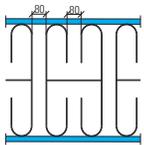
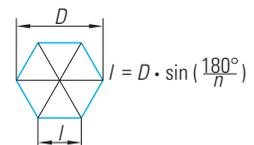
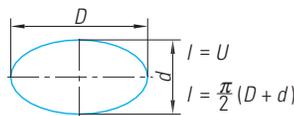
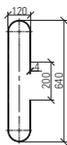


2 Längenberechnungen

2.1 Gestreckte Länge, Bogenlänge



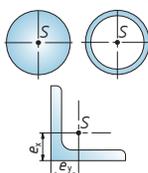
Der Flachstahl 25 x 4 muss für das Geländer auf Länge abgesägt und dann gebogen werden.



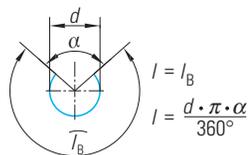
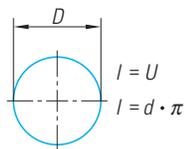
Es gilt: **Gestreckte Länge des Biegeteils**
 =
Länge der neutralen Faser
Die neutrale Zone liegt auf der Schwerpunktschse

Schwerpunktlagen

Die neutrale Faser liegt auf der rot markierten Symmetrielinie auch Schwerpunkt genannt. Die Lage der Schwerpunkte kann Tabellenbüchern entnommen werden.



Die Gesamtlänge wird in gerade und gebogene Teillängen zerlegt. Für die gebogenen Teilstücke können Formeln aus dem Tabellenbuch oder aus folgender Übersicht verwendet werden.



Gesamtlänge in berechenbare Teillängen zerlegen.

$$l = l_1 + 2 \cdot l_2 + 2 \cdot l_3$$

Berechnen der Teillängen

$$l_1 = 640 \text{ mm} - 2 \cdot 60 \text{ mm}$$

$$l_1 = 520 \text{ mm}$$

$$l_2 = \frac{640 \text{ mm} - 2 \cdot 60 \text{ mm} - 200 \text{ mm}}{2}$$

$$l_2 = 160 \text{ mm}$$

Durchmesser und Radien immer auf die Schwerpunktschse beziehen.

$$l_3 = \frac{d_m \cdot \pi}{2} \Rightarrow l_3 = \frac{116 \text{ mm} \cdot \pi}{2}$$

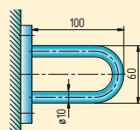
$$l_3 = 182,2 \text{ mm}$$

$$l = 520 \text{ mm} + 2 \cdot 160 \text{ mm} + 2 \cdot 182,2 \text{ mm} \Rightarrow$$

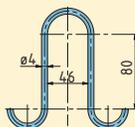
$$l = 1204,4 \text{ mm}$$

Übungen

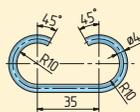
1. Wie groß ist die gestreckte Länge des Drahtes für den Haken?



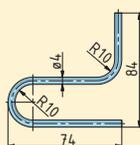
2. Berechnen Sie die benötigte Drahtlänge für die Klammer. Wie viele Klammern können aus 5 m Draht gefertigt werden?



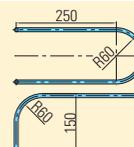
3. Wie viel Meter Draht benötigt man für 400 Stück der Ösen?



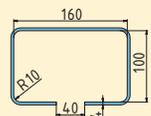
4. Wie viel Meter Draht werden für 30 Bügel benötigt, wenn der Sägeschnitt 3 mm breit ist?



5. Wie groß ist die gestreckte Länge des Bügels?



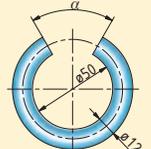
6. Wie lang ist der Blechstreifen?



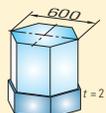
7. Wie lang ist das L-Profil 50 x 50 x 5 vor dem Biegen (EN10056-1)?



8. Wie groß ist der Öffnungswinkel, wenn 157 mm Draht gebogen werden?



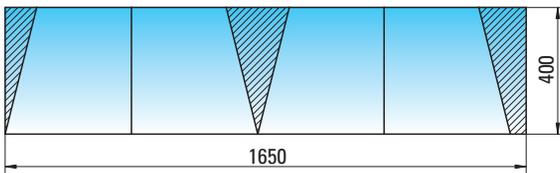
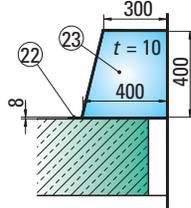
9. Die 6-Eck-Säule soll mit einem Blech als Prallschutz umkleidet werden. Wie lang muss der Blechstreifen sein?



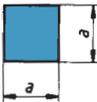
4 Flächenberechnung

4.1 Grundflächen

Von dem abgebildeten Knotenblech Pos. 23 werden 4 Stück benötigt. Diese lassen sich aus einer Blechtafel 400 mm x 1650 mm herauserschneiden. Wie groß ist der Verschnitt? (Schnittfugen werden nicht berücksichtigt)

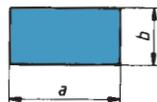


Quadrat



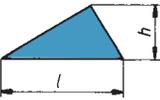
$$A = a^2$$

Rechteck



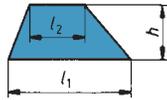
$$A = a \cdot b$$

Dreieck



$$A = \frac{l \cdot h}{2}$$

Trapez



$$A = \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot h$$

Kreis



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

Kreisring



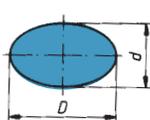
$$A = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4}$$

Kreisausschnitt



$$A = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}$$

Ellipse



$$A = \frac{\pi \cdot d \cdot D}{4}$$

Um den Verschnitt zu berechnen, muss zuerst die Fläche eines Knotenbleches bestimmt werden.

