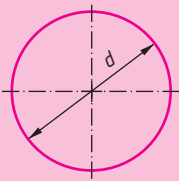


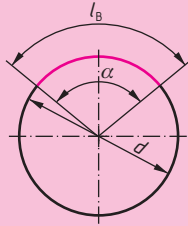
# 5 Kreisumfang und gestreckte Längen

## Kreisumfang



$$U = \pi \cdot d$$

## Kreisbogen

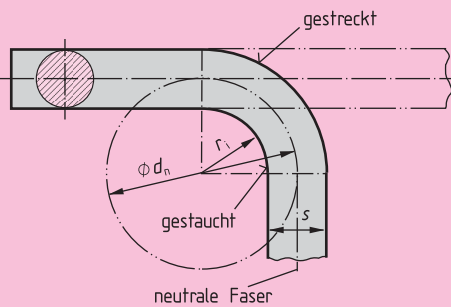


$$l_B = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360^\circ}$$

### Bezeichnungen:

$U$	Umfang	$l_B$	Bogenlänge
$d$	Durchmesser	$\alpha$	Mittelpunktswinkel
$s$	Dicke	$r_i$	Biegeradius innen
$d_n$	Durchmesser der neutralen Faser		
$L$	gestreckte Länge		

## Gestreckte Längen

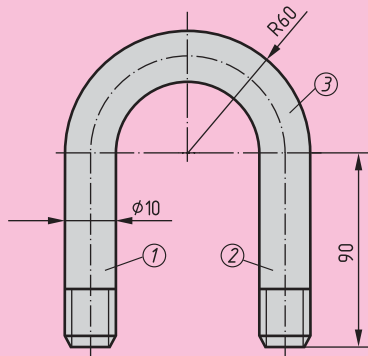


Beim Biegen von Werkstücken werden die äußeren Fasern durch Zugkräfte gestreckt, die inneren durch Druckkräfte gestaucht. Die neutrale Faser ist die Faser, die sich in ihrer Länge nicht verändert.

Die Ausgangslänge für Biegeteile, die gestreckte Länge, ist die Länge der neutralen Faser.

Ist bei kreisförmigen, quadratischen und rechteckigen Querschnitten das Verhältnis  $\frac{r_i}{s} \geq 5$ , fällt die neutrale Faser auf die Mittellinie.

Ist das Verhältnis  $\frac{r_i}{s} < 5$ , muss ein Korrekturfaktor berücksichtigt werden. Siehe hierzu Kapitel 35.



### Beispiel: Bügel

Gesucht: Gestreckte Länge  $L$

Lösung:  $\frac{r_i}{s} = \frac{50 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 5$ , d. h. die neutrale Faser fällt auf die Mittellinie.

① Strecke 90,00 mm

② Strecke 90,00 mm

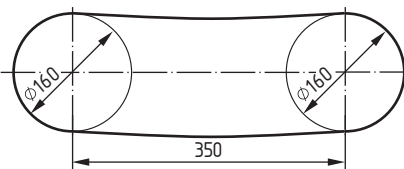
③ Kreisbogen =  $\frac{\text{Umfang}}{2}$

$$\frac{U}{2} = \frac{\pi \cdot d_n}{2} = \frac{\pi \cdot 110 \text{ mm}}{2} = \pi \cdot 55 \text{ mm} = 172,79 \text{ mm}$$

Gestreckte Länge  $L$  352,79 mm

## Aufgaben zu Kreisumfang und gestreckte Längen

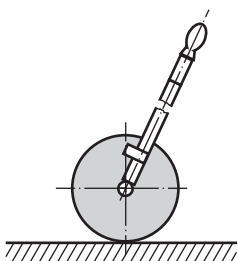
### 5.1 Riementrieb



Gesucht:  
 a) Riemenlänge  $L$   
 b) Riemenlänge  $L$  bei 420 mm Achsabstand, 180 mm Riemenscheibendurchmesser

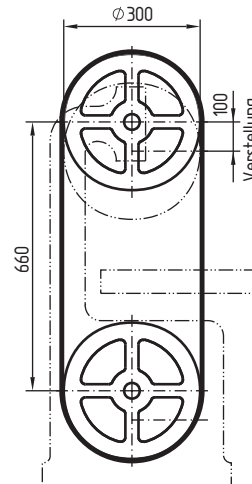
Durchhang und Riemendicke werden nicht berücksichtigt.

### 5.2 Messraddurchmesser



Das Rad eines Wegstreckenmessers soll bei zwei Umdrehungen einen Weg von 1 Meter zurücklegen. Berechnen Sie den Durchmesser des Rades in mm.

### 5.3 Metallbandsäge



Gesucht:

a) Sägebandlänge im gezeichneten Zustand

b) Mindestlänge des Sägebandes bei 4 mm Schweißzugabe.

# 20 Festigkeitsberechnungen

## Zugspannung

Der Konstrukteur berechnet Maschinenteile sehr genau und trägt eine große Verantwortung für die Sicherheit von Menschen und Produktionsmitteln. Für vereinfachte Berechnungen sind folgende Schritte notwendig:

1. Ermittlung der auf die Bauteile wirkenden Kräfte
2. Bestimmung des gefährdeten Querschnitts
3. Festlegung der Sicherheitszahl
4. Berechnung der zulässigen Spannung
5. Vergleich der tatsächlich wirksamen Spannung mit der berechneten zulässigen Spannung.



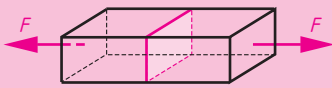
Wird ein Stab mit dem Querschnitt  $S$  durch die Kraft  $F$  auf Zug belastet, so bildet sich im Werkstoff eine Gegenkraft. Dieser Widerstand bezogen auf die Flächeneinheit  $\text{mm}^2$  oder  $\text{cm}^2$  heißt Zugspannung  $\sigma_z$ .

$$\text{Zugspannung} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Querschnittsfläche}}$$

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

### Bezeichnungen:

- $\sigma_z$  Zugspannung (sprich: sigma z)
- $F$  Kraft (Zugkraft)
- $S$  Querschnittsfläche, die beansprucht wird



### Beispiel: Zugspannung

Ein Quadratstahl  $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  Querschnitt wird mit einer Zugkraft von  $F = 4000 \text{ N}$  belastet. Wie groß ist die Zugspannung  $\sigma_z$ ?

Lösung:  $S = l \cdot b = 5 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} = 25 \text{ mm}^2$

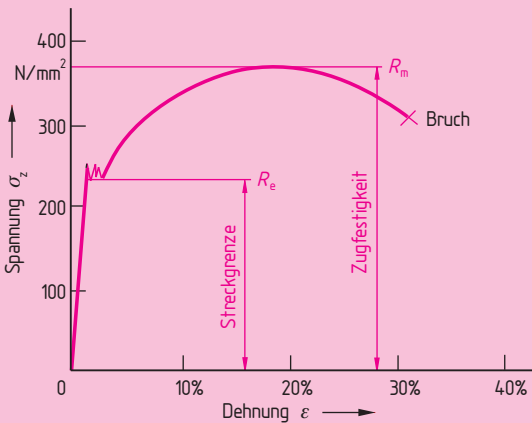
$$\sigma_z = \frac{F}{S} = \frac{4000 \text{ N}}{25 \text{ mm}^2} = 160 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

## Werkstoffkennwerte

Ein Bauteil darf bei Belastung nicht bleibend verformt werden.

