

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
Wärmeaushalt 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 (Volumenschwindung (Kubische Schwindung))	9
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 auflegen	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
Sprengkraft	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 Verklemmen 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/dm^3)

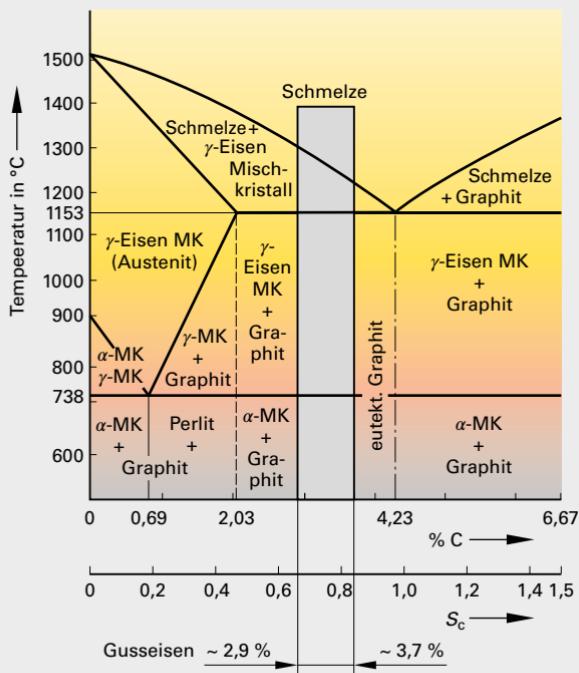
Gusslegierung	30
Sonstige Stoffe	30

Bezeichnung, Zusammensetzung und Eigenschaften ausgewählter Legierungen

Beispiel für Auswirkung des Gießverfahrens und Wärmebehandlung

Eisenwerkstoffe

Eisen-Kohlenstoff-Diagramm, Einordnung Gusseisen, Sättigungsgrad S_c



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

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

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

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

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

Gattieren von Gusseisen

		Analysen der Einsatzstoffe		Analysenanteil aus den Einsatzstoffen	
Einsatzmaterialien		% C	% Si	% C	% Si
Haupt-einsatz-materialien	30 % Kreislauf-material	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	2,61
	Abbrand			3,91	0,2
		Soll-Analyse %		0,2	0,2
				3,71	2,41

Rechnung Kohlenstoffgehalt, % C:

Einsatz:

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

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

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

Abbrand:

- 0,20 % C

Zuschlag (hier Kohle):

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

Soll-Analyse:²

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

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

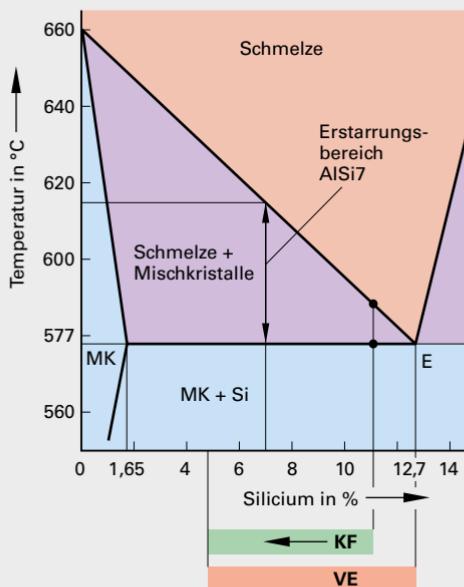
² Bei Gusseisen wird die Schmelze weiter durch Kennwerte wie *Sc*, *CE* und die Thermoanalyse beurteilt.

Analysen sind die Ergebnisse der Spektralanalyse.

Aluminium-Legierungen

Kornfeinung und Veredelung

Al-Si-Zustandsdiagramm



KF (Kornfeinung):

- gilt nicht nur für AlSi, sondern für alle unterteutektoiden Al-Gusslegierungen (AlMg, AlCu, ...)
- In Pfeilrichtung steigt die Wichtigkeit der KF.
- dichteres Gefüge bei zähfließenden, schlecht speisbaren Gusslegierungen
- 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:

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

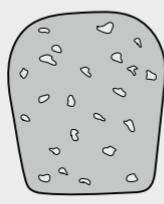
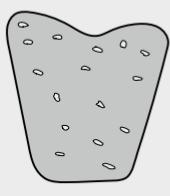
Qualitätsindex (mechanische Leistungsfähigkeit einer Al-Legierung)

