3 Rechtwinklige Dreiecke

3.1 Der Lehrsatz des Pythagoras

Gerüste erhalten Diagonalstreben zur Erhöhung der Steifigkeit. Wie groß muss der Bohrungsabstand in der Diagonalstrebe sein, wenn die Systemmaße des Gerüstes $l_1 = 2{,}5$ m und $l_2 = 2$ m betragen?

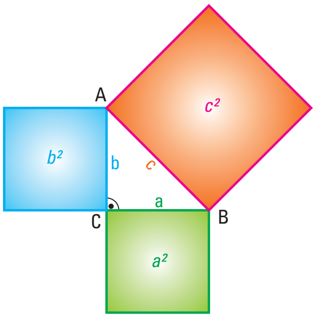
Diese Berechnung ist mit der Bestimmungsgleichung für **rechtwinklige Dreiecke** möglich. Diese Bestimmungsgleichung heißt:

Lehrsatz des Pythagoras

Es gilt:

Die Summe der Quadrate über den beiden Katheten ist gleich dem Quadrat über der Hypotenuse.

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad \text{und damit} \quad l_1^2 + l_2^2 = l_3^2$$



Der Bohrungsabstand berechnet sich wie folgt:

Gesucht: Hypotenuse l_3 in mm

Gegeben: Katheten $l_1 = 2{,}5$ m und $l_2 = 2$ m

$$l_3 = \sqrt{l_1^2 + l_2^2}$$

$$l_3 = \sqrt{(2{,}5\text{ m})^2 + (2\text{ m})^2}$$

$$l_3 = \sqrt{6{,}25\text{ m}^2 + 4\text{ m}^2}$$

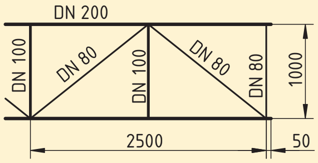
$$l_3 = \sqrt{10{,}25\text{ m}^2}$$

$$\underline{l_3 \approx 3{,}2\text{ m}}$$

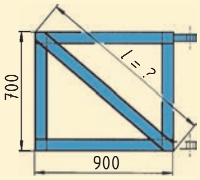
Der Bohrungsabstand muss 3,2 m betragen.

Übungen

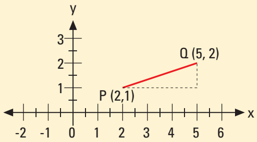
1. Wie lang sind die Streben aus DN 80?



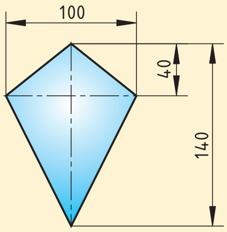
2. Wie lang ist die Diagonalstrebe?



3. Auf einer Brennschneidmaschine werden nach Zeichnung Koordinaten für den Anfang und das Ende des Brennweges eingegeben. Berechnen Sie den Verfahrweg! (Angaben in dm)

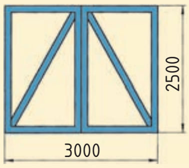


4. Berechnen Sie den Brennschnittweg für das Drachenviereck in mm.

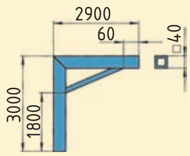


5. Bestimmen Sie in den Skizzen a, b und c die erkennbaren rechtwinkligen Dreiecke. Bestimmen Sie die Seitenlängen (Außenmaße verwenden).

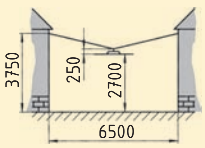
a)



b)

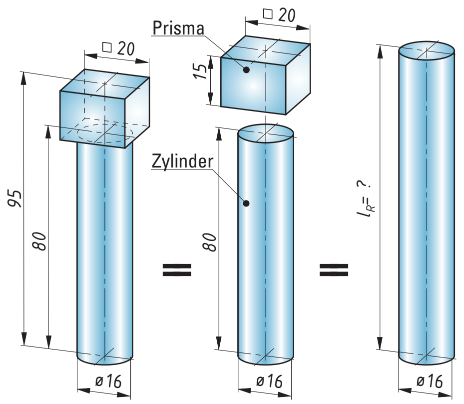


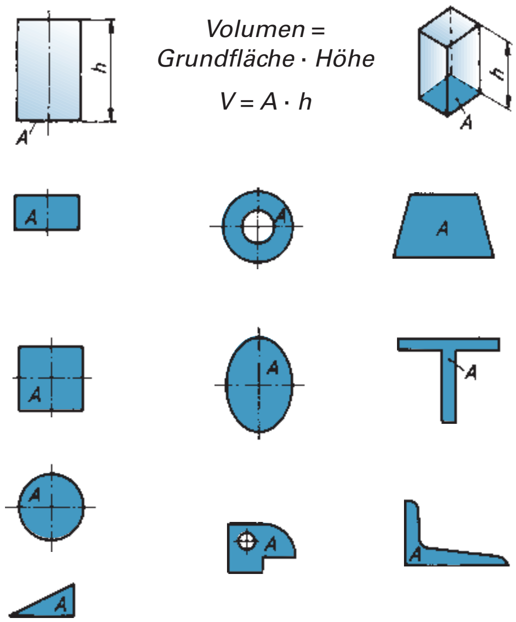
c)



5 Volumenberechnungen

5.1 Einfache Körper





Der Bolzen wird aus einem Rundstahl mit 16 mm Durchmesser geschmiedet. Welche Länge l_R muss der Rohling haben, wenn

Volumen des Rohlings = Volumen des Werkstückes?

$V_{Rohling} = V_{Werkstück}$

$V_{Rohling} = V_{Zylinder} + V_{Prisma}$ ⇒ Schmiedeteile in berechenbare Einzelvolumen zerlegen.

$V_{Prisma} = a^2 \cdot h$ ⇒ Volumenberechnungen mithilfe obenstehender Formeln oder dem Tabellenbuch.

$V_{Prisma} = 2^2 \cdot 1{,}5\ \text{cm}$

Einzelvolumen mit den gegebenen Maßen berechnen.

$V_{Prisma} = 6\ \text{cm}^3$

Hinweis:
Sinnvolle, d. h. überschaubare Einheiten wählen, im vorliegenden Beispiel cm bzw. cm^3.