1. Weg: Bestimmen der Gesamtfläche durch Addition der Teilflächen.

$A = A_1 + A_2 \Rightarrow$ Gesamtfläche in berechenbare Teilflächen (hier Rechteck und Dreieck) gliedern.

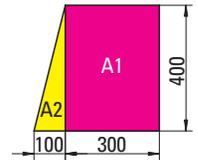
$$A_1 = a \cdot b$$

$$A_1 = 40 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} = 1200 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \frac{l \cdot h}{2}$$

$$A_2 = \frac{10 \text{ cm} \cdot 40 \text{ cm}}{2} = 200 \text{ cm}^2$$

$$A = 1200 \text{ cm}^2 + 200 \text{ cm}^2 = \underline{1400 \text{ cm}^2}$$



2. Weg: Bestimmen der Gesamtfläche durch Subtraktion von Teilflächen.

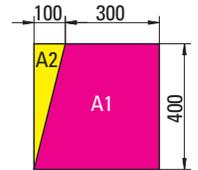
$$A = A_1 - A_2$$

$$A_1 = 40 \text{ cm} \cdot 40 \text{ cm} = 1600 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \frac{l \cdot h}{2}$$

$$A_2 = \frac{10 \text{ cm} \cdot 40 \text{ cm}}{2} = 200 \text{ cm}^2$$

$$A = 1600 \text{ cm}^2 - 200 \text{ cm}^2 = \underline{1400 \text{ cm}^2}$$



Berechnung des Verschnitts

Verschnitt $A_V =$ Ausgangsblechfläche A_{Blech}
 - Werkstückfläche A_{ges}

Ausgangsblechfläche

$$A_{\text{Blech}} = a \cdot b$$

$$A_{\text{Blech}} = 40 \text{ cm} \cdot 1650 \text{ cm}$$

$$A_{\text{Blech}} = 6600 \text{ cm}^2$$

Werkstückfläche

$$A_{\text{ges}} = 4 \cdot A$$

$$A_{\text{ges}} = 4 \cdot 1400 \text{ cm}^2$$

$$\underline{A_{\text{ges}} = 5600 \text{ cm}^2}$$

Verschnitt

$$A_V = 6600 \text{ cm}^2 - 5600 \text{ cm}^2$$

$$\underline{A_V = 1000 \text{ cm}^2}$$

Prozentualer Verschnitt bezogen auf

Ausgangsfläche

$$6600 \text{ cm}^2 = 100\%$$

$$1000 \text{ cm}^2 = \text{?}\%$$

$$1 \text{ cm}^2 = \frac{100\%}{6600 \text{ cm}^2}$$

$$1000 \text{ cm}^2 = \frac{100\% \cdot 1000 \text{ cm}^2}{6600 \text{ cm}^2}$$

$$1000 \text{ cm}^2 \approx \underline{15\%}$$

Werkstückfläche

$$5600 \text{ cm}^2 = 100\%$$

$$1000 \text{ cm}^2 = \text{?}\%$$

$$1 \text{ cm}^2 = \frac{100\%}{5600 \text{ cm}^2}$$

$$1000 \text{ cm}^2 = \frac{100\% \cdot 1000 \text{ cm}^2}{5600 \text{ cm}^2}$$

$$1000 \text{ cm}^2 \approx \underline{18\%}$$

Der Verschnitt beträgt 15 % bezogen auf die **Ausgangsfläche**.

Der Verschnitt beträgt 18 % bezogen auf die **Werkstückfläche**.

6 Masseberechnungen

Die Masseberechnung kann erfolgen mit:

Volumen und Dichte

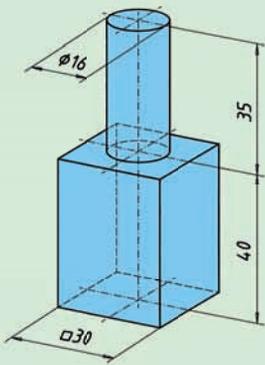
$$m = V \cdot \rho$$

Formelzeichen und Erklärung:

- m Masse in kg (g)
- V Volumen in dm^3 (cm^3)
- ρ Dichte in $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$) (Werte aus Tabellenbuch entnehmen)

Beispiel:

Lagerzapfen für Gartentore



Gesucht: m in kg

Gegeben: Maße nach Skizze; $\rho_{\text{Stahl}} = 7,85 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$; Menge 20 Stück

Lösung:

$$m = V \cdot \rho$$

$$V = V_{\text{Zylinder}} + V_{\text{Quader}}$$

$$V_{\text{Zylinder}} = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot h}{4}$$

$$V_{\text{Zylinder}} = \frac{16^2 \text{ mm}^2 \cdot \pi}{4 \cdot 35 \text{ mm}}$$

$$V_{\text{Zylinder}} = 7034 \text{ mm}^3 = 7,034 \text{ cm}^3 = 0,007034 \text{ dm}^3$$

$$V_{\text{Quader}} = l \cdot b \cdot h$$

$$V_{\text{Quader}} = 30 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm} \cdot 40 \text{ mm}$$

$$V_{\text{Quader}} = 36000 \text{ mm}^3 = 36 \text{ cm}^3 = 0,036 \text{ dm}^3$$

$$V = (0,007034 \text{ dm}^3 + 0,036 \text{ dm}^3) \cdot 20 =$$

$$V = 0,0861 \text{ dm}^3$$

$$m = 0,0861 \text{ dm}^3 \cdot 7,85 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

$$m = 6,7 \text{ kg}$$

Für **Stahl- und Metallbaukonstruktionen** ist die Massenberechnung nach **ATV** (Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen) DIN 18360 genormt.

