

## Bachelor-Teilprüfung

# EINFÜHRUNG IN DIE FESTIGKEITSLEHRE

Prüfer: Prof. Dr. rer. nat. S. Schmauder

Datum: 22.09.2014

Prüfungsdauer: 60 min

Die Prüfungsergebnisse werden voraussichtlich ab KW 45 im LSF bekannt gegeben.  
Die Wiederholerinnen und Wiederholer sind verpflichtet, die Prüfungsergebnisse einzusehen  
und sich ggf. unverzüglich für die mündliche Nachprüfung am IMWF zu melden.

|                             |                                                           |              |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------|
| Name                        | Matrikelnummer                                            | Unterschrift |
| Studiengang                 |                                                           |              |
| Wiederholerin / Wiederholer | <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja |              |

**Nur die auf dem Aufgabenblatt eingetragenen Lösungen und Rechenwege  
werden eingesammelt und bewertet!**

**Viel Erfolg!**

***Diese Tabelle darf nur von den Korrektoren ausgefüllt werden!***

|    |    |    |    |    |    |    |  |  |
|----|----|----|----|----|----|----|--|--|
| 1a | 1b | 1c | 1d | 1e | 1f | 1g |  |  |
|    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| 2a | 2b | 2c | 2d |    |    |    |  |  |
|    |    |    |    |    |    |    |  |  |

## Aufgabe 1:

(42 Punkte)

Die Strebe einer Verkehrsampel ist als gerade, zylindrische Hohlstruktur mit dem Innendurchmesser  $\varnothing d = 65 \text{ mm}$ , der Wanddicke  $s = 7,5 \text{ mm}$  und der Länge  $L = 2300 \text{ mm}$  ausgeführt, siehe Abbildung 1.1. Die Strebe wird aus dem Werkstoff S355 hergestellt. Die Oberfläche der Strebe ist geschlichtet.

**Hinweise:** Verwenden Sie bei Berechnungen, wenn nötig, die Schubspannungshypothese (SH) und nehmen Sie ggf. sinnvolle Hilfswerte an, wenn Sie eine Teilaufgabe nicht lösen können.

Die Kerbwirkung an der Einspannstelle (links) muss nicht berücksichtigt werden! Der Querkraftschub ist ebenfalls vernachlässigbar.

### Stahl S355:

$R_e = 355 \text{ MPa}$ ,  $R_m = 500 \text{ MPa}$ ,  $A_5 = 22 \%$ , E-Modul =  $210 \text{ GPa}$ ,  $\mu = 0,3$ .

$\sigma_{bW, \text{poliert}} = 250 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_{bW, \text{geschlichtet}} = 200 \text{ MPa}$

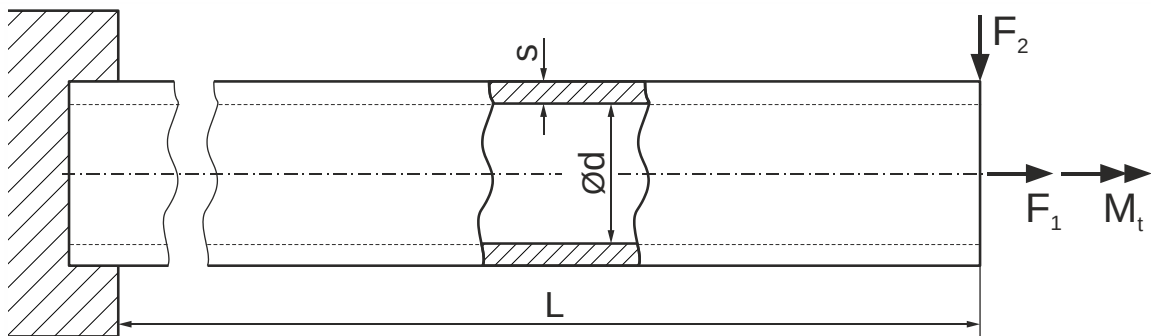


Abbildung 1.1: Strebe einer Verkehrsampel (Hohlprofil) aus S355.

Zur Auslegung der Strebe werden zunächst die Belastungen  $F_1$ ,  $F_2$  und  $M_t$  getrennt voneinander untersucht.

a) Es wirkt nur die statische Kraft  $F_1 = 390 \text{ kN}$ .