Bei Werkstoffen **mit ausgeprägter Streckgrenze** ( $R_e$ ) ist dies die Obergrenze der Belastung.

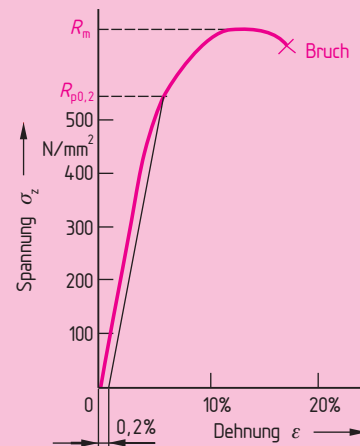
Beispiel: **S235JR** (Stahlbaustahl) (St 37)  
 $R_e = 235 \text{ N/mm}^2$



Bereits bei einer Spannung von  $235 \text{ N/mm}^2$  verformt sich der Werkstoff – er fließt!

Bei Werkstoffen **ohne ausgeprägte Streckgrenze** wird die  $0,2\%$ -Dehnungsgrenze ( $R_{p0.2}$ ) als Obergrenze der maximalen Spannung angegeben.

Beispiel: **Baustahl für hochbeanspruchte Teile**  
**S355J2G3**  $R_{p0.2} = 540 \text{ N/mm}^2$



Die  $0,2\%$ -Grenze wird durch eine Parallele im Abstand von  $0,2\%$  zur Geraden am Kurvenanstieg ermittelt.

## Änderung der Bezeichnung von Stählen

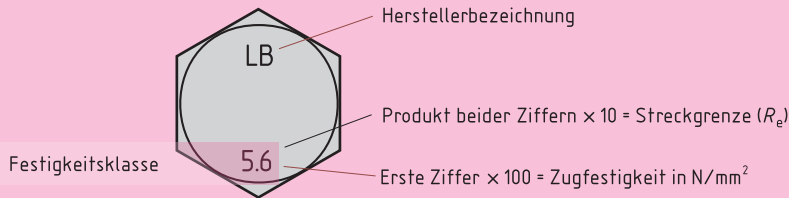
früher: **St 60 2** — Gütegruppe 2  
 Stahl mit einer Zugfestigkeit von  $600 \text{ N/mm}^2$

heute: **E335** — Streckgrenze  $R_e = 335 \text{ N/mm}^2$   
 nach DIN EN 10 027 — Maschinenbaustahl

Die neue Europa-Norm hat entscheidende Vorteile:

- Sie gibt direkt die Obergrenze der maximalen Spannung an.
- Als Einheit wird für die Kraft die gesetzliche Einheit Newton verwendet.

## Werkstoffkennwerte und Spannungsquerschnitte bei Schrauben



Der Spannungsquerschnitt ( $S$ ) entspricht etwa dem Gewidekernquerschnitt. Er kann dem Tabellenbuch entnommen werden.

### Beispiel: Sechskantschraube M12 × 80 – 10.9

Gesucht: a) Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes  
b) Streckgrenze

Lösung: a)  $R_m = 10 \cdot 100 \text{ N/mm}^2 = 1\,000 \text{ N/mm}^2$   
b)  $R_e = 10 \cdot 9 \cdot 10 \text{ N/mm}^2 = 900 \text{ N/mm}^2$

Die zulässige Zugspannung  $\sigma_{z\text{zul}}$  muss deutlich unter der Streckgrenze liegen. Dies wird mit der Sicherheitszahl  $v$  erreicht:

$$\text{Zulässige Spannung} = \frac{\text{Streckgrenze}}{\text{Sicherheitszahl}}$$

$$\sigma_{z\text{zul}} = \frac{R_e}{v}$$

bzw.

$$\sigma_{z\text{zul}} = \frac{R_{p0,2}}{v}$$

Je nach Belastungsart und Gefahrenrisiko gelten unterschiedliche Sicherheitszahlen.

#### Sicherheitszahl ( $v$ ):

bei ruhender Last	1,5 ... 4
bei schwellender Last	2 ... 5
bei wechselnder Belastung	3 ... 20

#### Bezeichnungen:

$\sigma_{z\text{zul}}$	zulässige Spannung (sprich: sigma zet zulässig)
$v$	Sicherheitszahl (sprich: nü)
$\varepsilon$	Dehnung in % (sprich: epsilon)
$R_e$	Streckgrenze ( $R$ von französisch resistance = Widerstand, $e$ = elastischer Bereich)
$R_m$	Zugfestigkeit ( $R$ von französisch resistance = Widerstand, $m$ = maximal)
$R_{p0,2}$	0,2 % Dehngrenze

### Beispiel: Zulässige Spannung

Die im Beispiel Zugspannung errechnete Spannung von  $160 \text{ N/mm}^2$  soll von einem Baustahl S235JR aufgenommen werden. Es ist von einer Sicherheitszahl  $v = 2,5$  auszugehen.

- a) Wie groß ist die zulässige Spannung?  
b) Darf der Quadratstahl einem Zug von  $F = 4\,000 \text{ N}$  ausgesetzt werden?

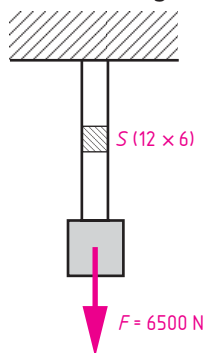
Lösung: a)  $\sigma_{z\text{zul}} = \frac{R_e}{v} = \frac{235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2,5} = 94 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

- b) tatsächliche Zugspannung:  $160 \text{ N/mm}^2$  (laut Berechnung im vorigen Beispiel)  
zulässige Spannung:  $94 \text{ N/mm}^2$

Ergebnis: Die zulässige Spannung ist überschritten. Der Quadratstahl darf nicht mit  $F = 4\,000 \text{ N}$  belastet werden!

