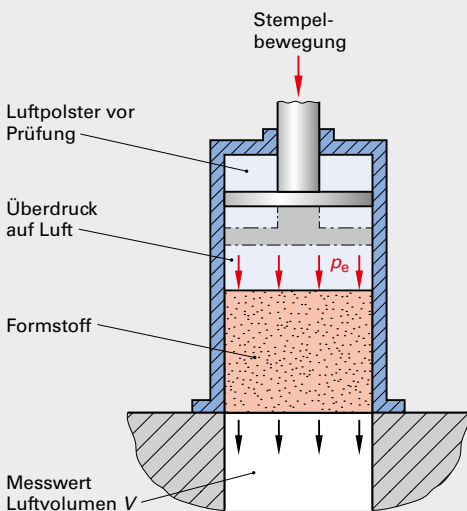
Aluminium-Legierungen

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:

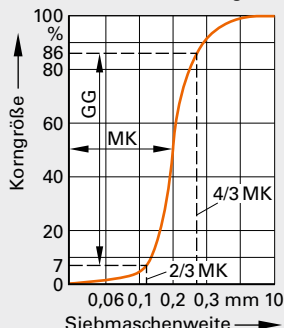
$$G = \frac{V \cdot h}{S \cdot p_{\bar{u}} \cdot t}$$

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.

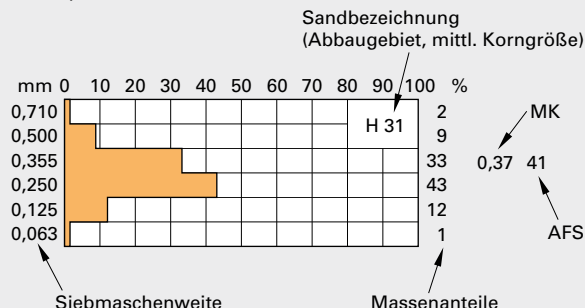
Formstoffprüfungen

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 wurde 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 Abbaugebiets 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:

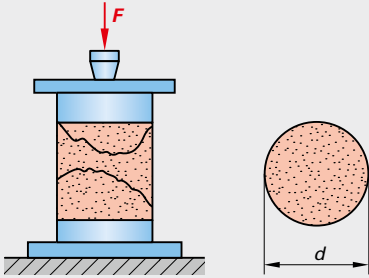
$$S_{\text{längs}} = d \cdot h$$

S bei liegender Probe:

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

Formstoffprüfungen

Festigkeit: Zug, Scherung, Druck

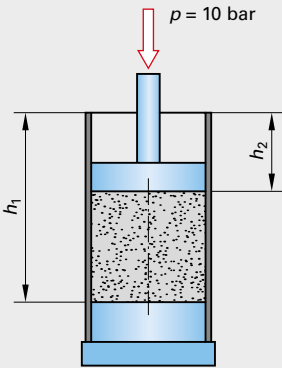


σ_D	Druckfestigkeit	N/cm ²
F	Prüfkraft bei Bruch	N
S	belastete Querschnittsfläche	cm ²

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

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

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.

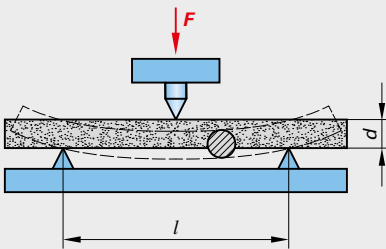
Beispiel

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

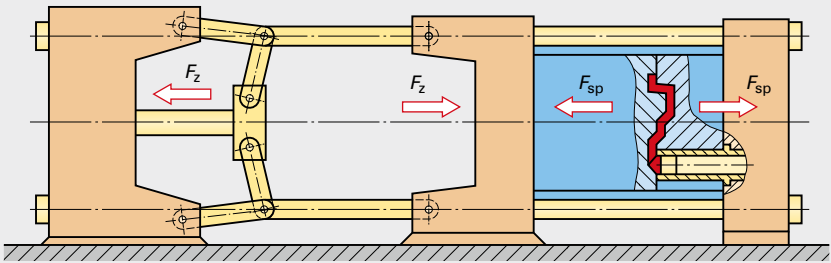
$$\sigma_B = \frac{M_b}{W_b}$$

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

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

Druckgießen

Zuhaltkraft der Druckgießmaschine



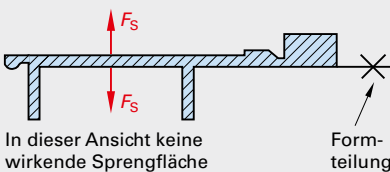
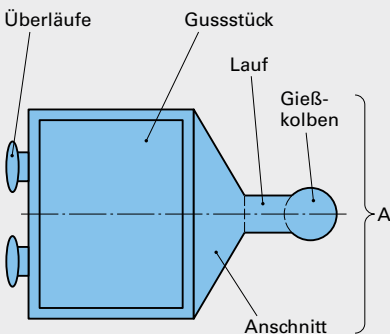
F_z	Zuhaltkraft	kN
F_s	Sprengkraft	kN
f	Sicherheitsfaktor gegen Öffnen der Gießform	-

$$F_z = F_s \cdot f$$

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 Gussstücks + Gießsystem	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 $500 \times 500 \times 120$ mm (Höhe) wird mit $p_2 = 600$ bar gegossen. Anschnitte, Läufe, Überläufe und Gießrest werden mit 25% hinzugerechnet.

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

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