Grundsätzlich gilt: Das Gewicht ist durch Wiegen festzustellen, wenn dies nicht möglich ist, dann gilt für die Berechnung folgendes:

- für Stahlband und Blech ist $m_A = 8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{mm}}$
- für Formstahl und Profile gilt das Handelsgewicht m_A in $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$ (siehe Tabellenbuch) ($m_A > m_L$)
- für übrige Profile gilt das DIN-Gewicht mit 2% Zuschlag für Walztoleranzen ($m_K = m_L \cdot 1,02$)
- für geschraubte, geschweißte Konstruktionen werden 2% Zuschlag berechnet ($m = m_K \cdot 1,02$)
- für verzinkte Konstruktionen werden 5% Zuschlag addiert ($m_{\text{ges}} = m \cdot 1,05$)

Die Masseberechnung kann erfolgen mit:

Profiltabellen

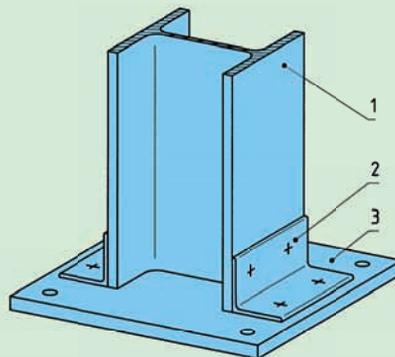
- a) für Profile und Rohre: $m = m_L \cdot L$
- b) für Bleche: $m = m_A \cdot A$

Formelzeichen und Erklärung:

- m Masse in kg
- m_L längenbezogene Masse in $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- L Länge des Profils in m
- m_A flächenbezogene Masse in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{mm}}$
- A Fläche des Bleches in m^2

Beispiel:

Stützenkonstruktion



3	1	Bl 20x400x400	DIN EN 10029
2	2	L 80x6-200	DIN EN 10056-1
1	1	HE-B 203-3750	DIN 1025
Pos.	Menge	Bemerkung / Werkstoff	Norm

Gesucht: m in kg

Gegeben: Halbzeuge nach Skizze,

m_L und m_A aus Tabellenbuch:

$$m_{L-1} = 61,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}}, m_{L-2} = \frac{7,34 \text{ kg}}{\text{m}},$$

$$\text{für 1 mm Blechtafel: } m_{A-3} = \frac{7,85 \text{ kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{mm}}$$

8 Mechanik

8.1 Kräfte, Drehmomente, mechanische Arbeit und Leistung

8.1.1 Kräfte haben verschiedene Wirkungen

a) Verformung von Bauteilen

Die Größe der Kraft und ihre Verformungswirkung sind direkt proportional voneinander abhängig: Verdoppelt sich z.B. die Kraft, so verdoppelt sich auch die Verformung (Bild 1).

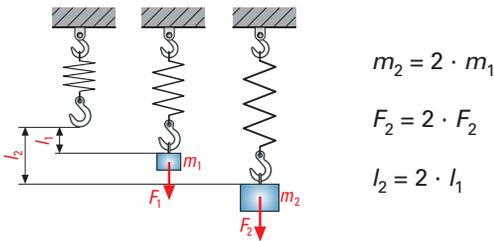


Bild 1 Kraftwirkung: Verformung von Bauteilen

b) Beschleunigung von Massen

Um eine Materialkiste auf fahrbaren Rollen anzuschieben, benötigt man Kraft. Die Größe der Kraft und ihre Beschleunigungswirkung ist direkt proportional voneinander abhängig:

Es ist umso mehr Kraft erforderlich,

- je größer die zu beschleunigende Masse m ist, oder
- je mehr ein Körper beschleunigt werden soll (Bild 2).



Bild 2 Kraftwirkung: Beschleunigung von Massen

Dieser Zusammenhang wird in folgender Beziehung widerspiegelt:

$$F = m \cdot a$$

Formelzeichen und Erklärung:

F	Kraft	in N (Newton)	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
m	Masse	in kg	
a	Beschleunigung	in $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	

Beispiel:

Ein Mitarbeiter beschleunigt eine Materialkiste auf Laufrollen mit einer Masse von 100 kg vom Stand aus in 2 Sekunden auf eine Geschwindigkeit von $v = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. (Die Reibung wird vernachlässigt.)

- Wie groß ist die Beschleunigung a in $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$?
- Welche Kraft ist dafür erforderlich?

Gesucht: a) a in $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 b) F in N

Gegeben: $m = 100 \text{ kg}$, $v = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $t = 5 \text{ s}$

Lösung: a) $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
 $a = \frac{0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \text{ s}} \Rightarrow a = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

b) $F = m \cdot a$
 $F = 100 \text{ kg} \cdot 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \Rightarrow F = 20 \text{ N}$

Die Beschleunigung a ist die Änderung der Geschwindigkeit Δv in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ innerhalb einer gewissen Zeitspanne Δt in s, also:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{in } \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Fall 1

$t_1 = 0 \text{ s}$ $t_2 = 4 \text{ s}$
 $v_1 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $v_2 = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 4 \text{ s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4 \text{ s}}$$

$$a = 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Fall 2

$t_1 = 0 \text{ s}$ $t_2 = 2 \text{ s}$
 $v_1 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $v_2 = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 2 \text{ s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \text{ s}}$$

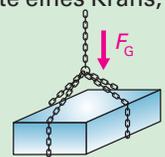
$$a = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Die Erdbeschleunigung g verursacht die Gewichtskraft F_G , die alle Körper nach unten fallen lässt. Sie wird mit $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ($\approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$) angenommen. Die Gewichtskraft F_G wird berechnet:

$$F_G = m \cdot g$$

Beispiel:

Welche Zugkraft wirkt in der Stahlkette eines Krans, der eine Masse von 0,8 t hebt?