Um welchen Betrag  $\Delta L$  verlängert sich dadurch die Strebe? Wie groß ist die Sicherheit gegen Fließen? Ist diese Sicherheit ausreichend? Begründen Sie Ihre Antwort.

| Rechenweg                |          |
|--------------------------|----------|
| Lösung                   | Ergebnis |
| Verlängerung der Strebe  |          |
| Sicherheit gegen Fließen |          |

b) Es wirkt nur die rein wechselnde Kraft  $\pm F_2 = 1250 \text{ N}$ .

Wo befindet sich hierbei der höchstbeanspruchte Querschnitt der Strebe? Wie groß ist die Sicherheit gegen Schwingungsbruch? Ist diese Sicherheit ausreichend? Begründen Sie Ihre Antwort.

|                                   |                 |
|-----------------------------------|-----------------|
| Rechenweg                         |                 |
| <b>Lösung</b>                     | <b>Ergebnis</b> |
| Sicherheit gegen Schwingungsbruch |                 |

c) Es wirkt nur das statische Torsionsmoment  $M_t$ .

Wo und bei welchem statischen Torsionsmoment  $M_t$  setzt an der Strebe plastisches Fließen ein?

|                                |                 |
|--------------------------------|-----------------|
| Rechenweg                      |                 |
| <b>Lösung</b>                  | <b>Ergebnis</b> |
| Torsionsmoment bei Fließbeginn |                 |

Im Rahmen einer Umbaumaßnahme muss die Strebe nun als abgesetzter Vollstab ( $L_1 = 1625 \text{ mm}$ ,  $L = 2300 \text{ mm}$ ) mit polierter Oberfläche ausgeführt werden, siehe Abbildung 1.2.

Die Belastungen  $F_1$ ,  $F_2$  und  $M_t$  können im Folgenden auch in Kombination auftreten.

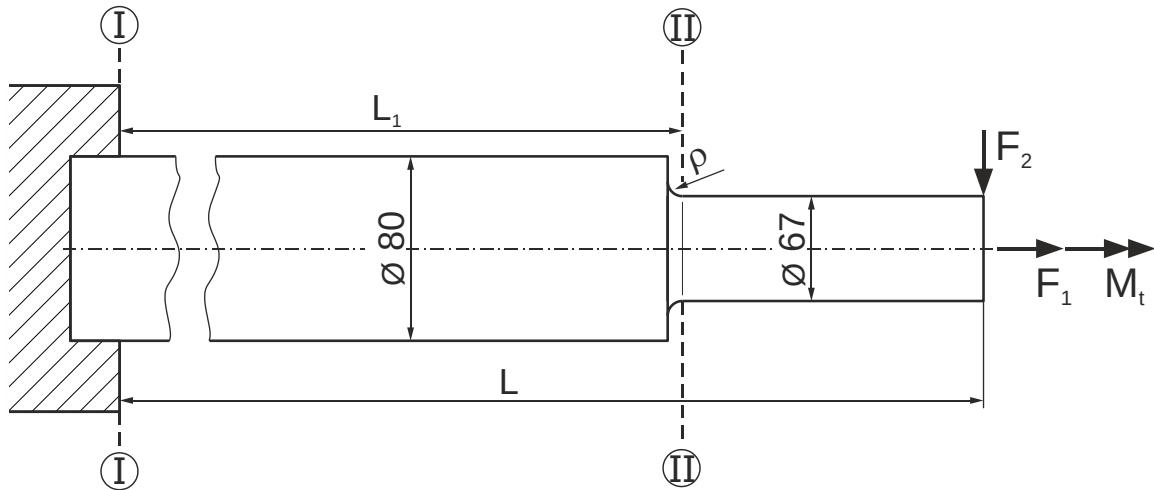


Abbildung 1.2: Neue Strebe (abgesetzter Vollstab) aus S355; Längeneinheit: mm.

- d) Die statische Kraft  $F_1 = 315 \text{ kN}$  und die rein wechselnde Kraft  $F_2 = \pm 2500 \text{ N}$  wirken gleichzeitig auf die Strebe aus Abbildung 1.2.