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

$$V_{Zylinder} = \frac{1{,}6^2\ \text{cm}^2 \cdot \pi}{4} \cdot 8\ \text{cm}$$

$$\underline{\underline{V_{Zylinder} = 16{,}08\ \text{cm}^3}}$$

$V_{Werkstück} = 6\ \text{cm}^3 + 16{,}08\ \text{cm}^3$ ⇒ Addition der Einzelvolumen

$$\underline{\underline{V_{Werkstück} = 22{,}08\ \text{cm}^3}}$$

$V_{Rohling} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot l_{Rohling}$ ⇒ Grundformel für die zylindrische Rohlingsform Tabellen entnehmen und nach der gesuchten Größe umstellen.

$$l_{Rohling} = \frac{4 \cdot V_{Rohling}}{d^2 \cdot \pi}$$

In der Praxis wird der Stahlstab nicht auf das genaue Maß abgelängt, sondern in diesem Fall erfolgt eine Zugabe von 5 mm, um mit Sicherheit den Kopf formen zu können. Der Stab wird auf 115 mm abgesägt.

$$l_{Rohling} = \frac{4 \cdot 22{,}08\ \text{cm}^3}{1{,}6^2\ \text{cm}^2 \cdot \pi}$$

$$\underline{\underline{l_{Rohling} = 10{,}98\ \text{cm} = 109{,}8\ \text{mm}}}$$

Volumenberechnungen sind ein Zwischenschritt zur Masseberechnung

7 Spanende Bearbeitung

7.1 Bewegungslehre

Geradlinige Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit hängt ab von

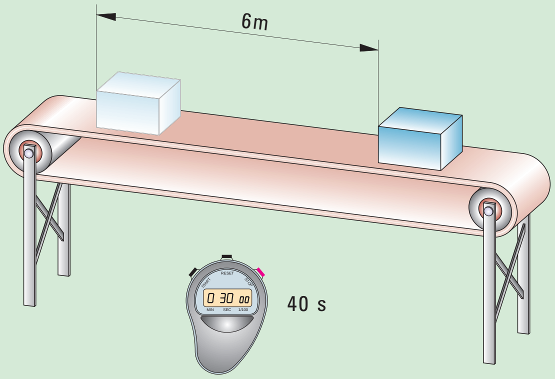
- dem zurückgelegten Weg s und
- der dafür benötigten Zeit t

Es gilt:

$$v = \frac{s}{t}$$

Formelzeichen und Erklärung:

v	Geschwindigkeit in	$\frac{m}{s}$	$\frac{m}{min}$	$\frac{mm}{min}$
s	Weg in	m	m	mm
t	Zeit in	s	min	min



Beispiel:
Für einen störungsfreien Fertigungsablauf muss ein Transportband einer Bearbeitungsmaschine innerhalb von 40 Sekunden Werkstücke auf einer Wegstrecke von 6 m zuführen. Welche Geschwindigkeit benötigt das Transportband in $\frac{m}{s}$ und $\frac{m}{min}$?

Gesucht: v in $\frac{m}{s}$

Gegeben: $s = 6$ m,
$t = 40$ s

Lösung: $v = \frac{s}{t}$

$$v = \frac{6\ m}{40\ s}$$

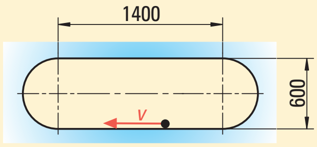
$$\underline{\underline{v = 0{,}15\ \frac{m}{s}}}$$

$$v = 0{,}15\ \frac{m}{s} \cdot 60\ \frac{s}{min}$$

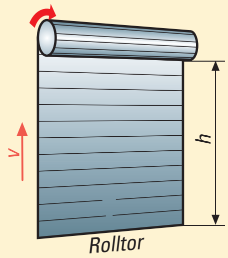
$$\underline{\underline{v = 9\ \frac{m}{min}}}$$

Übungen

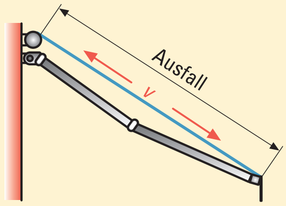
1. Mit welcher Geschwindigkeit muss das Förderband laufen, wenn die Zeit auf 30 Sekunden verkürzt wird?
2. Ein Hallenkran bewegt eine Last innerhalb von 3 Minuten von einer Seite zur anderen. Der Verfahrweg beträgt dabei 45 Meter. Mit welcher Geschwindigkeit in $\frac{m}{s}$ fährt der Kran?
3. Das Mannloch eines Schottes wird aus einer Blechtafel durch Brennschneiden ausgebrannt. Der Schneidbrenner fährt mit 600 $\frac{mm}{min}$. Welche Zeit wird dafür benötigt?



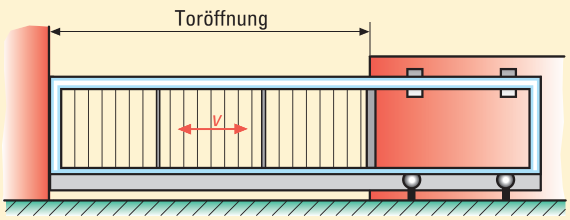
4. Ein Rolltor fährt mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von $v = 2{,}2\ \frac{m}{min}$ hoch. Wie lange benötigt das Tor, um die Durchfahrtshöhe h von 3,5 m völlig freizugeben?



5. Eine Scherenarmmarkise mit einem Ausfall von 3,5 m wird automatisch mit einem Rohrmotor angetrieben. Die Ausfahrgeschwindigkeit beträgt $v = 5\ \frac{cm}{s}$.
   a) Berechnen Sie die dafür benötigte Zeit in Minuten.
   b) Wie groß ist die Einfahrgeschwindigkeit der Markise, wenn sie dafür 10 Sekunden länger braucht?



6. Ein Schiebetor bewegt sich mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von $v = 10\ \frac{m}{min}$ und benötigt für das Öffnen bzw. Schließen 25 Sekunden. Wie breit ist die Toröffnung?



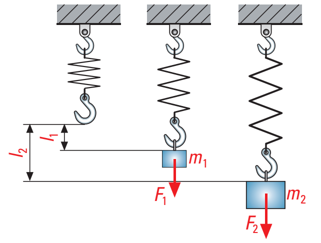
8 Mechanik

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).



