

# Inhaltsverzeichnis

Physik

Fließgeschwindigkeit, Fallgeschwindigkeit

Fließgeschwindigkeit mit Reibungsverlust

Gießzeit, Metallmenge (Formfüllzeit)

Gießleistung (Massestrom, Durchflussmenge)

Kontinuitäts-Gesetz

Hydrostatischer Druck (Schweredruck, Eigendruck)

Druckeinheiten umrechnen

Wärmemenge

Wärmehaushalt einer Gießform („Wärmebilanz“)

2

2

2

3

3

3

4

4

5

Technische Kommunikation

Formzeichnung

Modellplanungszeichnung

Zeichnerische Merkmale an Kernen

Modelle mit Losteilen

6

6

8

8

Werkstoff- und Formstofftechnik

Schrumpfung und Schwindung

Lineare Schwindung, Schwindmaß

Volumenschwindung (Kubische Schwindung)

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

Einflussgrößen auf das Schwindmaß

9

9

10

10

10

Schmelztechnik

Dichte einer vorhandenen Legierung

Legierungsanteil nach Mischen mehrerer Legierungen

Legierung mit reinem Stoff auflegieren

Mischungsverhältnis zweier Legierungen (Mischungskreuz)

11

11

12

12

Eisenwerkstoffe

Eisen-Kohlenstoff-Diagramm, Einordnung Gusseisen, Sättigungsgrad  $S_C$

Gattieren von Gusseisen

13

13

Aluminium-Legierungen

Kornfeinung und Veredelung

Benötigte Menge Kornfeinungs- und Veredelungsmittel

Qualitätsindex (mechanische Leistungsfähigkeit einer Al-Legierung)

Dichteindex

Erstarrungsformen von Legierungen

Zusammenhang zwischen Erstarrungsform und Gussfehlern

14

14

14

15

15

16

Formstoffprüfungen

Gasdurchlässigkeit eines Formstoffs

Siebanalyse von Formsand (u.a. mittlere Korngröße)

Festigkeit: Zug, Scherung, Druck

Verdichtbarkeit

Biegefestigkeit von Sandkernen

16

17

17

18

18

Gießereitechnik

Druckgießen

Zuhaltekraft der Druckgießmaschine

Sprenkraft

Druckübersetzer (Multiplikator) einer Kaltkammer-Druckgießmaschine

Füllgrad Gießkammer (Kaltkammer)

19

19

20

20

Verlorene Formen

Gießsystem: Drucklos/ Druckbeaufschlagt, Verlustfaktor  $\eta$

21

Masse berechnen

Gussstückmasse mit Hilfe der Modellmasse

Gussstückmasse bei Wechsel des Gießmetalls

22

22

Gießkräfte

Deckkastenkraft („Deckelkraft“)

Seitenkraft

Bodenkraft

Kernkraft gegen den Oberkasten

Kerngewichtskraft

Kernauftriebskraft

Gesamtkraft gegen den Oberkasten

Beschweren und Verklammern der Formkästen

Druck am Kernlager der Form (Flächenpressung)

23

23

24

25

25

25

25

26

26

Speisertechnik

Modul, allgemein

Gelenkte Erstarrung des Gussstücks mit Modul Signifikant

Speiserdimensionierung

Aussaugvolumen von Speisern (Wirkungsgrad, Aussaugbarkeit)

Wirkbereich von Speisern (Sättigungsweite, Speisungslänge)

27

27

27

28

28

Sonstiges

Ausbringung („Guter Guss“)

Schwindung von Holz (Bau eines Holzmodells)

29

29

Tabellen

Dichte ( $\text{kg/dm}^3$ )