## Aufgaben zur Zugfestigkeit

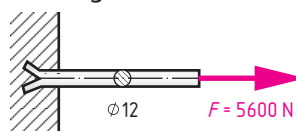
### 20.1 Belastung eines Flachstahles auf Zug



Werkstoff:  
S235JR G1  
Streckgrenze von  $R_e$  (TB)

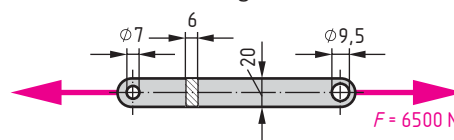
- Gesucht:  
a) Vorhandene Zugspannung im Flachstahl  
b) Zulässige Zugspannung bei einer Sicherheitszahl  $v = 2,5$

### 20.2 Zuganker aus Rundstahl



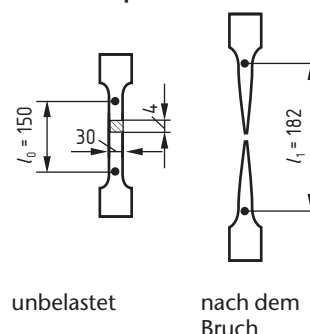
- Gesucht:  
a) Welche Zugspannung tritt in dem Rundstahl auf?  
b) Genügt ein Baustahl S235JR G1 (TB) für diese Belastung, wenn eine Sicherheitszahl  $v = 2,5$  gewählt wird?

### 20.3 Flachstahl auf Zug belastet



- Gesucht:  
a) Gefährdeter Querschnitt in  $\text{mm}^2$   
b) Höchste Zugspannung, die dabei auftritt

### 20.4 Flachprobekörper



Der Probekörper ging bei einer Zugkraft von  $43 \text{ kN}$  zu Bruch.

- Gesucht:  
a) Zugfestigkeit  $R_m$   
b) Dehnung  $\varepsilon$  in %

# 21 Mechanische Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad

## Mechanische Arbeit

Beim Heben eines Fahrzeugs mit einer Hebebühne wird mechanische Arbeit verrichtet. Auf das Fahrzeug wirkt eine Hubkraft  $F$ , wobei es einen Weg  $s$  zurücklegt. Die Arbeit ist umso größer, je größer die Kraft und je größer der Weg sind.

Mechanische Arbeit = Kraft  $\times$  Kraftweg

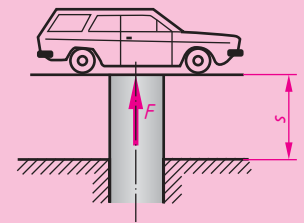
$$W = F \cdot s$$

### Beispiel: Hebebühne

Ein Fahrzeug mit der Gewichtskraft  $F = 9,6 \text{ kN}$  wird mit einer Hebebühne auf eine Höhe von  $1,8 \text{ m}$  gehoben. Welche Arbeit ist zu verrichten?

Lösung:  $W = F \cdot s \quad W = 9\,600 \text{ N} \cdot 1,8 \text{ m} = 17\,280 \text{ Nm}$

Einheiten: Aus dem Beispiel ergibt sich als Einheit für die Arbeit:  $\text{Newton} \times \text{Meter} = \text{Nm}$



### Bezeichnungen:

W	Arbeit
F	Kraft
s	Kraftweg

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

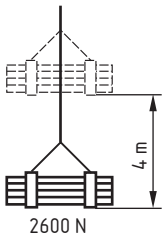
$$1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$$

(Joule, sprich: dschul)

Joule, englischer Physiker (1818–1889)

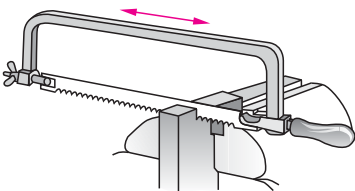
## Aufgaben zur mechanischen Arbeit

### 21.1 Kran



Ein Kran hebt Werkstoffe auf eine gewünschte Arbeitshöhe. Welche Hubarbeit ist aufzuwenden?

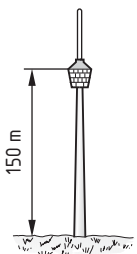
### 21.2 Sägen



Beim Handsägen eines Werkstückes aus Stahl wurde in Arbeitsrichtung eine mittlere Kraft  $F_1 = 100 \text{ N}$  und für den Rückhub der Säge eine mittlere Kraft  $F_2 = 20 \text{ N}$  gemessen.

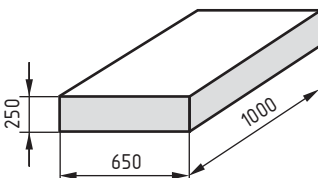
Berechnen Sie die Arbeit, wenn zum Durchsägen des Werkstückes 330 Doppelhübe notwendig sind und der Sägenhub  $s = 300 \text{ mm}$  beträgt.

### 21.3 Aufzug für den Fernsehturm



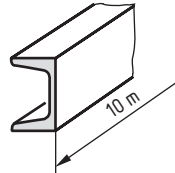
Der Aufzug ist ausgelegt für eine mechanische Arbeit von  $2,4 \text{ MJ}$  bei einer Aufzugsfahrt. Wie viel Personen dürfen zusteigen, wenn die Kabine mit  $1,5 \text{ kN}$  und eine Person mit  $750 \text{ N}$  Gewichtskraft angesetzt werden?

### 21.4 Hubarbeit im Walzwerk



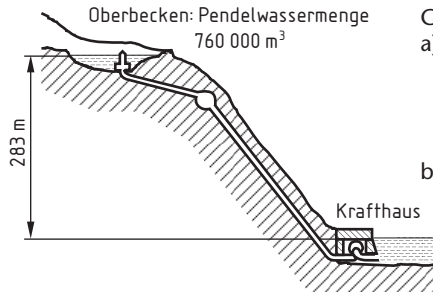
Die Stahlbramme aus E 335 wird aus einem Ofen mit einem Kran  $6,8 \text{ m}$  hoch gehoben. Welche Hubarbeit in  $\text{kNm}$  ist notwendig?

### 21.5 Kranarbeit mit U-Stahl



U-Profil DIN 1026-U300-S235 JR wird von einem Kran angehoben. Wie hoch wird der Träger gehoben, wenn eine Arbeit von  $W = 16,17 \text{ kJ}$  verrichtet wird?

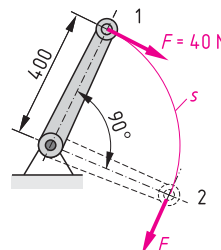
### 21.6 Pumpspeicherwerk



Gesucht:

- Berechnen Sie die gespeicherte mechanische Arbeit (potenzielle Energie)
- Welcher gespeicherten elektrischen Arbeit in  $\text{kWh}$  entspricht dies?

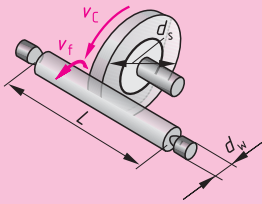
### 21.7 Arbeit an einem Kurbeltrieb



Die Pleuellstange wird um  $90^\circ$  verdreht. Wie groß ist die dazu nötige Arbeit  $W$  in  $\text{Nm}$ ?