$m_2 = 2 \cdot m_1$

$F_2 = 2 \cdot F_2$

$l_2 = 2 \cdot l_1$

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 widergespiegelt:

$F = m \cdot a$

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.)

a) Wie groß ist die Beschleunigung *a* in $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$?
b) 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) $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

$$a = \frac{0{,}4\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2\ s} \Rightarrow \underline{\underline{a = 0{,}2\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

b) $F = m \cdot a$

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

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

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

Fall 1		**Fall 2**	
$t_1 = 0\ \text{s}$	$t_2 = 4\ \text{s}$	$t_1 = 0\ \text{s}$	$t_2 = 2\ \text{s}$
$v_1 = 0\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$v_2 = 0{,}4\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$v_1 = 0\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$v_2 = 0{,}4\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Fall 1:

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

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

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

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

Fall 2:

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

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

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

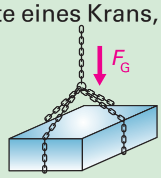
$a = 0{,}2\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

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

10 Hydraulik und Pneumatik

10.1 Druck und Druckausbreitung

Hebezeuge, Spanneinrichtungen und Förderanlagen benutzen als Kraftübertragungsmittel oft Drucköl (hydraulische Anlagen) oder Druckluft (pneumatische Anlagen).

10.1.1 Zusammenhang zwischen Druck und Kraft

Wirkt auf Luft oder Flüssigkeit in einem Behälter eine konstante Kraft, so entsteht Druck, der umso größer ist, je kleiner die Fläche ist. ($p = \frac{F}{A}$)
Wirkt auf einen Kolben Druckluft oder Druckflüssigkeit mit konstantem Druck, so entsteht eine Kolbenkraft, die umso größer ist, je größer die Kolbenfläche ist. ($F = p \cdot A$)

Es gilt:

Ohne Reibung	Mit Reibung
$p = \frac{F}{A}$	$p = \frac{F}{A \cdot \eta}$
$F = p \cdot A$	$F = p \cdot A \cdot \eta$

Formelzeichen und Erklärung:

F	Kraft in	N (Newton)	N (Newton)
A	Fläche in	m^2	cm^2
p	Druck in	$\frac{N}{m^2}$	$\frac{N}{cm^2}$
η	Wirkungsgrad < 1 bzw. < 100 %		

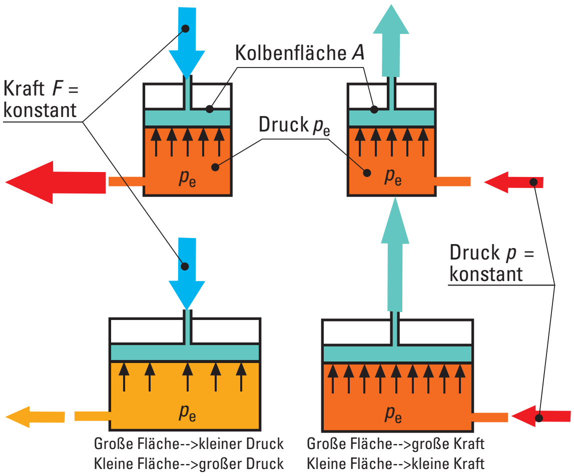


***Bild 1** Zusammenhang zwischen Druck, Kraft und Fläche*

Weitere Druckeinheiten:

$1 \frac{N}{m^2} = 1$ Pa (Pascal)

1 bar $= 100000 \frac{N}{m^2} = 100000$ Pa

1 bar $= 10 \frac{N}{cm^2}$

Beispiel:

Gesucht: Erforderlicher Arbeitsdruck der Druckluft p in $\frac{N}{cm^2}$ und bar

Gegeben: Pneumatikzylinder : Kolbenfläche $A = 4{,}9\ cm^2$
Erforderliche Kolbenkraft $F = 400$ N

Lösung:
$$p = \frac{F}{A}$$
$$p = \frac{400\ N}{4{,}9\ cm^2}$$
$$\underline{\underline{p = 83 \frac{N}{cm^2} = 8{,}3\ bar}}$$

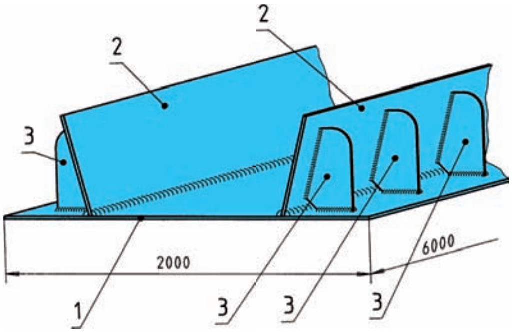
Übungen:

1. Eine hydraulisch betriebene Rohrbiegemaschine mit einer Kolbenfläche von $A = 8\ cm^2$ muss eine Biegekraft von 5500 N aufbringen. Welchen Arbeitsdruck muss die Zahnradpumpe mindestens erzeugen?

2. Eine Biegepresse erfordert eine Umformkraft von 54,5 kN. Berechnen Sie den erforderlichen Arbeitsdruck, wenn der Kolben des Hydraulikzylinders einen Durchmesser von 120 mm hat.

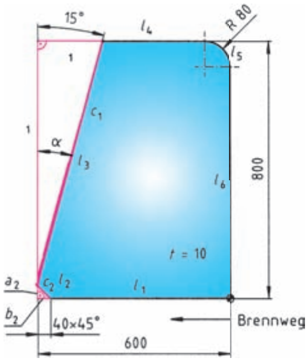
3. Ein doppelt wirkender Pneumatikzylinder hat einen Kolbendurchmesser von 40 mm, der Kolbenstangendurchmesser beträgt 16 mm.
Der Zylinder wird mit einem Arbeitsdruck von 600 Pa betrieben.
a) Wie groß ist der Arbeitsdruck p in bar und in $\frac{N}{cm^2}$?
b) Berechnen Sie die theoretische Kolbenkraft F in N.
c) Wie groß ist die wirksame Kolbenkraft, wenn der Zylinder einen Wirkungsgrad von $\eta = 0{,}85$ (85%) hat?
d) Wie groß ist die theoretische Kolbenrückzugskraft in N?
e) Berechnen Sie die wirksame Kolbenrückzugskraft bei einem Wirkungsgrad von $\eta = 0{,}82$.