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

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

Aluminium-Legierungen

Dichteindex

 ϱ_{Vak}  ϱ_{Atm}

$$\begin{array}{lll} m_{\text{Vak}} & = & m_{\text{Atm}} \\ V_{\text{Vak}} & > & V_{\text{Atm}} \\ \varrho_{\text{Vak}} & = & \varrho_{\text{Atm}} \end{array}$$

 DI

Dichteindex

Probendichte bei Atmosphärendruck

%

 kg/dm^3 ϱ_{Atm}

Probendichte bei Unterdruck

 kg/dm^3 ϱ_{Vak}

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

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

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

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

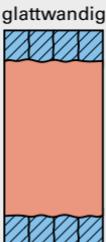
Beispiel 2

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

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

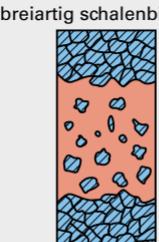
Erstarrungsformen von Legierungen

Exogene Erstarrung



Erstarrung von außen mit mehr oder weniger fester Schale

Endogene Erstarrung



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)	

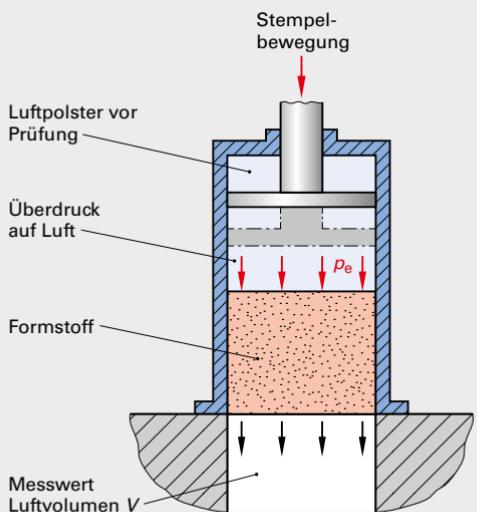
Aluminium-Legierungen

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		→	→
Speisbarkeit (besser)		→		

Formstoffprüfungen

Gasdurchlässigkeit eines Formstoffs



G	Gasdurchlässigkeit	–
V	Gemessenes Luftvolumen	cm^3
h	Probenhöhe	cm
S	Probenquerschnittsfläche	cm^2
p_u	Überdruck am Stempel	N/cm^2
t	Zeit	s

Bei konstanten Prüfparametern:

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

Bei veränderten Prüfparametern:

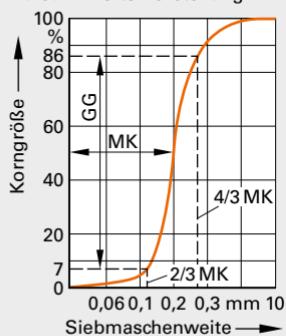
$$G = \frac{V \cdot h}{S \cdot p_u \cdot t}$$

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.

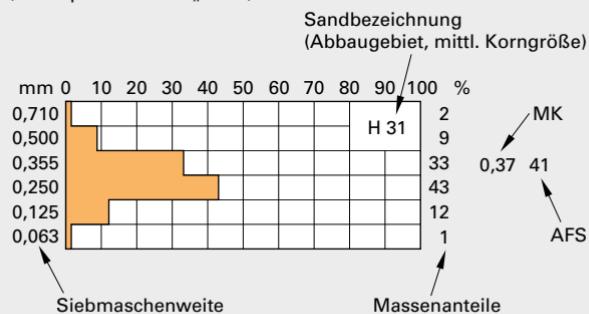
Formstoffprüfungen

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.

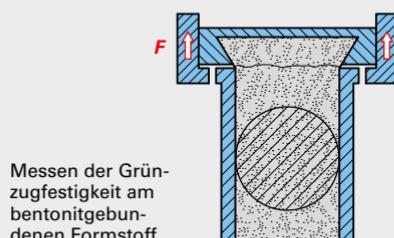
GG = Gleichmäßigkeitsgrad (%), Anteil Sand zwischen 3/4 – 2/3 MK, bezogen auf Sandgesamtmasse

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

Festigkeit: Zug, Scherung, Druck



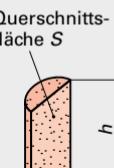
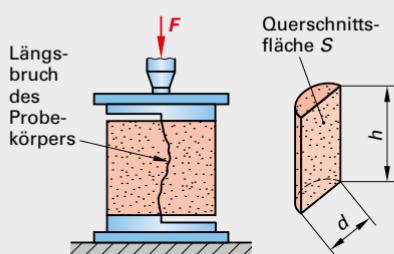
Messen der Grünzugfestigkeit am bentonitgebundenen Formstoff

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.