# 23 Feinbearbeitung

## Rundsleifen



$$v_c = \pi \cdot d_s \cdot n_s$$

$$v_f = \pi \cdot d_w \cdot n_w$$

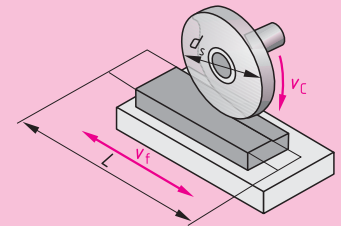
$$v_t = L \cdot n_H$$

$$q = \frac{v_c}{v_f}$$

## Bezeichnungen:

- $v_c$  Schnittgeschwindigkeit
- $d_s$  Durchmesser der Schleifscheibe
- $n_s$  Drehzahl der Schleifscheibe
- $v_f$  Vorschubgeschwindigkeit
- $L$  Vorschubweg
- $n_H$  Hubzahl
- $n_w$  Drehfrequenz des Werkstücks
- $q$  Geschwindigkeitsverhältnis
- $d_w$  Durchmesser des Werkstücks

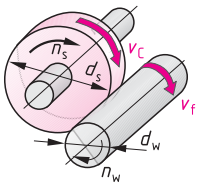
## Plansleifen



Das Geschwindigkeitsverhältnis  $q$  kann dem TB entnommen werden. Es ermöglicht günstige Vorschub- bzw. Schnittgeschwindigkeiten für den Schleifvorgang zu ermitteln.

## Aufgaben zum Schleifen

### 23.1 Außenrundsleifen

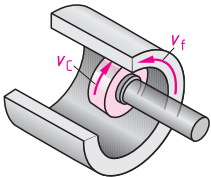


Eine Welle mit 60 mm Durchmesser aus 16 MnCr5 soll mit einer Schleifscheibe  $380 \times 40 \times 127 - A 80 L 6 - 35$  mit maximaler Schnittgeschwindigkeit geschliffen werden.

Bestimmen Sie:

- maximale Schleifgeschwindigkeit  $v_c$
- Geschwindigkeitsverhältnis  $q$  nach TB
- Sinnvolle Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$
- Schleifscheibendrehzahl  $n_s$
- Werkstückdrehzahl  $n_w$

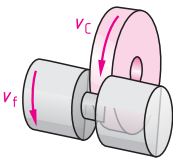
### 23.2 Innenrundsleifen



Eine Hohlwelle aus Stahl mit einem Bohrungsdurchmesser von 100 mm wird mit einer Schleifscheibe  $60 \times 50 \times 20 - A 60 J 7 V - 25$  innenrundgeschliffen.

- Entnehmen Sie dem TB den kleinsten Wert der Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$  in m/min
- Welches Geschwindigkeitsverhältnis  $q$  empfiehlt das TB
- Welche Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  errechnet sich daraus?
- Ist die Schleifscheibe dafür noch geeignet?
- Welche Drehfrequenz  $n_s$  in 1/min hat die Schleifspindel?

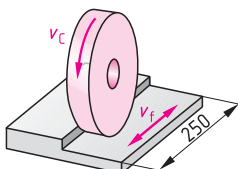
### 23.3 Einstechschleifen



In Werkstücken aus Gusseisen sollen Umkehrungsflächen ( $d = 33$  mm) im Einstechverfahren geschliffen werden.

- Welches Geschwindigkeitsverhältnis  $q$  gibt der Schleifscheibenhersteller (TB) vor?
- Welche Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$  in m/min liegt vor, wenn bei einer Schnittgeschwindigkeit  $v_c = 30$  m/s 80 % vom Geschwindigkeitsverhältnis  $q$  genutzt werden?
- Welche Drehfrequenz hat das Werkstück?

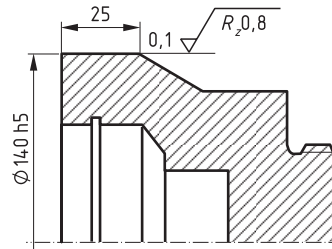
### 23.4 Schleifen eines Anschlagwinkels



Ein Anschlagwinkel aus E360 soll flachgeschliffen werden. Die Spindel der Schleifmaschine hat eine Drehfrequenz von 2800 1/min. Die höchste Schleifgeschwindigkeit soll 30 m/s und die geringste 20 m/s betragen.

- Berechnen Sie den größten und kleinsten zulässigen einzusetzenden Schleifscheibendurchmesser  $d_{max}$  und  $d_{min}$
- Wie groß ist der Vorschubweg  $L$  bei 30 mm Anlauf und 30 mm Überlauf?

### 23.5 Außenrund-Quersleifen

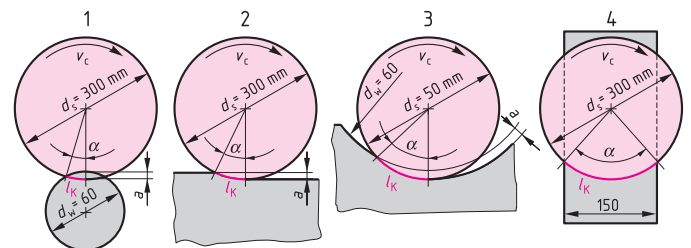


Das abgebildete Werkstück aus 16 MnCr5 soll an der bemaßten Stelle mit einer Schleifscheibe DIN 69120-1-A 350 x 32 x 76,2-A 60 M 6 V-40 auf die geforderte Oberfläche geschliffen werden.

Ermitteln Sie:

- die Schnittgeschwindigkeit, wenn 75 % der maximal möglichen Schleifgeschwindigkeit genutzt werden.
- das Geschwindigkeitsverhältnis  $q$  nach TB
- die Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$
- die Werkstückdrehzahl  $n_w$
- die Schnittleistung  $P_c$ , wenn die mittlere Schnittkraft  $F_c = 14$  N beträgt
- die Motorantriebsleistung bei einem Wirkungsgrad von 75 %

### 23.6 Eingriffsverhältnisse – Kontaktlänge



$$l_k = \sqrt{a \cdot \frac{d_w \cdot d_s}{d_w + d_s}} \quad (\text{Fall 1}) \quad l_k = \sqrt{a \cdot \frac{d_w \cdot d_s}{d_w - d_s}} \quad (\text{Fall 3})$$

- Berechnen Sie die Kontaktlänge  $l_k$  für die verschiedenen Schleifverfahren, wenn die Zustellung  $a = 0,02$  mm ist. Für Fall 1 und Fall 3 ist die Formel gegeben.
- Bestimmen Sie für jedes Schleifverfahren das Geschwindigkeitsverhältnis  $q$  nach TB, wenn Stahl bearbeitet wird.
- welcher Zusammenhang besteht zwischen Kontaktlänge  $l_k$  und Geschwindigkeitsverhältnis  $q$ ?