11 Thermische Fügetechnik



Die Zeichnung zeigt den Ausschnitt einer Schüttgutrutsche (Blechdicke t = 16 mm). Der Auftrag umfasst 4 Schüttgutrutschen. Zu schweißen sind: Pos. 1 an Pos. 2 (MAG), Pos. 3 an Pos. 1,2 (Lichtbogenhandschweißen). Von Pos. 3 werden 24 Stück für eine Rutsche benötigt; sie werden in der eigenen Werkstatt hergestellt.

Zur Bestimmung der Herstellkosten, müssen bekannt sein:
- Brennzeiten (Kap. 11.1)
- Gasverbrauch für Brennschneiden und Gasschmelzschweißen (Kap. 11.2)
- Gasverbrauch beim Schutzgasschweißen (Kap. 11.3)
- Eingesetzte Schweißgutmengen (Kap. 11.4)
- Elektrodenverbrauch (Kap. 11.5) und
- Kosten für den Gasverbrauch (Kap. 11.6)



11.1 Brennzeiten

Zur Berechnung der Brennzeit t_h müssen die Brennweglänge l und die Schneidgeschwindigkeit v_s bekannt sein. Die Brennweglänge kann aus der Zeichnung errechnet werden. Die Schneidgeschwindigkeit hängt von der Blechdicke und der Schneidmaschine ab und wird aus Tabellen abgelesen.

Es gilt:

$$t_h = \frac{l}{v_s}$$

Formelzeichen und Erklärung:

t_h Brennzeit in min
l Brennweg in mm
v_s Schneidgeschwindigkeit in $\frac{mm}{min}$

Beispiel:
Für eine Rutsche müssen 24 Rippen ausgeschnitten werden. Es ist die Brennzeit zu ermitteln.

Gesucht: Brennzeit t_h in min für 24 Stück

Gegeben: Rippenblech nach Bild

$v_s = 600\ \frac{mm}{min}$ (siehe Tabellenbuch)

Lösung: $t_h = \frac{l}{v_s}$

$$t_h = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6}{v_s}$$

Die Brennschnittlänge l errechnet sich aus 6 Teillängen. Die Teillängen l_1 und l_6 werden aus der Zeichnung abgelesen:

l_1 = 600 mm – 40 mm $\quad \underline{\underline{l_1 = 560\text{ mm}}}$

l_6 = 800 mm – 80 mm $\quad \underline{\underline{l_6 = 720\text{ mm}}}$

Bestimmung von l_3 (mit Winkelfunktionen):

$$l_3 = c_1$$
$$\cos\alpha = \frac{b_1}{c_1}$$
$$c_1 = \frac{b_1}{\cos\alpha}$$
$$c_1 = \frac{800\text{ mm} - 40\text{ mm}}{\cos 15°}$$
$$c_1 \approx 787\text{ mm} \Rightarrow \underline{\underline{l_3 = 787\text{ mm}}}$$

Bestimmung von l_2 (mit Lehrsatz des Pythagoras).

$$l_2 = c_2$$
$$a_2^2 + b_2^2 = c_2^2$$
$$c_2 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2}$$
$$c_2 = \sqrt{(40\text{ mm})^2 + (40\text{ mm})^2}$$
$$c_2 \approx 57\text{ mm} \Rightarrow \underline{\underline{l_2 = 57\text{ mm}}}$$

Bestimmung von l_4 (mit Winkelfunktionen):

$$l_4 = 600\text{ mm} - 80\text{ mm} - a_1$$
$$\tan\alpha = \frac{a_1}{b_1}$$
$$a_1 = b_1 \cdot \tan\alpha$$
$$a_1 = (800\text{ mm} - 40\text{ mm}) \cdot \tan 15°$$
$$a_1 \approx 204\text{ mm}$$
$$l_4 = 600\text{ mm} - 80\text{ mm} - 204\text{ mm} \qquad \underline{\underline{l_4 = 316\text{ mm}}}$$

Im Rohrleitungsbau benutzt man logarithmische Schaubilder, aus denen sich die Längenänderung direkt ablesen lässt. Bild 2 gilt für Stahlrohre und eine Verlegetemperatur von 20 °C.

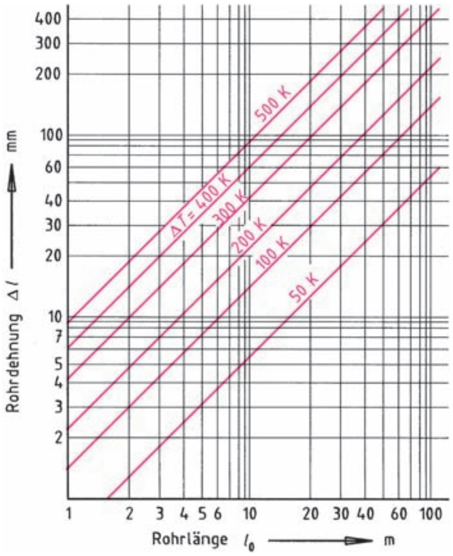


***Bild 2** Längenänderung von Rohrleitungen*

Ablesebeispiel:
Wie groß ist die Längenänderung einer 20 m langen Rohrleitung bei einer Erwärmung um 100 K?
Ablesewert bei 20 m: $\Delta l \approx 30$ mm

Übungen

1. **Werkstoffe.** Bestimmen Sie die Längenänderungen für die Werkstoffe EDELSTAHL Rostfrei®, Aluminium, Kupfer aus Aufgabe 3 S. 68 aus Bild 1, Seite 69.
2. **Rohrleitung.** Lesen Sie die in Aufgabe 4 S. 68 gesuchte Längenänderung mithilfe von Bild 2 ab (Interpolieren!)
3. **Verfahrenstechnik.** In einer Raffinerie sind Dampfleitungen unterschiedlicher Länge verlegt. Bestimmen Sie mithilfe des Schaubildes jeweils die Längenausdehnung in mm der Stahlrohre. (Bezugstemperatur 20 °C).

	a)	b)	c)	d)	e)
Rohrlänge *l* in m	15	25	50	80	90
Erwärmung um °C	80	250	160	340	450

12.5 Wärmestrom durch Bauteile

In Gebäuden fließt bei einem Temperaturunterschied von innen und außen ein permanenter Wärmestrom ϕ (Phi) nach außen. Ursache sind Transmissionswärmeverluste durch den Temperaturunterschied (Bild 1 nächste Seite).

Formelzeichen und Erklärung:

ϕ	Wärmestrom in W (= Watt)
t_i	Innentemperatur in K (= interieur)
t_e	Außentemperatur in K (= exterieur)
$\Delta T = t_i - t_e$	Temperaturdifferenz in K
U	Wärmedurchgangskoeffizient in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
A	Größe der Bauteilfläche in m^2
Q	Energiebedarf in kW
t	Zeit in Stunden

Der Wärmedurchgangskoeffizient U („U-Wert") gibt die Wärmemenge an, die in einer Stunde durch 1 m^2 eines Bauteils hindurchgeht, wenn die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen 1 K beträgt.
Außenbauteile an Wohn- und Objektbauten sollten einen möglichst kleinen „U-Wert" besitzen; die EnEV enthält dazu bindende Vorgaben.

Es gilt:

$$\phi = A \cdot U \cdot \Delta T$$

$$Q = \phi \cdot t$$

1. Beispiel:
Die Giebelseite eines Altbaus hat eine Fläche von $A_M = 16{,}75\ m^2$, Kalksandstein $U_M = 3\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$, die Fensterfläche A_w beträgt 2 m^2, Einfachverglasung $U_w = 5{,}2\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$.
Wie groß ist der (Verlust-)Wärmestrom im Winter zwischen Innen- und Außen? (20 °C und –15 °C)

Gesucht: a) ϕ_M = Wärmeverlust durch die Wand
b) ϕ_w = Wärmeverlust durch das Fenster

Gegeben: $A_M = 16{,}75\ m^2$, $U_M = 3\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$
$A_w = 2\ m^2$, $U_w = 5{,}2\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Lösung: a) $\phi_M = A_M \cdot U_M \cdot \Delta T$

$$\phi_M = 16{,}75\ m^2 \cdot 3\ \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 20\ °C - (-15\ °C)$$

$$\underline{\underline{\phi_M = 1759\ W}}$$

b) $\phi_w = A_w \cdot U_w \cdot \Delta T$

$$\phi_w = 2\ m^2 \cdot 5{,}2\ \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 20\ °C - (-15\ °C)$$

$$\underline{\underline{\phi_w = 364\ W}}$$

Nach EnEV gilt: Außenwände: $U < 0{,}5\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Außenfenster: $U < 1{,}0\ \frac{W}{m^2 \cdot K}$

13.3 Festigkeitsberechnungen

Konstruktionen des Stahl- und Metallbaus und deren einzelne Bauteile werden durch ihr Eigengewicht und äußere Einwirkungen beansprucht.
Im Stahlbau wird primär die Tragfähigkeit einer Konstruktion, im Metallbau die Beanspruchung durch äußere Einwirkungen wie Wind- oder Schneelasten untersucht.
Die Bemessungsverfahren dazu sind europaweit genormt, für Stahlbauten in EUROCODE 3, für Aluminiumkonstruktionen in EUROCODE 9. Bild 1 zeigt allgemein den Ablauf einer „Statik“. Bei untergeordneten Konstruktionen genügt ein vereinfachter Nachweis.

13.3.1 Beanspruchung, Beanspruchbarkeit

Durch die Einwirkungen auf der „Lastseite“ kommt es zu Beanspruchungen auf der „Widerstandsseite“. Statische Berechnungen haben die Aufgabe

- die Beanspruchbarkeit von Werkstoff und Profil bei vorhandenen Kräften = Lasten zu überprüfen

  oder

- geeignete Profile und Fügeverfahren auszuwählen, um die zu erwartenden Lasten aufnehmen zu können.

Formelzeichen und Erklärung:

$F_{S,d}$	Bemessungswert: Kraft in N, kN (stress, design)
F_k	charakteristische Kraft in N, kN (wirkende Last)
F_G	ständige Einwirkungen in N, kN
F_Q	veränderliche Einwirkungen in N, kN
$F_{G,d}$	Bemessungswert: Kraft in N, kN (ständige Last)
$F_{Q,d}$	Bemessungswert:Kraft in N, kN (veränderl. Last)
γ_F	Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen
ψ	Kombinationswert (bei mehreren Einwirkungen)
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für Widerstände ($\gamma_M = 1{,}1$)
$\sigma_{R,d}$	Grenzwert: Spannung in $\frac{N}{mm^2}, \frac{kN}{cm^2}$
$\sigma_{S,d}$	Bemessungswert: Spannung in $\frac{N}{mm^2}, \frac{kN}{cm^2}$
	$1\ \frac{kN}{cm^2} = 10\ \frac{N}{mm^2}$

Es gilt:

Einwirkungsseite S (stress = Beanspruchung)

$F_{S,d} = F_{G,d} + F_{Q,d}$

$F_{G,d} = F_k \cdot \gamma_F \cdot \psi$ $\quad$ $F_{Q,d} = F_k \cdot \gamma_F \cdot \psi$

$\gamma_F = 1{,}35$, $\psi = 1{,}0$ $\quad$ $\gamma_F = 1{,}5$, $\psi = 0{,}9$ bei mehreren Einwirkungen

Es gilt:

Werkstoffseite R (resistance = Widerstand)

$\sigma_{R,d} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M}$ $\qquad$ $\sigma_{S,d} = \frac{F_{S,d}}{A}$

f_{yk} = Streckgrenze R_e in $\frac{N}{mm^2}, \frac{kN}{cm^2}$

$F_{S,d} = \sigma_{R,d} \cdot A$

A = Profilquerschnitt in mm², cm²

Einwirkungsseite = Lasten F_k erhöht mit Teilsicherheitsbeiwerten γ_F	**Widerstandsseite = Werkstoffeigenschaft R_e** gemindert mit Teilsicherheitsbeiwerten γ_M
$F_{S,d}$ ⇑	$\sigma_{R,d}$ ⇓
↓	↓
Beanspruchungen S_d	**Beanspruchbarkeiten $R_d \le \sigma_{zul}$**

$$S_d \le R_d$$

Bild 1 Statischer Nachweis nach EUROCODE

Teilsicherheitsbeiwert für			Kombinationswert ψ	
Einwirkungen γ_F		Widerstand γ_M		
ständige Einwirkung	1,35	1,1	ständige Einwirkung	1,0
veränderliche Einwirkung	1,5		eine veränderliche Einwirkung	1,0
			mehrere veränderliche Einwirkungen	0,9