Formelzeichen und Erklärung:

F_G	Gewichtskraft	in N
g	Erdbeschleunigung	$= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
m	Masse	in kg

Gesucht: F_{Kette} in N

Gegeben: $m = 0,8 \text{ t} \Rightarrow$
 $m = 800 \text{ kg};$
 $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

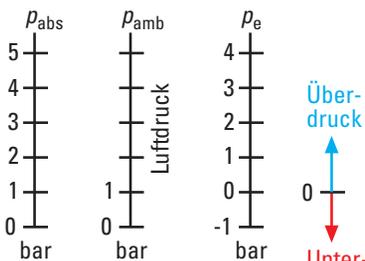
Lösung: $F_{\text{Kette}} = F_G = m \cdot g \Rightarrow$
 $F_G = 800 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $F_G = 7848 \text{ N}$

10.2.2 Luftdruck und effektiver Druck

Abhängig von der Ortshöhe herrscht ein bestimmter Luftdruck (Atmosphärendruck) p_{amb} . Auf Meereshöhe beträgt er ca. 1013 mbar (= 1,013 bar ≈ 1 bar). Je höher der Messort liegt, desto niedriger ist auch Luftdruck.

Die Druckanzeige (Manometeranzeige) in pneumatischen Anlagen misst aber nur den effektiven Druck p_e . Der absolute Druck p_{abs} ergibt sich aus der Summe der beiden:

$$p_{abs} = p_{amb} + p_e$$



$p_{abs} > p_{amb} \rightarrow$ Überdruck
 $p_{abs} < p_{amb} \rightarrow$ Unterdruck

Beispiel:

Gesucht: absoluter Druck p_{amb} im Kessel?

Gegeben: Druckkessel mit Manometeranzeige von $p_e = 7,5$ bar, atmosphärischer Luftdruck $p_{amb} = 1040$ mbar.

Lösung: $p_{abs} = p_{amb} + p_e \Rightarrow$
 $p_{abs} = 1,040 \text{ bar} + 7,5 \text{ bar}$
 $p_{abs} = 8,540 \text{ bar}$

Übungen

Ergänzen Sie die fehlenden Werte der Tabelle:

p_{abs}	p_{amb}	p_e
? bar	987 mbar	5,23 bar
4,53	? mbar	3,464 bar
8,45 bar	1013 mbar	? bar
6453 mbar	1015 mbar	? $\frac{N}{cm^2}$
? $\frac{N}{cm^2}$	995 mbar	78,5 $\frac{N}{cm^2}$

10.3 Luftverbrauch und Kolbengeschwindigkeit

10.3.1 Luftverbrauch in pneumatischen Anlagen

Umgebungsluft mit einem Druck von $p_{amb} \approx 1$ bar wird vom Verdichter angesaugt und auf den Arbeitsdruck p_e komprimiert. Das für einen Zylinderhub benötigte Volumen an Umgebungsluft V_{amb} hängt ab von dem:

- Volumen des Zylinders V ($V = A \cdot s$)
- Arbeitsdruck p_e
- Umgebungsluftdruck p_{amb}

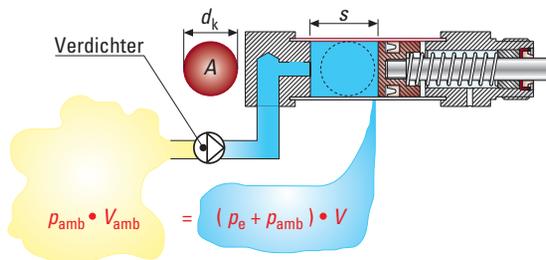


Bild 1 Ansaugvolumen – einfachwirkender Zylinder

$$p_{amb} \cdot V_{amb} = (p_e + p_{amb}) \cdot V$$

$$V_{amb} = \frac{(p_e + p_{amb})}{p_{amb}} \cdot V$$

$$V_{amb} = \frac{(p_e + p_{amb})}{p_{amb}} \cdot (A \cdot s)$$

Bei einer Hubzahl n in $\frac{1}{min}$ errechnet sich der Luftbedarf \dot{Q}_{amb} in $\frac{l}{min}$ wie folgt:

$$\dot{Q}_{amb} = \frac{(p_e + p_{amb})}{p_{amb}} \cdot (A \cdot s) \cdot n$$

Formelzeichen und Erklärung:

- p_{amb} Umgebungsluftdruck in bar
- V_{amb} Volumen an Umgebungsluft in l (dm^3)
- p_e Arbeitsdruck in bar
- V Volumen des Zylinders in l (dm^3)
- A Kolbenfläche des Zylinders in dm^2
- s Kolbenhub in dm
- \dot{Q}_{amb} Luftbedarf in $\frac{l}{min}$
- n Hubzahl in $\frac{1}{min}$

Beispiel:

Einfachwirkender Zylinder

Gesucht: Luftverbrauch pro Hub V_{amb} in l
 Luftbedarf \dot{Q} in l/min

Gegeben: Kolbendurchmesser $d_k = 40$ mm;
 Hub $s = 100$ mm; Hubzahl $n = \frac{60}{min}$,
 Arbeitsdruck $p_e = 6$ bar,
 Umgebungsluftdruck $p_{amb} = 1$ bar

11.4 Eingesetzte Schweißgutmengen

Wichtig für die Vorkalkulation der Kosten für Schweißarbeiten ist die abgeschmolzene Schweißgutmenge. Damit lassen sich Elektrodenverbrauch (siehe Kap. 11.5 ff., Kosten für Gasverbrauch und Material- sowie Lohnkosten) abschätzen.