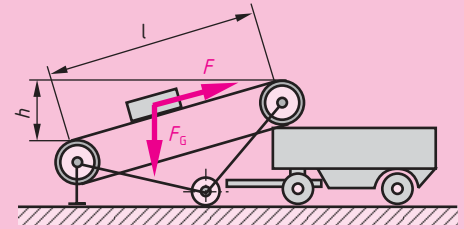
# 25 Schiefe Ebene und Schraube

## Schiefe Ebene

Mithilfe einer schiefen Ebene kann Kraft gespart werden, jedoch ist ein größerer Weg zurückzulegen. Vernachlässigt man die Reibung, dann gilt:

Arbeit auf der schiefen Ebene = Hubarbeit  
 Zugkraft  $\times$  Kraftweg = Gewichtskraft der Last  $\times$  Hubhöhe

$$F \cdot l = F_G \cdot h$$



## Schraube – Beispiel Schraubstock

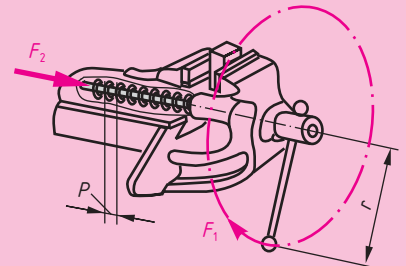
### Beispiel: Schraubstock

Auch bei einer Schraube gilt:

Aufgebrachte Arbeit = Gewonnene Arbeit  
 Handkraft  $\times$  Handweg = Spannkraft  $\times$  Steigung

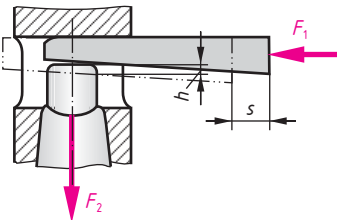
$$F_1 \cdot 2 \cdot r \cdot \pi = F_2 \cdot P$$

$$F_1 \cdot d \cdot \pi = F_2 \cdot P$$



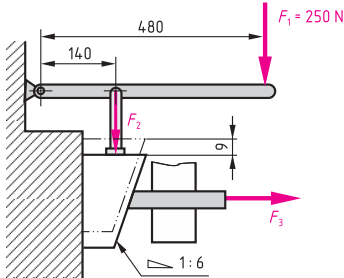
## Aufgaben zur schiefen Ebene und Schraube

### 25.1 Keilwirkung



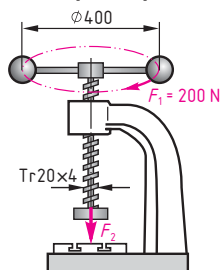
Zum Austreiben eines Werkzeugkegels wird eine Kraft  $F_1 = 30 \text{ N}$  aufgebracht. Der Austreiber legt den Weg  $s = 5 \text{ mm}$  zurück, wobei die Höhe um  $h = 1,5 \text{ mm}$  zunimmt. Wie groß ist die Austreibkraft  $F_2$  in der Richtung der Kegelachse?

### 25.2 Auswerfer



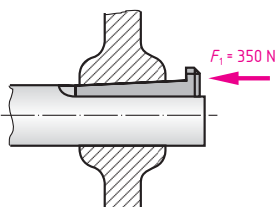
- a) Wie groß ist die Kraft  $F_2$  auf den Keil
- b) Welche Kraft  $F_3$  wirkt am Auswerfer?

### 25.3 Spindelpresse



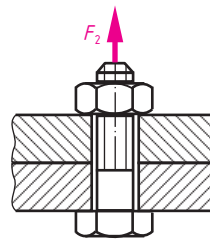
Welche Presskraft  $F_2$  wirkt bei der vorgegebenen Handkraft?

### 25.4 Nasenkeil nach DIN 6887



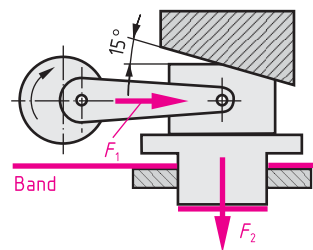
Ermitteln Sie die Kraft  $F_2$ , mit der der Keil die Nabe auseinanderdrückt.

### 25.5 Schraubverbindung M 10 $\times$ 1



- a) Wie groß ist die Kraft  $F_2$  wenn die Schraube mit einem Schlüssel mit der Länge 210 mm mit einer Handkraft  $F_1 = 100 \text{ N}$  angezogen wird?
- b) Welche Kraft  $F_2$  stellt sich mit dem Regelgewinde ein?

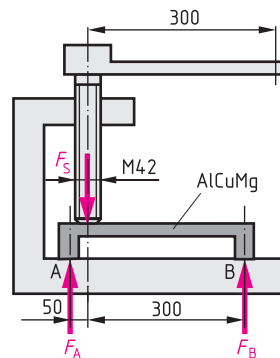
### 25.6 Scherkraft



Ein Schnittteil soll vom Band abgeschnitten werden. Die Teile werden mit einer Keiltriebpresse hergestellt.

- a) Bestimmen Sie die erforderliche Kraft  $F_1$ , wenn die gesamte Trennkraft  $F_2 = 70,5 \text{ kN}$  beträgt.
- b) Berechnen Sie die erforderliche Stößelkraft  $F_1$ , wenn der Wirkungsgrad 70% beträgt.

### 25.7 Spannvorrichtung



Eine Spannvorrichtung soll mit einer Handkraft  $F_H = 180 \text{ N}$  ein Werkstück AlCuMg spannen.

- a) Berechnen Sie die Spannkraft  $F_S$  der Schraube, wenn der Wirkungsgrad  $\eta = 0,3$  beträgt.
- b) Bestimmen Sie die Einzelspannkraft  $F_A$  und  $F_B$ .
- c) Überprüfen Sie, ob die gewählte Schraube Selbsthemmung ( $\alpha < 6^\circ$ ) besitzt.
- d) Ist die Flächenpressung zwischen Spannschraube und Werkstück zulässig, wenn mit dem Kerndurchmesser gerechnet wird?

## Elektrische Leistung

Im Gleichstromkreis und im Wechselstromkreis ohne Phasenverschiebung (ohne Spulen und Kondensatoren) errechnet man die elektrische Leistung wie folgt:

Elektrische Leistung = Spannung × Stromstärke

$$P = U \cdot I$$

$$U = I \cdot R$$

$$P = I^2 \cdot R$$

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

### Bezeichnungen und Einheiten:

$P$	Leistung in W (Watt)
$U$	Spannung in V
$I$	Stromstärke in A
$\cos \varphi$	Leistungsfaktor (sprich: phi)

Im Wechselstromkreis mit Spulen oder Kondensatoren ist die Leistung kleiner als im Stromkreis mit ohmscher Belastung. Es ist der Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  mit Werten zwischen 0,5 und 0,9 zu berücksichtigen.

Elektrische Wirkleistung = Spannung × Strom × Leistungsfaktor

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

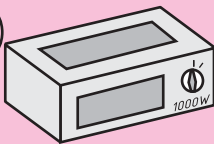
Im Dreiphasenwechselstromkreis (Drehstrom) muss bei der Leistungsberechnung die Verkettung des Stromes aus drei Wechselströmen mit dem Wert  $\sqrt{3}$  berücksichtigt werden.

Elektrische Wirkleistung = Verkettungsfaktor × Spannung × Stromstärke × Leistungsfaktor

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

## Elektrische Arbeit

Einschaltzeit



Ausschaltzeit



Die Umwandlung (Verbrauch) elektrischer Energie hängt von der Leistungsaufnahme des angeschlossenen Geräts und der Einschaltzeit ab. Je größer die elektrische Leistung und die Zeit, desto größer ist die elektrische Arbeit.