Werte für Grenzschweißspannungen α_w		
Beanspruchungsart	Werkstoff	α_w
Zug, Druck, Schub bei Kehlnähten	S235JR S355J0	0,95 0,80
Zug bei Stumpfnähten	S235JR	0,50

Werkstoff	Werkstoffdicke t in mm	Charakteristische Werte der Streckgrenze $f_{y,k}$ in N/mm²	Charakteristische Werte der Zugfestigkeit $f_{u,k}$ in N/mm²
S235JR	$t \le 40$ $40 < t \le 80$	240 215	360
S235J0	$t \le 40$ $40 < t \le 80$	360 325	510
S355N	$t \le 40$ $40 < t \le 80$	360 3256	510

14 Statik im Metallbau

14.1 Windlast

Trifft Wind auf eine Gebäude, so entsteht an der Anströmfläche ein Staudruck, an den Seiten- und windabgewandten Flächen ein Sog. Metallbaukonstruktionen wie Fenster und Fassaden müssen diesen Winddruck bzw. – sog aufnehmen und in das Tragwerk einleiten können. An geneigten Dachflächen ist die Windlast speziell zu untersuchen.
Die Windlasten auf ein Bauteil sind abhängig von
– der Windlastzone (WZ 1...WZ 4),
– der Höhe h des Bauwerks,
– der Anströmfläche A des Bauteils,
– der Lage des Bauteils am Gebäude.

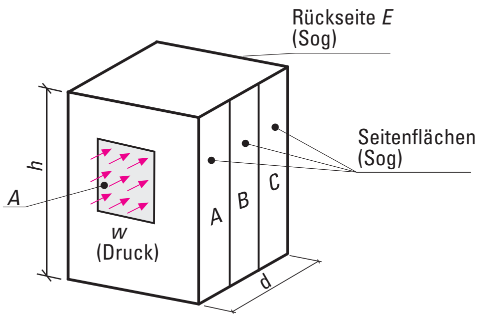


Bild 1 Windlasten auf ein Gebäude

Formelzeichen und Erklärung:

v	Windgeschwindigkeit in $\frac{m}{s}$
w	Winddruck in $\frac{kN}{m^2}$
F_w	Windlast in kN
$w_{erhöht}$	erhöhter Winddruck in $\frac{kN}{m^2}$
c_p	Druckbeiwert

Es gilt:

$F_w = w \cdot A$ $\qquad w_{erhöht} = w \cdot c_p$

Werte für die Windlasten w in Abhängigkeit von der Windlastzone, Gebäudeform und -höhe sowie für Druckbeiwerte: siehe Tabellenbuch oder DIN 1055-4.

Beispiel:

Gesucht: a) Windlasten auf ein Fassadenelement mit B x H = 1,75 x 2,75 das oberste Geschoss
b) Erhöhte Windlasten an Gebäudeseitenwand und -rückseite

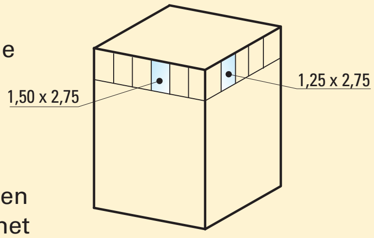
Gegeben: Gebäude nach Bild 1 in Windlastzone 2
$B = 12$ m, $d = 12$ m,
$h = 14$ m, $w = 0{,}8\ \frac{kN}{m^2}$,
c_p: A: –1,7, E: –0,5

Lösung: a) $F_w = w \cdot A$
$F_w = 0{,}65\ \frac{kN}{m^2} \cdot (1{,}75\ m \cdot 2{,}75\ m)$
$F_w = 3{,}13$ kN (Druck)
b) Seitenwand B:
$w_{erhöht} = 0{,}65\ \frac{kN}{m^2} \cdot (-1{,}7)$
$w_{erhöht} = 1{,}10\ \frac{kN}{m^2}$ (Sog)
Rückseite $w_{erhöht} = 0{,}65\ \frac{kN}{m^2} \cdot (-0{,}5)$
$w_{erhöht} = 0{,}33\ \frac{kN}{m^2}$ (Sog)

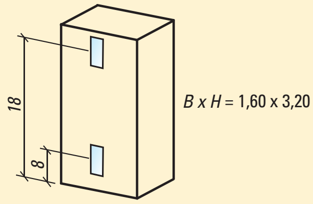
Übungen:

1. **Fenster.** Ein Gebäude auf Helgoland mit 6 m hat Fenster mit B x H = 1,25 x 1,25 m. Wie groß ist der Windlast für ein direkt angeströmtes Fenster? $w = 1{,}4\ \frac{kN}{m^2}$

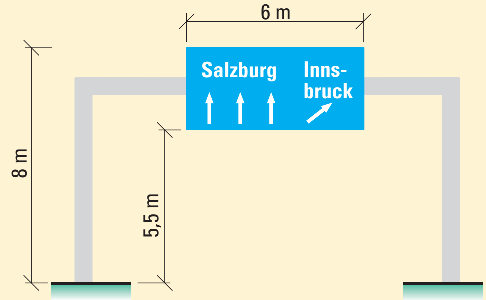
2. **Einzelbauteile.** Für ein Gebäude mit $h = 24$ m in Windlastzone 3 sollen die Windlasten auf die skizzierten Fenster berechnet werden WZ 3: $w = 0{,}9\ \frac{kN}{m^2}$.



3. **Fassade.** An dem turmartigen Bauwerk sind die Windlasten auf die Scheiben an den angegebenen Stellen zu bestimmen.



4. **Schildertafel.** Die Schildertafel über einer Autobahn hat die Maße 6 m x 2,5 m. Welche Windlasten wirken auf die Tafel in den Windlastzonen WZ 1, WZ 2, WZ 3 und WZ 4?