Gusslegierung

Sonstige Stoffe

30

30

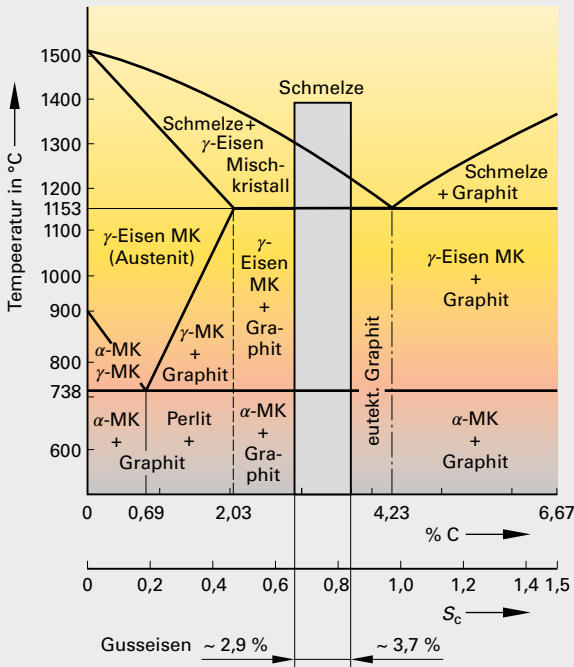
30

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 <sup>2</sup>
$T_s$	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	% C	% Si
Haupt-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
Analysen-korrektur-zuschlagstoffe	100 %			3,19	1,86
	1 % FeSi 75		75		0,75
	0,8 % Kohle	90		0,72	
				3,91	2,61
	Abbrand			0,2	0,2
		Soll-Analyse %		3,71	2,41

Rechnung Kohlenstoffgehalt, % C:

Einsatz:

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

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

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

$$\text{Abbrand:}^1 \quad - 0,20\% \text{ C}$$

Zuschlag (hier Kohle):

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

Soll-Analyse:<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup> Je nach Schmelzpunkt des Elements, Ofentyp, Verweilzeit, Befeuungsart

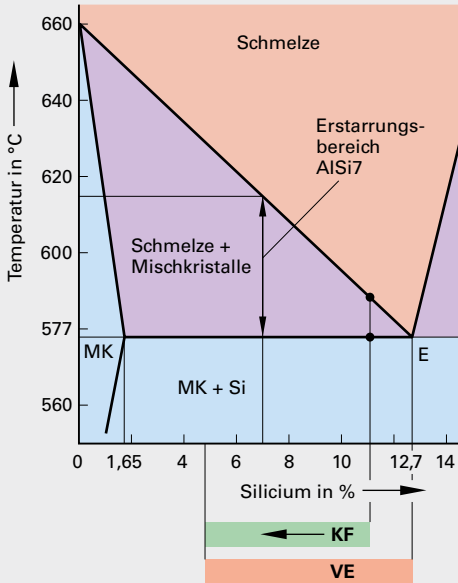
<sup>2</sup> Bei Gusseisen wird die Schmelze weiter durch Kennwerte wie  $S_c$ ,  $CE$  und die Thermoanalyse beurteilt.

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  $R_e$ ,  $R_m$ ,  $A$
- 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:

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

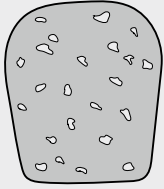
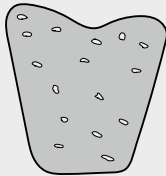
### Qualitätsindex (mechanische Leistungsfähigkeit einer Al-Legierung)

$Q$	Qualitätsindex	–
$R_m$	Zugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>
$A$	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 <sup>3</sup>
$Q_{Vak}$	Probendichte bei Unterdruck	kg/dm <sup>3</sup>

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

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

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

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

#### Beispiel 2

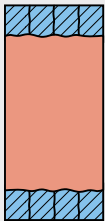
Für ein Gussstück ist  $DI = 2,5 \%$  erlaubt. Es wurde geprüft  $Q_{Atm} = 2,6 \text{ g/cm}^3$ . Wie groß darf  $Q_{Vak}$  höchstens sein?