Elektrische Arbeit = Elektrische Leistung × Zeit

$$W = P \cdot t$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$W = U \cdot I \cdot t$$

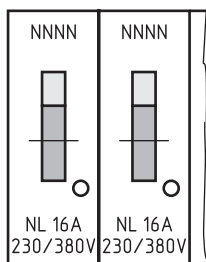
### Bezeichnungen und Einheiten:

$W$	elektrische Arbeit in kWh
$P$	Elektrische Leistung in kW
$t$	Zeit in h (Stunden)

$$1000 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ kWh}$$

## Aufgaben zu Leistung und Arbeit

### 27.9 Sicherungs-Automaten



Gesucht:

- Leistung in Watt, die in einem Stromkreis bei 220 V entnommen werden kann.
- Es ist bereits ein Heizlüfter mit 1,8 kW angeschlossen. Kann noch eine Heizplatte mit 2000 Watt angeschlossen werden?

### 27.10 Glühlampe

Eine Kfz-Glühlampe mit 21 Watt nimmt einen Strom von 1,75 A auf.

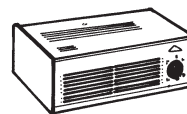
Gesucht:

- Spannung
- Widerstand

### 27.11 Trockenofen

Die Heizdrähte eines elektrischen Heizgebläses für einen Trockenofen wandeln 4,71 kW in Wärme um und nehmen dabei einen Strom von 12,4 A auf. Berechnen Sie den Widerstand der Heizdrähte.

### 27.12 Heizlüfter zur Raumheizung



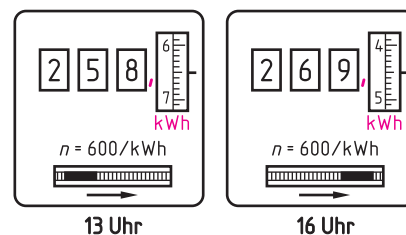
Heizleistung 2000 W  
tägliche Betriebsdauer  
8 Stunden  
1 kWh kostet 0,22 €

Gesucht:

- elektrische Arbeit in kWh pro Tag
- Stromkosten im Monat (bei 30 Tagen)
- Wie lange kann der Heizlüfter für 0,50 € betrieben werden?

### 27.13 Ein Elektromotor von 5 kW Nennleistung

hat folgenden Verbrauch:



Gesucht:

- elektrische Arbeit
- Mittlere Leistungsaufnahme
- Stromkosten pro Stunde wenn 1 kWh 0,15 € kostet

# 28 Berechnungen zur Hydraulik und Pneumatik

## Kolbenkräfte

### Theoretische Kolbenkraft:

$$F_{th} = p_e \cdot A$$

Unter Berücksichtigung der Reibungsverluste erhält man die **wirksame Kolbenkraft**:

$$F = F_{th} - F_R \quad \text{oder} \quad F = p_e \cdot A \cdot \eta$$

$$F = p_e \cdot A - F_R$$

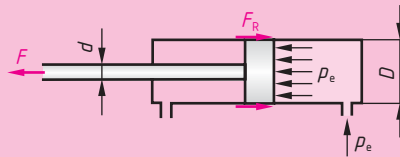
### Wirksame Kolbenfläche bei Vorhub:

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

### Rückhub:

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

\*  $F_R$  berücksichtigt die Reibungsverluste (etwa 10–15% von  $F_{th}$ )

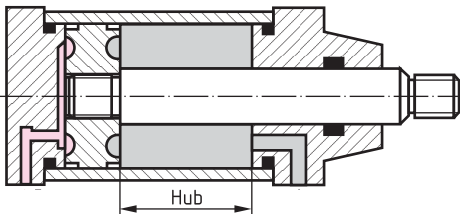


### Bezeichnungen:

- $F$  wirksame Kolbenkraft
- $F_{th}$  theoretische Kolbenkraft
- $F_R$  Reibungskraft \*
- $D$  Zylinderdurchmesser
- $d$  Kolbenstangendurchmesser
- $A$  wirksame Kolbenfläche
- $p_e$  Flüssigkeitsdruck
- $\eta$  Wirkungsgrad

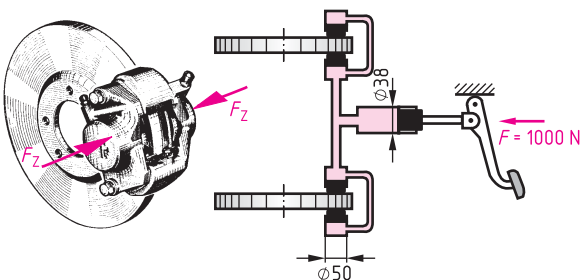
## Aufgaben zu Kolbenkräften

### 28.1 Hydraulikzylinder



Wie groß sind die Kolbenkräfte im Vorlauf und im Rücklauf, wenn der Kolbendurchmesser  $D = 80$  mm, der Durchmesser der Kolbenstange  $d = 30$  mm und der Betriebsdruck  $p_e = 30$  bar betragen? Aufgrund der Reibung beträgt der Wirkungsgrad  $\eta = 90\%$ .

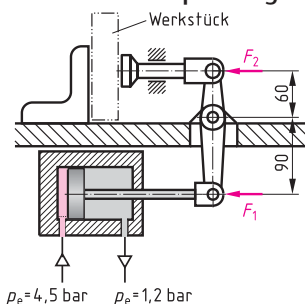
### 28.2 Scheibenbremse



Berechnen Sie:

- a) den Druck  $p$  im Hydrauliköl
- b) die Kraft  $F_2$  eines Bremszylinders

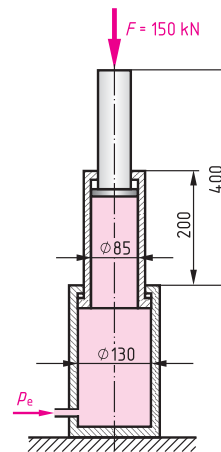
### 28.3 Werkstückspannung mit Druckluft



Für die abgebildete Werkstückspannung wird ein Pneumatikzylinder mit einem Kolbendurchmesser  $D = 80$  mm eingesetzt. Der Kolbenstangendurchmesser ist gegenüber dem Kolbendurchmesser vernachlässigbar klein.

- a) Berechnen Sie die Kolbenkraft  $F_1$  am Hebel
- b) Welche Kraft  $F_2$  wird auf das Werkstück ausgeübt?

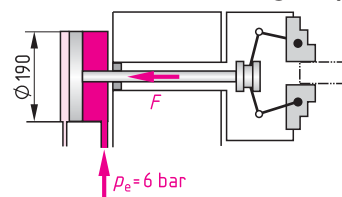
### 28.4 Hydraulischer Teleskop-Zylinder



Bei Teleskopzylindern fahren zuerst beide Kolben gemeinsam aus. Danach folgt dann der Kolben mit der nächst kleineren Fläche. Für einen Anwendungsfall soll die Kraft  $F = 150$  kN konstant bleiben, der Wirkungsgrad beträgt jeweils  $\eta = 0,87$ .