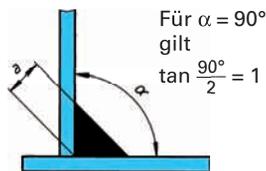
Die Schweißgutmenge kann entweder über die Formel der Massenberechnung (Weg 1) oder mithilfe von Tabellen (Weg 2) berechnet werden.

Schweißgutmenge

$$m_0 = A \cdot l \cdot \rho$$

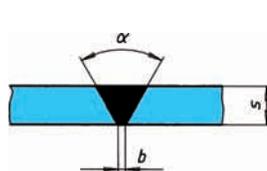
Schweißnahtquerschnitt

Kehlnaht



$$A = a^2 \cdot \tan \frac{\alpha}{2}$$

V-Naht



$$A = s \cdot b + s^2 \cdot \tan \frac{\alpha}{2}$$

Weg 1

Berechnung der Schweißgutmenge über die Formel für die **Massenberechnung**:

$$m_0 = A \cdot l \cdot \rho$$

Formelzeichen und Erklärung:

- m_0 Schweißgutmenge in g
- A Schweißnahtquerschnitt in cm^2
- l Schweißnahtlänge in mm
- ρ Dichte in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Für **Nahtüberhöhungen** werden **Zuschläge** berücksichtigt. Sie werden Tabellen entnommen (vgl. Tabellenbuch) und richten sich nach Nahtdicke und Spaltbreite.

$$m_{\%} = m_0 \cdot x$$

Formelzeichen und Erklärung:

- x Zuschlag in %

Die **gesamte Schweißgutmenge** m ist die Summe der beiden Teilmengen m_0 und $m_{\%}$:

$$m = m_0 + m_{\%}$$

$$m = m_0 + m_0 \cdot x$$

$$m = m_0 \cdot (1 + x)$$

Die **Schweißnahtlänge** l ist der technischen Zeichnung zu entnehmen; die **Dichte** wird aus Tabellen ermittelt, z. B. $\rho_{\text{Stahl}} = 7,85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Beispiel:

Gesucht: Schweißgutmenge m in g für Doppelkehlnaht Pos. 3 an Pos. 1 für ein Rippenblech (vgl. Seite 55)

Gegeben: $l = 560 \text{ mm}$

Doppelkehlnaht $a = 5 \text{ mm}$, $\rho = 7,85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Zuschlag für $b = 1 \text{ mm}$ Nahtüberhöhung: 26,8%

$\alpha = 90^\circ$

Lösung: $m = m_0 \cdot (1 + x)$

$$m_0 = A \cdot l \cdot \rho$$

$$A = a^2 \cdot \tan \frac{\alpha}{2}$$

$$A = 5 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} \cdot 1$$

$$A = 25 \text{ mm}^2$$

$$A = 0,25 \text{ cm}^2$$

$$m_0 = 0,25 \text{ cm}^2 \cdot (2 \cdot 560 \text{ cm}) \cdot 7,85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$m_0 = 220 \text{ g}$$

$$m = m_0 \cdot (1 + x)$$

$$m = 220 \text{ g} \cdot \left(1 + \frac{26,8}{100}\right)$$

$$m = 220 \text{ g} \cdot 1,268$$

$$m = 278 \text{ g}$$

Weg 2

Für die häufig verwendeten Kehl- und V-Nähte lassen sich die Schweißgutmengen pro Meter direkt aus Tabellen ablesen (siehe Tabellenbuch).

Es gilt:

$$m = l \cdot m_T$$

Formelzeichen und Erklärung:

m Schweißgutmenge in g

l Nahtlänge in m

m_T längenbezogene Schweißgutmenge in $\frac{\text{g}}{\text{m}}$

Beispiel:

Gesucht: Schweißgutmenge m in g für Doppelkehlnaht Pos. 3 an Pos. 1 für 1 Rippenblech (vgl. Seite 55)

Gegeben: $l = 560 \text{ mm}$

Doppelkehlnaht $a = 5 \text{ mm}$

Nahtüberhöhung $b = 1 \text{ mm}$

$m_T = 249 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ (aus Tabelle)

Lösung: $m = l \cdot m_T$

$$m = 2 \cdot 0,56 \text{ m} \cdot 249 \frac{\text{g}}{\text{m}}$$

$$m = 294 \text{ g}$$

13 Statische Berechnungen an Metallbau-Konstruktionen

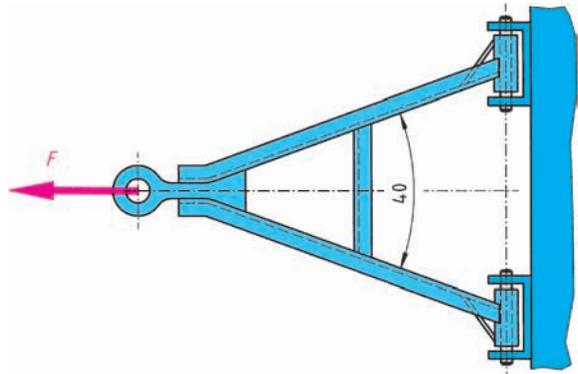
13.1 Kräfte an Konstruktionen

13.1.1 Darstellung von Kräften

Auf die Zuggabel (vergl. nebenstehendes Bild) wirken im Fahrbetrieb Kräfte. Die verwendeten Profile werden u.a. nach der Größe der Kraft bestimmt. Daher müssen Größe und Richtung der Kraft bekannt sein. Da Kräfte nicht sichtbar sind, werden sie zeichnerisch durch Kraftpfeile (Vektoren) dargestellt.

Die Kraft wird bestimmt durch Richtung, Betrag und Angriffspunkt. Kräfte sind auf ihrer Wirkungslinie verschiebbar.

Jede Kraft verursacht eine Gegenkraft. Beide Kräfte sind gleich groß, die Kraftrichtung ist entgegengesetzt.