Welche Versagensarten können auftreten? Wie groß sind die entsprechenden Sicherheiten im Querschnitt I-I? Sind diese ausreichend? Begründen Sie Ihre Antwort.

|           |  |
|-----------|--|
| Rechenweg |  |
|-----------|--|

Fortsetzung Aufgabe 1d)

|                |                 |
|----------------|-----------------|
| Rechenweg      |                 |
| <b>Lösung</b>  | <b>Ergebnis</b> |
| Versagensarten |                 |
| Sicherheiten   |                 |

- e) Die statische Kraft  $F_1$  und das statische Torsionsmoment  $M_t = 500 \text{ Nm}$  wirken gleichzeitig auf die Strebe aus Abbildung 1.2.

Wie groß darf die statische Kraft  $F_1$  maximal werden, damit im Querschnitt I-I eine Sicherheit gegen Bruch von mindestens 2,5 gewährleistet ist?

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| Rechenweg            |                 |
| <b>Lösung</b>        | <b>Ergebnis</b> |
| Maximale Kraft $F_1$ |                 |

f) Es wirkt nur eine statische Kraft  $F_2 = 1000 \text{ N}$  auf die Strebe aus Abbildung 1.2.

Mit welchem Radius  $\rho$  muss der Absatz ausgeführt werden, damit die Maximalspannungen in den Querschnitten I-I und II-II gleich groß sind? Wie groß müsste der Radius  $\rho$  sein, wenn die statische Kraft  $F_2 = 2000 \text{ N}$  wirkt?

|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| Rechenweg         |                 |
| <b>Lösung</b>     | <b>Ergebnis</b> |
| Kerbradius $\rho$ |                 |

- g) Die Strebe aus Abbildung 1.2 wird nur durch die rein wechselnde Kraft  $F_1 = \pm 150 \text{ kN}$  belastet.

Wie groß muss die Zug-/Druck-Wechselfestigkeit  $\sigma_{zdw}$  des Stahls S355 mindestens sein, um Versagen durch Schwingungsbruch im Querschnitt II-II mit einer Sicherheit von 2,3 auszuschließen? Der Absatz ist nun mit  $\rho = 2,7 \text{ mm}$  gefertigt.

|                              |                 |
|------------------------------|-----------------|
| Rechenweg                    |                 |
| <b>Lösung</b>                | <b>Ergebnis</b> |
| Zug-/Druck-Wechselfestigkeit |                 |

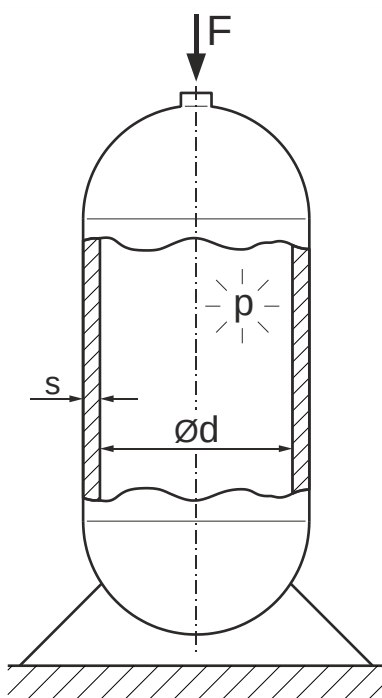
Leerseite

## Aufgabe 2:

(20 Punkte)

Ein dünnwandiger Druckbehälter aus Messing (CuZn 30) ist normalerweise durch den statischen Innendruck  $p$  belastet. Bei bestimmten Betriebszuständen tritt vorübergehend eine zusätzliche statische Kraft  $F$  auf, siehe Abbildung 2.1.

**Hinweis:** Verwenden Sie bei Berechnungen, wenn nötig, die Schubspannungshypothese (SH) und nehmen Sie ggf. sinnvolle Hilfswerte an, wenn Sie eine Teilaufgabe nicht lösen können. Bei sämtlichen Berechnungen ist nur der zylindrische Bereich zu berücksichtigen!



### Messing CuZn 30:

$R_{p0,2} = 180 \text{ MPa}$ ,  $R_m = 375 \text{ MPa}$ ,  $A_5 = 46 \%$ ;

E-Modul =  $115500 \text{ MPa}$ ;  $\mu = 0,35$

Innendurchmesser:  $d = 168 \text{ mm}$

Wanddicke:  $s = 6 \text{ mm}$

Abbildung 2.1: Dünnwandiger Druckbehälter aus Messing.