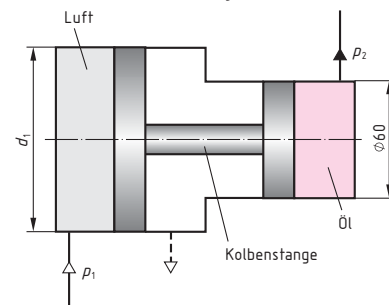
- a) Berechnen Sie den Druck  $p_{e1}$  (in bar) für den Hub bis 200 mm.
- b) Bestimmen Sie durch Rechnung den Druck  $p_{e2}$  für den Hub von 200 mm bis 400 mm.

### 28.5 Pneumatisch betätigtes Spannfutter



Berechnen Sie die Kraft  $F$  an der Kolbenstange.

### 28.6 Pneumatisch-hydraulischer Druckübersetzer



Der Druckübersetzer vervielfacht den Luftdruck im Verhältnis der Kolbenflächen.

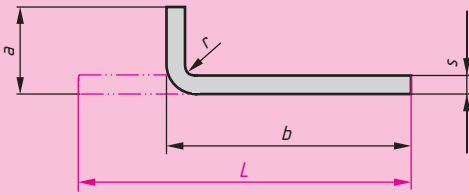
Für eine Spannvorrichtung benötigt man einen Öldruck von  $p_2 = 48$  bar. Im Druckluftnetz steht ein Druck von  $p_1 = 6$  bar zur Verfügung. Der Öldruckzylinder ist mit  $d_2 = 60$  mm angegeben.

- a) Berechnen Sie die Kraft  $F_2$ , welche die Kolbenstange übertragen muss.
- b) Berechnen Sie den erforderlichen Durchmesser  $d_1$  des Druckluftzylinders.



# 35 Berechnungen zum Biegen

## 1. Gestreckte Länge bei 90°-Biege teilen

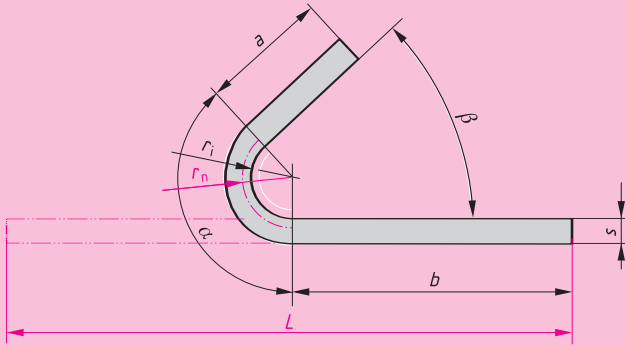


$$L = a + b + \dots - n \cdot v$$

### Bezeichnungen:

- $L$  gestreckte Länge
- $a, b, \dots$  Schenkellänge
- $s$  Blechdicke
- $r$  Biegeradius (innen)
- $n$  Anzahl der Biegestellen
- $v$  Ausgleichswerte nach TB

## 2. Gestreckte Länge bei beliebigem Biegewinkel



$$L = a + b + \frac{\pi \cdot r_n \cdot \alpha}{180^\circ}$$

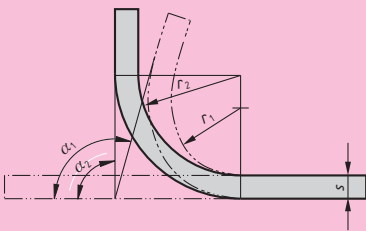
- $\alpha$  Biegewinkel
- $r_i$  Biegeradius innen
- $r_n$  Radius der neutralen Faser
- $k$  Korrekturfaktor
- $\beta$  Öffnungswinkel

Die Lage der neutralen Faser hängt ab vom Biegeverhältnis  $\frac{r_i}{s}$

$$r_n = r_i + \frac{s}{2} \cdot k$$

Die Werte des Korrekturfaktors  $k$  zur Verschiebung der neutralen Faser entnimmt man dem Tabellenbuch.

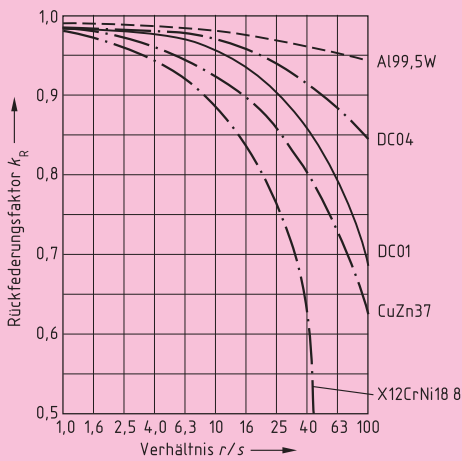
## 3. Rückfederung beim Biegen



$$k_R = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$$

- $k_R$  Rückfederungsfaktor
- $r_1$  Radius am Biegewerkzeug
- $r_2$  Radius am Werkstück
- $\alpha_1$  Winkel am Werkzeug
- $\alpha_2$  Biegewinkel (Winkel am Werkstück)
- $s$  Blechdicke

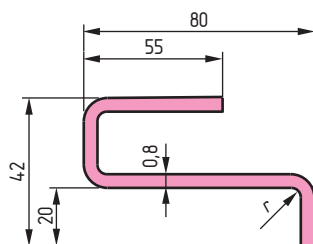
$$k_R = \frac{r_1 + \frac{s}{2}}{r_2 + \frac{s}{2}}$$



In der Biegezone entstehen Spannungen, die nach dem Biegevorgang frei werden und zu einer geringen Rückfederung führen. Diese Rückfederung muss durch die Vergrößerung des Biegewinkels berücksichtigt werden. Der Rückfederungsfaktor  $k_R$  hängt vom Werkstoff des Biegeteils und vom Verhältnis  $r_2/s$  ab. Die  $k_R$ -Werte entnimmt man dem Tabellenbuch oder dem nebenstehenden Diagramm.

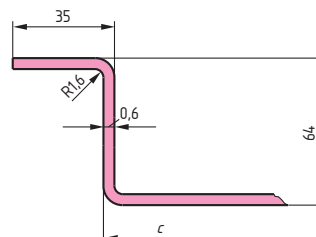
## Aufgaben zur Berechnung von Biegewerkzeugen

### 35.1 Anschlagblech



- Bestimmen Sie folgende Kenndaten:
- Kleinsten zulässiger Biegeradius  $r$  für Stahlblech E335 nach TB
  - Ausgleichswert  $v$  je Biegestelle
  - Gestreckte Länge  $L$

### 35.2 Lasche

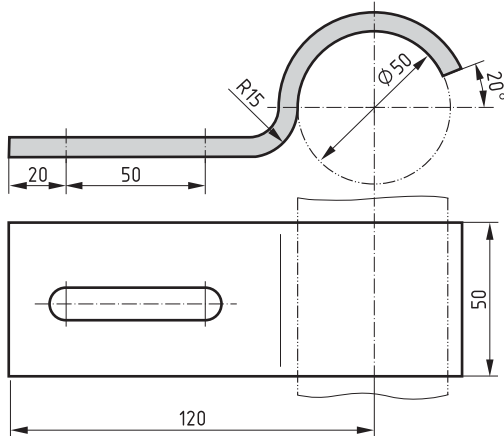


- 300 mm lange Abfallstücke aus Al 99,5 erhalten zwei 90°-Biegekanten.
- Bestimmen Sie die Länge  $c$  des freien Schenkels.

# Teil B Mathematisch orientierte Projekte zu den Lernfeldern

## P1 Fertigen mit handgeführten Werkzeugen

### P1.1 Spannbügel für Wellen



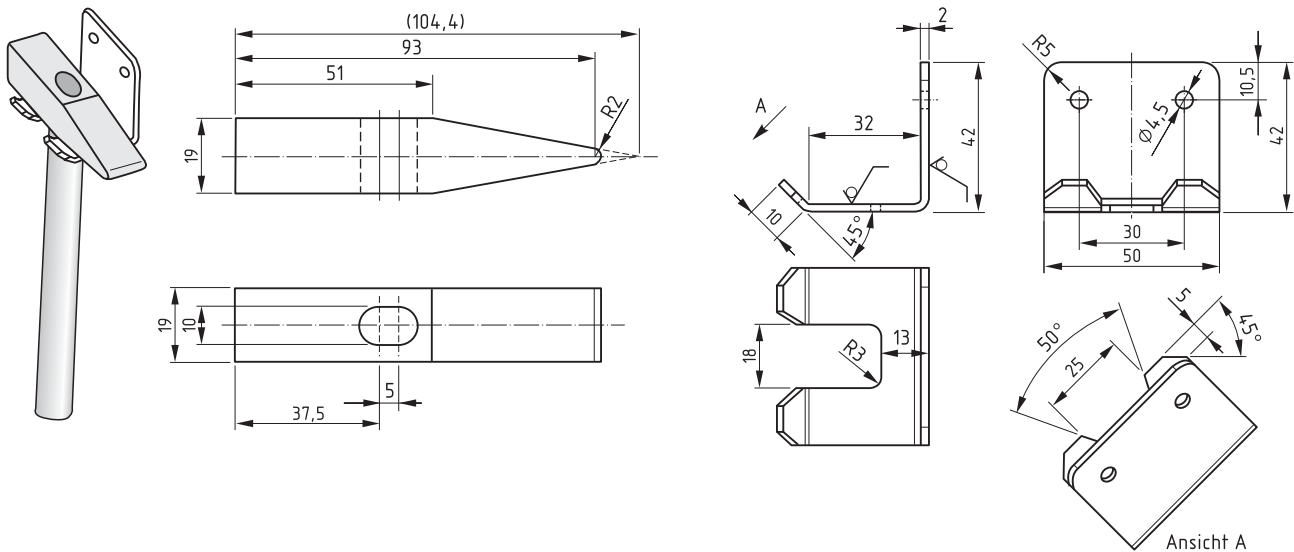
Flach 50 × 5 DIN 1017-S235JR

Zum Befestigen einer Welle sollen 10 Spannbügel hergestellt werden.

- Berechnen Sie die gestreckte Länge eines Bügels ohne Berücksichtigung eines Korrekturfaktors.
- Bestimmen Sie mit dem TB den Durchmesser des Langlochs  $d_h$  der Reihe mittel für eine Befestigungsschraube M 10.
- Berechnen Sie die Masse eines Bügels.
- Wie viel Gramm Zink werden für alle 10 Spannbügel beim Feuerverzinken verbraucht, wenn allseitig ein Auftrag von 50  $\mu\text{m}$  Schichtdicke erfolgt?
- Wie viele Spannbügel könnten aus einem Flachstahlstab der Länge 5 m abgesägt werden, wenn die Schnittfugenbreite 1,8 mm beträgt?
- Berechnen Sie die Kosten des Stahls für 10 Spannbügel, wenn der Stahlpreis 1,57 €/kg beträgt.

### P1.2 Schlosserhammer mit Halter

Für den Weihnachtsmarkt der Schule sollen 100 Hämmer gefertigt werden.



Der Hammerkopf wird aus C70U, der Stiel aus PE-LD und der Halter aus EN AW-ALMg3-H111 hergestellt.

- Erklären Sie die Werkstoffbezeichnungen
- Bestimmen Sie die Dichte der verwendeten Werkstoffe.
- Der Stiel hat einen Durchmesser von 18 mm und eine Gesamtlänge von 23 cm. Berechnen Sie die Masse des Stiels.
- Berechnen Sie die Masse des Hammerkopfs. Vernachlässigen Sie dabei die Rundung der Hammerfinne.
- Wie wird der Hammer bezeichnet?
- Der Werkstoff für den Hammerkopf wird als Vierkantstab EN 10059-20 x 6000 F Stahl DIN EN ISO 4957-C70U eingekauft. Berechnen Sie wie viele Stangen bei einer Bearbeitungszugabe von 2 mm und einer Sägeblattstärke von 3,5 mm gekauft werden müssen.
- Bestimmen Sie den Materialpreis für einen Hammerkopf, wenn 1 kg Stahl 1,57 € kostet.
- Welchen Verkaufspreis muss der Hammerkopf erzielen, wenn die Herstellung pro Hammerkopf 21 Minuten dauert? Fertigungslöhne werden mit 22 € pro Stunde, Fertigungsgemeinkosten mit 60% der Fertigungslöhne und der Gewinn mit 15% der Selbstkosten berechnet.
- Bei der Kontrolle eines Hammers wird die Höhe mit 18,9 mm, die Breite mit 19,3 mm und die Länge mit 95,3 mm bestimmt. Beurteilen Sie die gemessenen Werte, wenn in der Zeichnung Allgmeintoleranzen nach DIN ISO 2768m gefordert sind. Welche Maßnahmen sind nötig?
- Bestimmen Sie den Mindestbiegeradius für die Herstellung der 90° Biegung.
- Berechnen Sie die gestreckte Länge für den Zuschnitt des Halters mit Hilfe der neutralen Faser. (Annahme die neutrale Faser liegt in der Mitte der Blechdicke).
- Wie viele Halter können aus einer Blechtafel 1 m x 2 m hergestellt werden?
- Bestimmen Sie den Materialpreis des Halters, wenn ein kg Aluminiumblech 6,10 € kostet.
- Wählen Sie einen geeigneten Bohrer zum Herstellen der Befestigungsbohrung aus und berechnen Sie die an der Bohrmaschine einzustellende Drehzahl.
- Wählen Sie eine geeignete Schraube mit Mutter, Unterlegscheibe und Schraubensicherung aus, um den Halter an einer 1,5 mm dicken Lochblechwand zu befestigen.