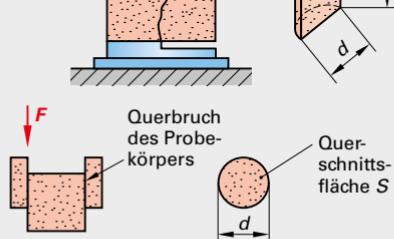
$$\sigma_z = \frac{F}{S}$$

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



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:

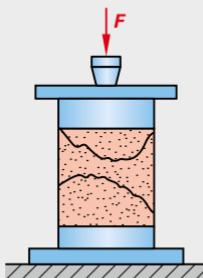
$$S_{\text{lang}} = d \cdot h$$

S bei liegender Probe:

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

Formstoffprüfungen

Festigkeit: Zug, Scherung, Druck

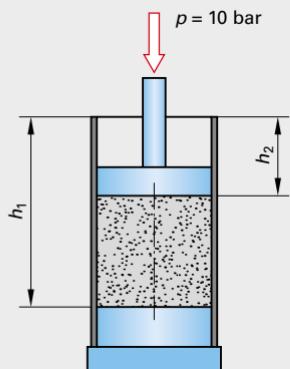


σ_D	Druckfestigkeit	N/cm^2
F	Prüfkraft bei Bruch	N
S	belastete Querschnittsfläche	cm^2

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

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

Verdichtbarkeit



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

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

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

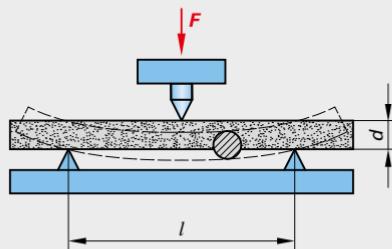
Beispiel

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

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

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

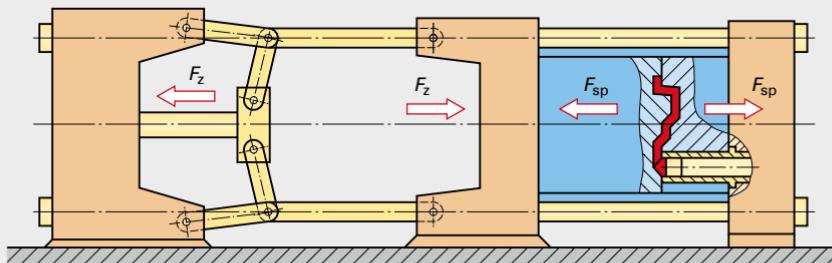
$$\sigma_B = \frac{M_b}{W_b}$$

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

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

Druckgießen

Zuhaltkraft der Druckgießmaschine



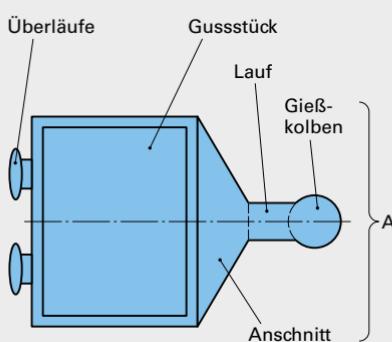
F_z	Zuhaltkraft	kN
F_s	Sprengkraft	kN
f	Sicherheitsfaktor gegen Öffnen der Gießform	-

$$F_z = F_s \cdot f$$

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

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

Sprengkraft



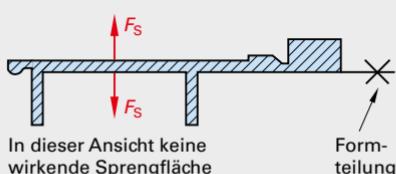
F_s	Sprengkraft auf Formhälften	kN
p_2	Gießdruck	bar
A_s	Gesamte Sprengfläche Gussstücks + Gießsystem	cm ²

Druckformel, allgemein:

$$F = p \cdot A$$

Sprengkraft (kN):

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



In dieser Ansicht keine wirkende Sprengfläche

Beispiel

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

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

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