Laut Tabellenbuch gelten für den Winkel L 120 x 80 x 10 folgende maximale Lochdurchmesser:

d_{1max} = 25 mm und d_{2max} = 23 mm

⇒ Bohrungsdurchmesser d = 22 mm ist zulässig!

2. Berechnung der Schraubenlänge *L*

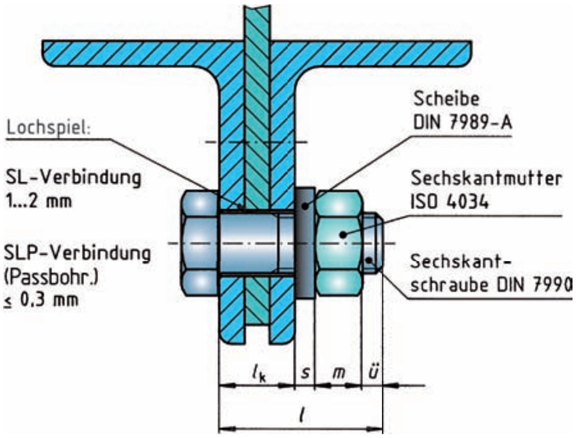


Bild 3 Ermittlung der Schraubenlänge

Die Schraubenlänge L hängt ab von:
- der Klemmlänge l_k
- der Scheibendicke s (siehe DIN-Norm)
- der Mutternhöhe m (siehe DIN-Norm)
- dem Überstand $ü$: $ü \approx 2 - 3 \cdot P$ (P = Gewindesteigung)

$L = l_k + s + m + ü$

Gegeben: Dicke des Knotenbleches: t_1 = 12 mm
Schenkeldicke des Winkelprofils: t_2 = 10 mm
Dicke der Scheibe DIN 7989: s = 8 mm
Höhe der Mutter ISO 4034: m = 19 mm
Überstand $ü$: 3 · P
Gewindesteigung: P = 2,5 mm

Lösung: $L = l_k + s + m + ü$

l_k = 10 mm + 10 mm + 12 mm = 32 mm

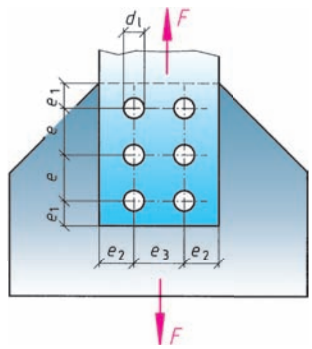
$ü$ = 3 · 2,5 mm = 7,5 mm

L = 32 mm + 8 mm + 19 mm + 7,5 mm

L = 66,5 mm

Gewählt wird die nächst größere genormte Schraubenlänge: ⇒ L = 70 mm

1	Randabstände	Kleinster Randabstand	in Kraftrichtung e_1 senkrecht zur Kraftrichtung e_2	$1{,}2 \cdot d_L$ $1{,}2 \cdot d_L$	
2	Randabstände	Größter Randabstand	in und senkrecht zur Kraftrichtung e_1 bzw. e_2	$3 \cdot d_L$ oder $6 \cdot t$	
3	Lochabstände	Kleinster Lochabstand	in Kraftrichtung e senkrecht zur Kraftrichtung e_3	$2{,}2 \cdot d_L$ $2{,}4 \cdot d_L$	
4	Lochabstände	Größter Loch-abstand	im Druckbereich zur Sicherung gegen lokales Beulen e bzw. e_3	$6 \cdot d_L$ oder $12 \cdot t$	
5	Bei gestanzten Löchern sind		die kleinsten Randabstände e_1 bzw. e_2 die kleinsten Lochabstände e bzw. e_3	$1{,}5 \cdot d_L$ $3{,}0 \cdot d_L$	d_L Lochdurchmesser t Dicke des dünnsten Blechs der außenliegenden Teile der Verbindung.



Schrauben- und Nietabstände

3. Ermittlung der Schraubenabstände und Wurzelmaße

Bei Schrauben- und Nietverbindungen im Stahl- und Metallbau gelten für die Lochabstände untereinander und vom Rand

- einerseits **Mindestabstände** – für ausreichenden Platz bei der Montage – und
- andererseits **Maximalabstände** – gegen Aufklaffen und lokales Beulen der Verbindungsflächen.

Bei Profilverbindungen müssen außerdem die **Wurzelmaße** (Anreißmaße) der Profile beachtet werden.

Beispiel

Für den Anschluss der beiden Winkelprofile am Knotenblech (Bild 1; Seite 115) sind die Wurzelmaße und Lochabstände in Kraftrichtung zu ermitteln.

Lösung: Wurzelmaße aus Profiltabellen:
w_1 = 50 mm, w_2 = 80 mm

Rand- und Lochabstände in Kraftrichtung:

Randabstand e_1 als Mindestabstand:

$e_1 = 1{,}2 \cdot d_L \Rightarrow e_1 = 1{,}2 \cdot 22$ mm = 26,4 mm ⇒

aufgerundet: e_1 = 30 mm

16 Feinblechbautechnik

16.1 Abwicklungen, Tafelgrößen

Die Abwicklungen von Blechformteilen ergeben ebene Flächen, die mit Formeln zur Flächenberechnung bestimmt werden können. Dabei müssen die notwendigen Tafelgrößen berücksichtigt werden. Abwickelbar sind alle Körper, an die sich eine gerade Kante anlegen lässt. Der Verschnitt soll gering gehalten werden.