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

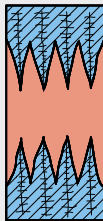
### Erstarrungsformen von Legierungen

#### Exogene Erstarrung

glattwandig



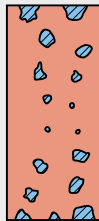
rauwandig



Erstarrung von außen mit mehr oder weniger fester Schale

#### 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)			
	AlSi9Cu3 (Sand)	AlSi9Cu3 (Kokille)	
	AlCu4 (Kokille)	AlCu4 (Sand)	

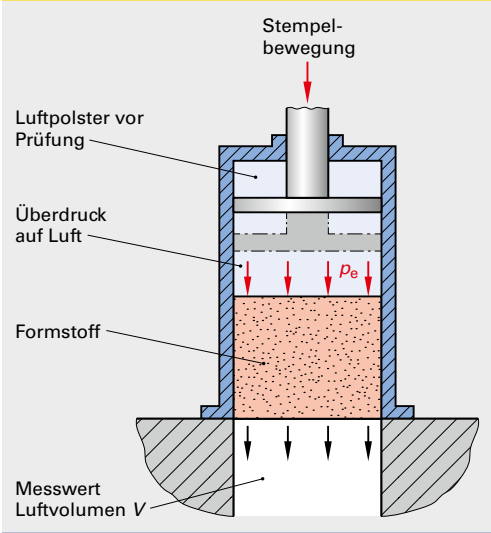
Aluminium-Legierungen

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 Porenneester, keine Lunker	
				
Speisbarkeit (besser)				

Formstoffprüfungen

Gasdurchlässigkeit eines Formstoffs



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

Bei konstanten Prüfparametern:

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

Bei veränderten Prüfparametern:

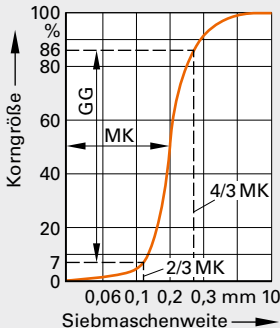
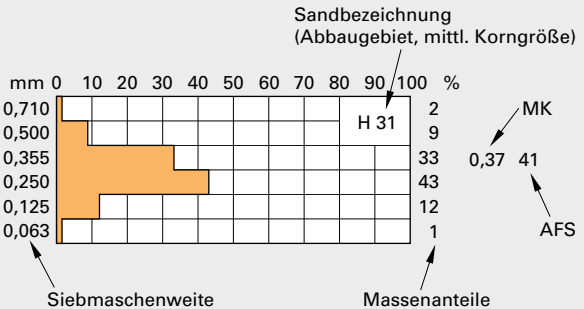
$$G = \frac{V \cdot h}{S \cdot p_{\bar{u}} \cdot t}$$

$G$  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 Sandgesamtmasse

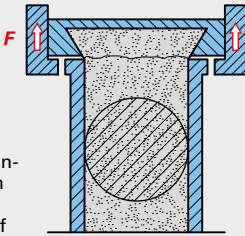
„H“ = Kürzel des Abbaugebiets des Sandes, z. B. „F“ = Frechen, NRW, „H“ = Haltern am See, NRW

„31“ = Kennzahl zur MK, hier MK = 0,31 mm

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

### Festigkeit: Zug, Scherung, Druck

Messen der Grünzugfestigkeit am bentonitgebundenen Formstoff



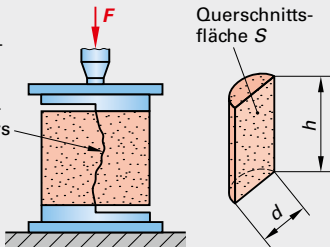
$\sigma_z$	Zugfestigkeit*	N/cm <sup>2</sup>
F	Prüfkraft bei Bruch	N
S	Belastete Querschnittsfläche	cm <sup>2</sup>

\* 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

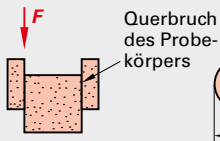


$\tau_s$	Scherfestigkeit	N/cm <sup>2</sup>
F	Prüfkraft bei Bruch	N
S	Belastete Querschnittsfläche	cm <sup>2</sup>

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

S bei stehender Probe:

$$S_{\text{längs}} = d \cdot h$$



Querbruch des Probekörpers

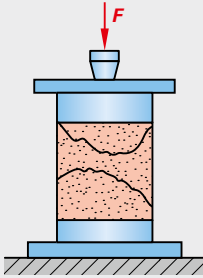
Querschnittsfläche S

S bei liegender Probe:

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

## Formstoffprüfungen

### Festigkeit: Zug, Scherung, Druck

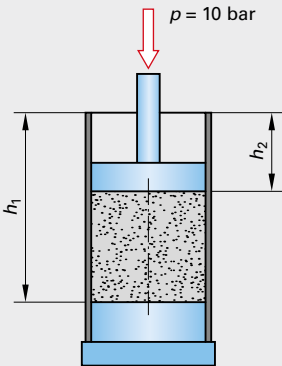


$\sigma_D$	Druckfestigkeit	N/cm <sup>2</sup>
$F$	Prüfkraft bei Bruch	N
$S$	belastete Querschnittsfläche	cm <sup>2</sup>

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

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

### 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.

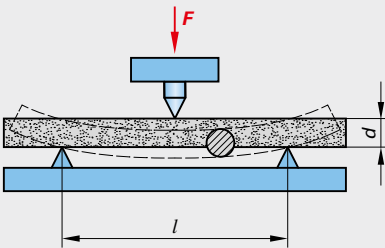
#### Beispiel

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



$\sigma_B$	Biegefestigkeit	N/cm <sup>2</sup>
$M_b$	Biegemoment	Ncm
$W_b$	Widerstandsmoment	cm <sup>3</sup>
$F$	Prüfkraft	N
$l$	Stützweite	cm
$d$	Probendurchmesser	cm

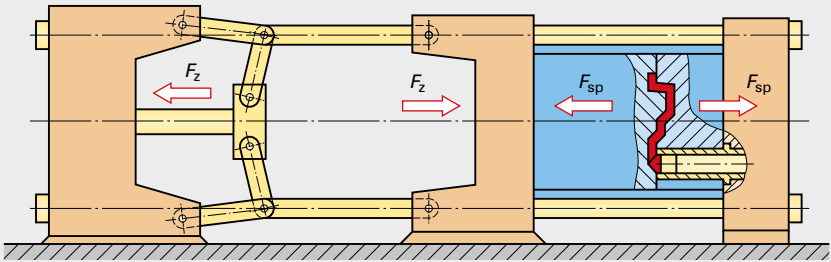
$$\sigma_B = \frac{M_b}{W_b}$$

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

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

## Druckgießen

### Zuhaltekraft der Druckgießmaschine



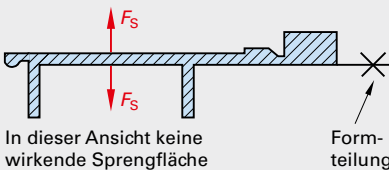
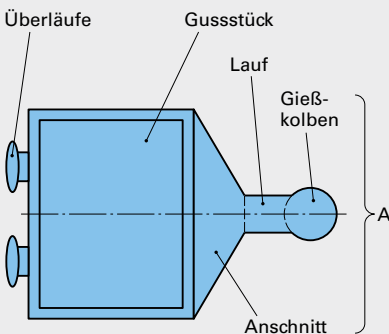
$F_z$	Zuhaltekraft	kN
$F_s$	Sprengkraft	kN
$f$	Sicherheitsfaktor gegen Öffnen der Gießform	–

$$F_z = F_s \cdot f$$

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 Gussstücks + Gießsystem	cm <sup>2</sup>

Druckformel, allgemein:

$$F = p \cdot A$$

Sprengkraft (kN):

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

#### 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.

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

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