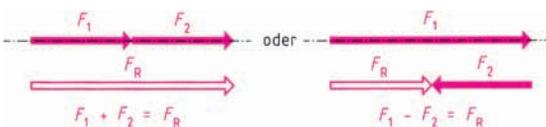
Beispiel:

Die Zugkraft $F = 60 \text{ kN}$ an der Zugöse ist zeichnerisch darzustellen.



Kräftemaßstab KM: $1 \text{ cm} \triangleq 10 \text{ kN}$

Wirken mehrere Kräfte auf einer Wirkungslinie, können sie durch eine Ersatzkraft F_R (resultierende Kraft) dargestellt werden.



13.1.2 Kräfte auf verschiedenen Wirkungslinien

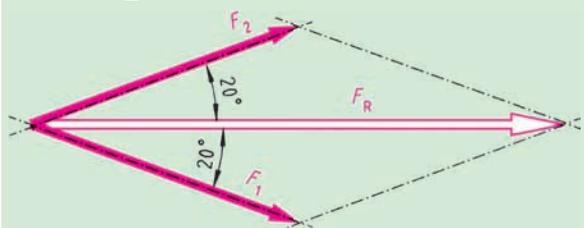
Nach der Zugöse teilt sich die Zuggabel. Der Öffnungswinkel beträgt 40° .

Gesucht: Wie groß sind die Kräfte in den Streben?

Jede Kraft F_R lässt sich in **Teilkkräfte** F_1 und F_2 zerlegen, wenn aus der resultierenden Kraft und den Wirkungslinien der Teilkkräfte ein Kräfteparallelogramm gebildet werden kann.

Lösung:

KM: $6 \text{ cm} \triangleq 60 \text{ kN}$



Die Kräfte an den Streben sind: $F_1 = F_2 = 32 \text{ kN}$

Formelzeichen und Erklärung:

1. Vereinfachtes Verfahren nach Euler

Es gilt eigentlich nur für Rundrohre, wird aber zum einfachen Knicknachweis für Profile benutzt.

- F_k Knickkraft in N, kN entspricht $F_{k,zul}$
- σ_d Druckspannung in $\frac{N}{mm^2}, \frac{kN}{cm^2}$
- $\sigma_{d,zul}$ zulässige Druckkraft in Abhängigkeit vom Schlankheitsgrad λ (aus Bild 2)
- E Elastizitätsmodul des Werkstoffs in $\frac{N}{mm^2}$
- I Flächenmoment 2. Grades in mm^4, cm^4
- s_k freie Knicklänge in mm, m
- β_k Knicklängenbeiwert
- λ Schlankheitsgrad (im Stahlhochbau < 105)
- i Trägheitsradius in mm, cm
- A, S Querschnittsfläche in mm^2, cm^2

Es gilt:

1. Vereinfachtes Verfahren

$$F_k = \frac{\pi \cdot E \cdot I}{s_k^2}$$

$$s_k = \beta_k \cdot l \quad \lambda = \frac{s_k}{i} \quad i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Beispiel: Eine Pendelstütze aus IPB 140 S235 mit $l = 2,50$ m wird mit der Kraft $F = 100$ kN mittig ständig auf Druck beansprucht (Bild 2).

Lösung mit vereinfachtem Verfahren

Berechnet werden Schlankheitsgrad und Knickkraft und mit den zulässigen Werten verglichen.

Gesucht: F_k in kN

Gegeben: Pendelstütze nach Bild 3, IPB 140:
 $A = 43 \text{ cm}^2, I_z = 550 \text{ cm}^4$ (aus Tabellenbuch, schwache Achse z - z)

Lösung:

$$\lambda = \frac{s_k}{i}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$i = \sqrt{\frac{550 \text{ cm}^4}{78,1 \text{ cm}^2}}$$

$$i = 2,65 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{s_k}{i}$$

$$\lambda = \frac{250 \text{ cm}}{2,65 \text{ cm}}$$

$$\lambda = 94$$

$$F_k = \frac{\pi \cdot E \cdot I}{s_k^2} \quad (E = 21000 \frac{kN}{cm^2} \text{ aus Tabellenbuch})$$

$$F_k = \frac{\pi \cdot 21000 \frac{kN}{cm^2} \cdot 550 \text{ cm}^4}{250^2 \text{ cm}^2}$$

$$F_k = 580 \text{ kN}$$

Die Stütze ist knicksicher, denn der Schlankheitsgrad ist $\lambda < 105$ und sie dürfte mit 580 kN belastet werden.

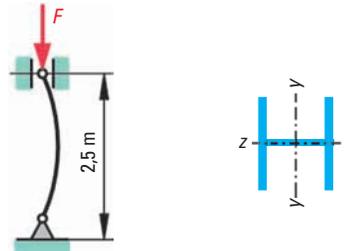


Bild 2 Pendelstütze

2. Lösung mit Diagrammverfahren

Berechnet werden Schlankheitsgrad und Druckspannung und mit dem zulässigen Wert der Druckspannung aus Bild 3 verglichen.

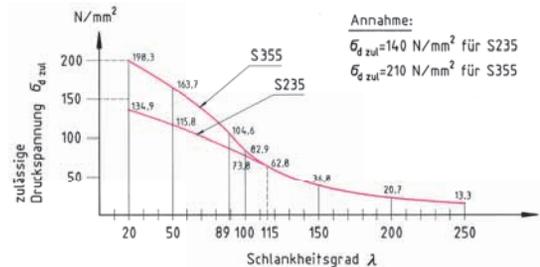


Bild 3 Diagramm zur Bestimmung von $\sigma_{d,zul}$

Es gilt:

2. Verfahren $\sigma_{d,zul}$

$$\sigma_d = \frac{F}{A} \quad \sigma_{d,zul} < \text{Diagrammwert aus Bild 3}$$

Gesucht: Druckspannung

Gegeben: Pendelstütze aus Bild 3 IPB 140:
 $A = 43 \text{ cm}^2, I_z = 550 \text{ cm}^4$
 (aus Tabellenbuch, schwache Achse z-z)

Lösung:

$$\lambda = \frac{s_k}{i}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$i = \sqrt{\frac{550 \text{ cm}^4}{78,1 \text{ cm}^2}}$$

$$i = 2,65 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{s_k}{i}$$

$$\lambda = \frac{250 \text{ cm}}{2,65 \text{ cm}}$$

$$\lambda = 94$$

$$\sigma_d = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_d = \frac{100 \text{ kN}}{43 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_d = 2,32 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_d = 23,3 \frac{N}{mm^2}$$

Nach Bild 3 ist für $\lambda = 94$ die zulässige Druckspannung $\sigma_{d,zul} \approx 75 \frac{N}{mm^2}$. Die Stütze ist mit der vorhandenen Spannung $\sigma_d = 23,3 \frac{N}{mm^2}$ knicksicher.

14.3 Geländerstatik

Metallbaukonstruktionen leiten die auf sie wirkenden Lasten in ein Tragwerk ein, z. B. ein Geländer die darauf wirkenden Lasten in eine Balkonplatte, oder eine Fassade die Windlasten in die Gebäude-scheiben.

Ziel der statischen Berechnungen an Geländern ist die Auswahl eines geeigneten Profils für Pfosten und Handlauf nach Art und Größe.

Eine Geländerstatik läuft in mehreren Schritten ab:

1. Daten zur Bausache sammeln

- Pfostenbefestigung oben, vorne, unten
- Anpralllast bestimmen: Privatgebäude aus $F'_h = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$, öffentl. Gebäude aus $F'_h = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- Auflehnlast: aus $F'_v = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- Windlast F_w (nach Windlastzone und Gebäudehöhe)
- Zusatzlasten z. B. aus Blumenkästen: aus $F'_z = 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- Gewichtskraft F_G (abhängig von der Konstruktion)
- Maße

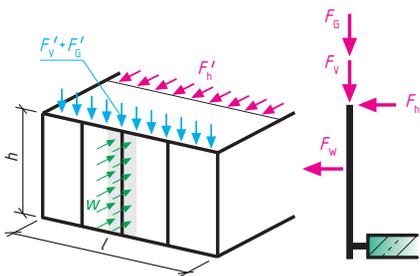


Bild 1 Balkongeländer

2. Wirkende Kräfte auf einen Mittelpfosten

- Anpralllast: $F_h = F'_h \cdot t$
- Auflehnlast: $F_v = F'_v \cdot t$
- Zusatzlast: $F_z = F'_z \cdot t$
- Gewichtskraft: $F_G = F'_G \cdot t$
- Windlast: $F_w = w \cdot h_F \cdot \gamma \cdot t$

Formelzeichen und Erklärung:

- F_h Anpralllast in kN
- F_v Auflehnlast in kN
- F_z Zusatzlast in kN
- F_G Gewichtskraft in kN
- F_w Windlast in kN
- w Windlast in $\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
- F'_h Streckenlast Anprallen in kN
- F'_v Streckenlast Auflehnen in kN
- F'_z Streckenlast: Zusatzlast in kN
- F'_G Streckenlast: Eigengewicht

- h_F Höhe der Balkonfüllung in m
- γ Faktor für die Art der Füllung (1,0, 0,50, 0,25)
- l Länge des Balkons in m
- n Anzahl der Pfosten
- a Abstand Platte – Pfosten in m
- t Pfostenteilung (= Anzahl der Felder)

1. Die wirksamen Lasten werden um den Faktor $\gamma_F = 1,35$ erhöht, die Beanspruchbarkeit des Pfostenwerkstoff wird um den Faktor $\gamma_M = 1,1$ gemindert.
2. Es wird mit halber Windlast und voller Anpralllast oder voller Anpralllast und halber Windlast gerechnet.
3. In Innenräumen entfällt die Windlast.

3. Wirksames Moment M_{ges} am Pfosten berechnen

Drehpunkt ist die Pfostenbefestigung
Wichtig: Bei der Pfostenbefestigung
- auf der Balkonplatte entfallen M_v und M_G
- unter der Balkonplatte werden die Abstände wirkende Kraft – Drehpunkt teilweise größer.

$$M_{ges} = M_h + M_v + M_z + M_G + M_w$$

Die Momente M werden wie die wirksamen Kräfte bezeichnet. $M = \text{Kraft} \cdot \text{Abstand}$: Kraft – Drehpunkt

$$M_{ges} = (F_v \cdot a) + (F_z \cdot a_z) + (F_G \cdot a) + (F_w \cdot h_w)$$

oder:

$$M_{ges} = (F_h \cdot h_h) + (F_v \cdot a) + (F_z \cdot a_z) + (F_G \cdot a)$$

Maße für die Hebelarme h_h, a, a_z, h_w siehe Bild 2

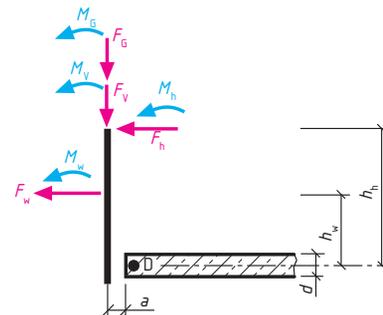


Bild 2 Momente an einem Pfosten

4. Moment M_{ges} um den Faktor γ_F erhöhen

$$M = M_{ges} \cdot 1,35$$

5. Widerstandsmoment W_{min} für das Pfostenprofil berechnen

$$W_{min} = \frac{M}{\sigma_{zul}} \quad \sigma_{zul} = \frac{R_e}{\gamma_M}$$

Für Baustahl gilt: $R_e = 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

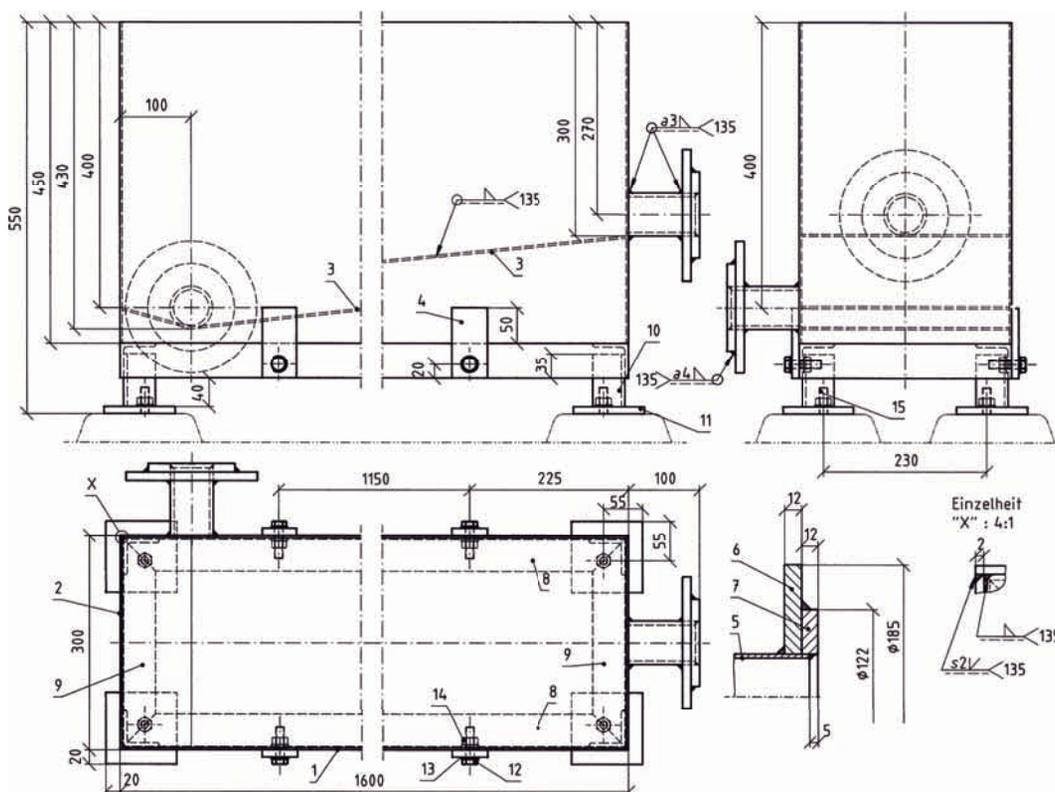
$$\sigma_{zul} = \frac{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,1} \quad \sigma_{zul} = 217 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

19.3 Auffangkasten

Der Auffangkasten aus 3 mm Stahlblech, verzinkt, dient zum Sammeln von Leckage beim Abfüllen von Farben. Durch den schräg eingeschweißten Boden ist eine vollkommene Entleerung möglich. Der Kasten ruht auf einem Gestell aus Winkelprofil und ist über eingeschweißte Laschen mit dem Ge-

stell verschraubt. Es wird gleichmäßige Gewichtsverteilung angenommen. Der Behälter ist voll ($\rho_{\text{Farbe}} = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$).

Es sollen die für Konstruktion und Fertigung wichtigen Berechnungen durchgeführt werden.



- Wie groß ist der Zuschnitt für das Bodenblech Pos. 3?
- Bestimmen Sie die Zuschnittlängen der Profile und Zuschnitte für die Blechformteile und erstellen Sie eine Zuschnittliste für die Werkstatt.
- Entnehmen Sie aus Tabellen für die Profile und Bleche die Massen m in $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$ bzw. m' in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$.
- Berechnen Sie die Masse m des Behälters in kg. (ohne Flansche; Zuschlag für Nähte, Schrauben etc. 5 %)
- Welches Fassungsvermögen V in l hat der Behälter?
- Berechnen Sie die Gesamtlänge L in m der Kehlnähte am Einlaufflansch und -stutzen.
- Wie viele Elektroden $d = 3,25 \text{ mm}$ werden dafür gebraucht?
- Wie groß sind die Druckkraft F in N und die Druckspannung σ_d in $\frac{N}{\text{mm}^2}$ in einem Fuß (Pos. 10)?
- Wie viele Meter Kehlnähte fallen beim Einschweißen des Bodens an?
- Wie lang sind jeweils die Brennschnitte zum Herstellen der Flansche des Einlaufstutzens aus BI 12?
- Welche Flächenpressungen p in $\frac{N}{\text{mm}^2}$ wirken zwischen Pos. 10 und Pos. 11 sowie zwischen Pos. 11 und Fundament?
- Welche Drehfrequenz n in min^{-1} ist fachgerecht für das Bohren der Durchgangslöcher in Pos. 11 einzustellen?
- Zur Erhöhung der Stabilität erhält die obere Behälterkante eine Randversteifung aus Rd 8. Berechnen Sie die Zuschnittlängen und die Masse m in kg des dafür notwendigen Rundstahls.
- Der Behälter soll nur innen beschichtet werden. Wie groß ist die gesamte Beschichtungsfläche A in m^2 ?
- Wie hoch sind die Kosten K in € für die Entsorgung der Lackreste, wenn der Behälter achtmal jährlich entleert wird und für 1 m^3 Farbreste 225 € in Rechnung gestellt werden?