Formelzeichen und Erklärung:

A_W abgewickelte Werkstückfläche in m² (Formeln siehe Tabellenbuch)

$L \times B$ notwendige Tafelgröße = Rechteckfläche m x m

A_{Ges} Blechbedaf in m²

A_V Verschnitt in %

Formel: Verschnitt

$$A_V = \frac{(A_{Ges} - A_W) \cdot 100}{A_{Ges}}$$

1. Beispiel:

Rohrbogen

Aus einer Tafel 1 m x 1 m soll ein Knie nach Bild 1 gefertigt werden. Wie groß sind die Abwicklungsfläche und der Verschnitt? (Form der Abwicklung aus Tabellenbuch)

Gesucht: a) Werkstückfläche A_W in m² ($L \times B$)
b) Verschnitt in %

Gegeben: Skizze von Rohrknie und Abwicklung

Lösung: a) $L = \pi \cdot d$

$L = \pi \cdot 160$ mm

$L = 503$ mm

$\underline{\underline{L = 0{,}503 \text{ m}}}$

$B = l_1 + l_2 + l_3$

$B = 200$ mm + 400 mm + 200 mm

$B = 800$ mm

$\underline{\underline{B = 0{,}8 \text{ m}}}$

$A_W = L \times B$

$A_W = 0{,}503 \text{ m} \times 0{,}8 \text{ m}$

$\underline{\underline{A_W = 0{,}402 \text{ m}^2}}$

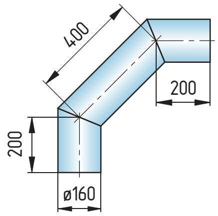
b) $A_V = \frac{(A_{Ges} - A_W) \cdot 100}{A_{Ges}}$

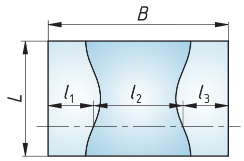
$A_V = \frac{(1 \text{ m}^2 - 0{,}0{,}402 \text{ m}^2) \cdot 100}{1 \text{ m}^2}$

$A_V = 59{,}76$ %

$\underline{\underline{A_V \approx 60 \text{ \%}}}$

Der Verschnitt lässt sich durch eine der Abwicklung angepasste Tafelgröße minimieren.





2. Beispiel:

Trichter (Bild 2)

Es ist die notwendige Tafelgröße zu berechnen. (Form der Abwicklung und Formeln aus Tabellenbuch)

Gesucht: Tafelgröße L x B in m x m

Gegeben: Skizze von Trichter und Abwicklung

Lösung: a) $L = 2 \cdot l_s + \frac{1}{2} l$

$L = 2 \cdot 1 \text{ m} + \frac{1}{2} \text{ m}$

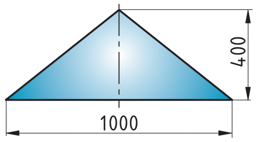
$\underline{\underline{L = 2{,}5 \text{ m}}}$

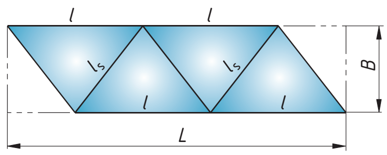
$B = l_h = \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h^2}$

$B = \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 \text{ m}^2 + 0{,}4 \text{ m}^2}$

$\underline{\underline{B = 0{,}64 \text{ m}}}$

Die notwendige Tafelgröße beträgt
$L \times B = 2{,}5 \text{ m} \times 0{,}64 \text{ m}$





Übungen

1. Betriebsabrechnung. Ergänzen Sie im Betriebsabrechnungsbogen die Herstellkosten und Zuschlagsätze.

Kostenart	Lager	Fertigung	Verwaltung/ Vertrieb
Σ *MEK*	44.520 €		
Σ *MGK*	5.115 €		
MGKS	%		
Σ *FL*		298.500 €	
Σ *FGK*		596.300 €	
FGKS		%	
Σ HK			
Σ *VwVtGK*			105.600 €
VwVtGKS			%

2. Betriebsabrechnung. In einem Kalenderjahr sind in einem Stahlbaubetrieb Kosten nach Liste angefallen.
Erstellen Sie einen BAB nach Muster, tragen Sie die Kostenarten ein und berechnen Sie die Zuschlagsätze. Für die Vertriebskosten und für die Verwaltungskosten sind jeweils eigene Zuschlagsätze zu bilden. Das Technische Büro = FGK.
Σ *FL*: 994.600 €, Σ *FGK*: 1,92 Mio €,
Technisches Büro: 295.000 €, Σ *MEK*: 322.200 €,
Σ *VtGK*: 0,174 Mio €, Σ *MGK*: 42.800 €,
Σ *VwGK*: 142.100 €

18.2 Zuschlagkalkulation

Die Zuschlagkalkulation ist die häufigste Methode, die Selbstkosten SK eines Kostenträgers (= Erzeugnis) zu kalkulieren. Dazu kommen noch betriebsspezifische Zuschläge für Gewährleistung und Gewinn sowie die Mehrwertsteuer.

Vereinfachte Zuschlagkalkulation
Sie ist nur bei Kleinstbetrieben üblich. Es wird ein einziger Zuschlagsatz, bezogen auf die Material- oder die Lohnkosten ermittelt und dann das Erzeugnis kalkuliert.

Erweiterte Zuschlagkalkulation
Sie wird meist mit einem Formblatt erstellt, in das die einzelnen Kostenarten für das Erzeugnis eingetragen werden und dann zu Selbstkosten addiert werden. (Bild 1, Seite 131). Die Zuschlagsätze MGKZ, FGKZ, VwGKZ und VtGKZ für den Betrieb müssen bekannt sein.

Formelzeichen und Erklärung:

MEK	Materialeinzelkosten in €
MGK	Materialgemeinkosten in €
MK	Materialkosten in €
FL	Fertigungslöhne in €
FGK	Fertigungsgemeinkosten in €
FK	Fertigungskosten in €
HK	Herstellkosten in €
SEF	Sondereinzelkosten der Fertigung in €
HK	Herstellkosten in €
SK	Selbstkosten in €
VwGK	Vewaltungsgemeinkosten in €
VtGK	Vertriebsgemeinkosten in €

Beispiel:
Anhand des Musters aus Bild 1, Seite 131 sollen die Selbstkosten SK für ein Schiebetor ermittelt werden. Hinweis: Die Zuschlagsätze sind aus einem BAB bekannt.

MEK (Profile, Beschläge)	2500 €	
MGK (10 % von MEK)	+ 250 €	
MK		2250 €
FLK (12 F-Std. · 18,50 € + 300 € für Montage)	522 €	
FGK (220 % von 522 €)	+ 1148 €	
FK		1670 €
SEF (Feuerverzinken)		+ 400 €
Herstellkosten HK		**4320 €**
VtGK (8 % von 4320 €)	346 €	
VwGK (10 % von 4320 €)	+ 432 €	
VVGK		+ 778 €
Selbstkosten *SK*		**5098 €**

Mit den Herstellkosten HK sind alle Kosten erfasst.