Der dünnwandige Druckbehälter aus Messing wird zunächst nur durch den statischen Innendruck  $p$  belastet.

- a) Welcher Innendruck (in bar) erzeugt eine Umfangsspannung von  $\sigma_u = 126 \text{ MPa}$  ?  
 Wie groß sind bei dieser Belastung die Längsspannung  $\sigma_L$  und die Radialspannung  $\sigma_r$  an der Innenseite des dünnwandigen Druckbehälters?

| Rechenweg |                           |          |
|-----------|---------------------------|----------|
|           |                           |          |
|           |                           |          |
|           |                           |          |
|           |                           |          |
|           | Lösung                    | Ergebnis |
|           | Innendruck $p$            |          |
|           | Längsspannung $\sigma_L$  |          |
|           | Radialspannung $\sigma_r$ |          |

- b) Um welchen Betrag vergrößert sich der Außendurchmesser des Druckbehälters infolge eines Innendrucks von  $p = 100 \text{ bar}$ ?

|                                               |                 |
|-----------------------------------------------|-----------------|
| Rechenweg                                     |                 |
| <b>Lösung</b>                                 | <b>Ergebnis</b> |
| Vergrößerung $\Delta D$ des Außendurchmessers |                 |

Im Folgenden wird der dünnwandige Druckbehälter gleichzeitig durch den statischen Innendruck  $p = 80 \text{ bar}$  und die statische Kraft  $F = 6550 \text{ N}$  belastet.

- c) Wie groß sind die Hauptspannungen  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$  bei der kombinierten Belastung durch Innendruck und Längskraft an der Innenseite des dünnwandigen Druckbehälters? Ist die Sicherheit gegen Fließen ausreichend? Begründen Sie Ihre Antwort.

| Rechenweg |                          |          |
|-----------|--------------------------|----------|
|           |                          |          |
|           |                          |          |
|           |                          |          |
|           |                          |          |
|           | Lösung                   | Ergebnis |
|           | 1. Hauptspannung         |          |
|           | 2. Hauptspannung         |          |
|           | 3. Hauptspannung         |          |
|           | Sicherheit gegen Fließen |          |

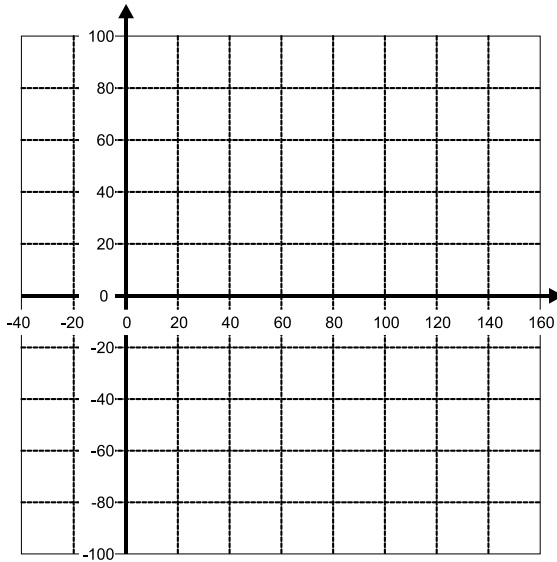
- d) Im Rahmen einer numerischen Spannungsberechnung ergaben sich an der Innenseite des Druckbehälters folgende Spannungskomponenten:

$$\sigma_u = 140 \text{ MPa} \quad \sigma_L = 100 \text{ MPa} \quad \sigma_r = -20 \text{ MPa}.$$

Zeichnen Sie die zugehörigen Mohrschen Spannungskreise in das Schaubild und beschriften Sie die Achsen.

Bestimmen Sie die maximale wirkende Schubspannung  $\tau_{\max}$  dieser Belastung.

Welcher Spannungszustand (ein-, zwei- oder dreiaxig) herrscht an der Innenseite des Druckbehälters? Begründen Sie Ihre Antwort.

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rechenweg          | <div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> <input style="width: 100px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/> </div>  <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <input style="width: 100px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 100px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/> </div> |
| <b>Lösung</b>      | <b>Ergebnis</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| max. Schubspannung |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Spannungszustand   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |