

## Bachelor-Teilprüfung

# EINFÜHRUNG IN DIE FESTIGKEITSLEHRE

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

Datum: 25.03.2015

Prüfungsdauer: 60 min

Die Prüfungsergebnisse werden voraussichtlich ab KW 19 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 |  | Bonus |
|----|----|----|----|----|----|----|--|-------|
|    |    |    |    |    |    |    |  |       |
| 2a | 2b | 2c | 2d | 2e | 2f | 2g |  |       |
|    |    |    |    |    |    |    |  |       |

## Aufgabe 1:

(30 Punkte)

Eine fest eingespannte Haltelasche aus 5 mm dickem Stahlblech (42CrMo4) wird durch eine im Punkt P angreifende Kraft  $F_\alpha$  belastet, siehe Abbildung 1.1. Die Richtung der Kraft  $F_\alpha$  wird durch den Winkel  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$  festgelegt. Die Oberfläche der Haltelasche ist poliert.

**42CrMo4:**  $R_e = 900 \text{ MPa}$  ;  $R_m = 1100 \text{ MPa}$ ;  $E = 210000 \text{ MPa}$  ;  $\mu = 0,3$  ;  $A_5 > 12 \%$

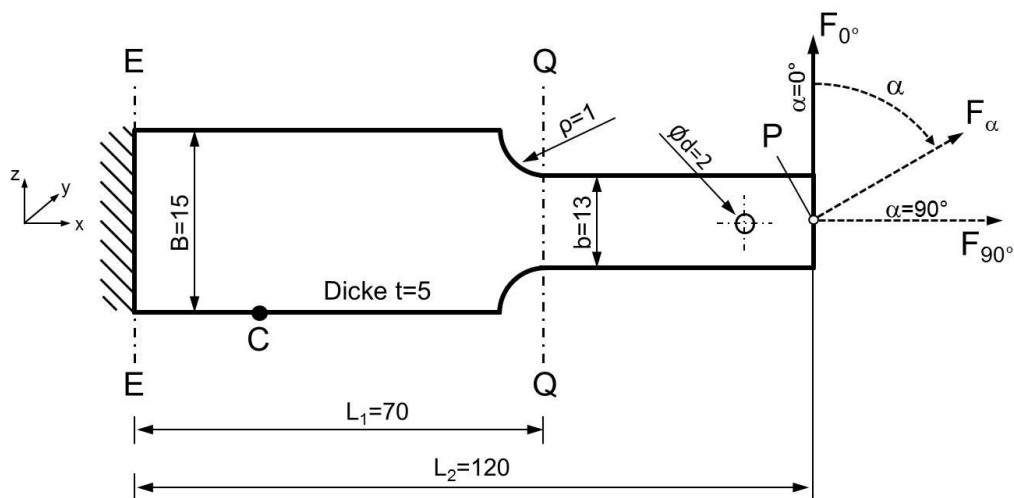
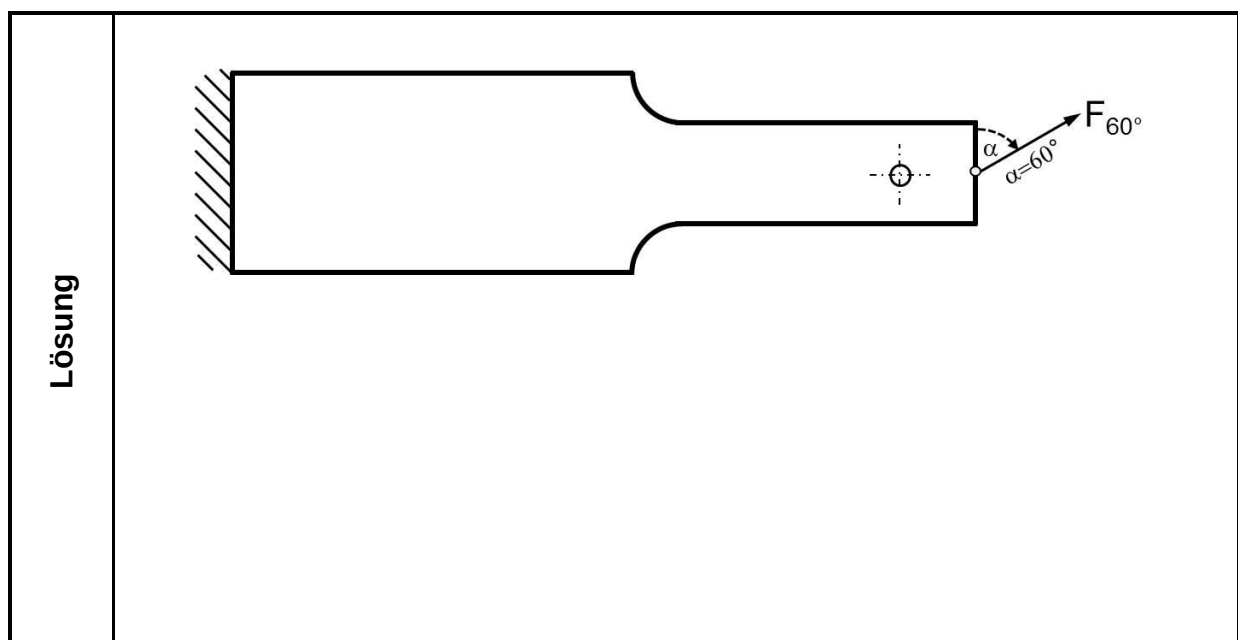


Abbildung 1.1: Haltelasche aus 42CrMo4; Längeneinheit: mm.

- a) Kennzeichnen Sie in untenstehendem Bild die kritischen Bereiche, an denen bei der Kraft  $F_{60^\circ}$  ( $\alpha = 60^\circ$ ) möglicherweise mit Versagen zu rechnen ist und begründen Sie jeweils Ihre Antwort.



- b) Im Betrieb tritt in Punkt C eine Zugspannung von  $\sigma_{\max,C} = 300 \text{ MPa}$  auf. Wie groß darf dort eine zusätzlich wirkende Schubspannung  $\tau_{\max,C}$  maximal werden, damit Fließen im Punkt C mit der üblichen Sicherheit ausgeschlossen werden kann?

|               |                 |
|---------------|-----------------|
| Rechenweg     |                 |
| <b>Lösung</b> | <b>Ergebnis</b> |
| Schubspannung |                 |

- c) Die Haltelasche wird jetzt durch die Kraft  $F_{0^\circ} = 375 \text{ N}$  ( $\alpha = 0^\circ$ ) statisch belastet. Dürfen dabei Schubspannungen, die durch Querkräfte verursacht werden, an der Einspannstelle E – E vernachlässigt werden? Berechnen Sie dazu die Vergleichsspannung einmal mit und einmal ohne Berücksichtigung der Schubspannungen. Begründen Sie Ihre Antwort.
- Berechnen Sie anschließend die Sicherheit gegen Fließen an der Einspannstelle E – E. Ist diese Sicherheit ausreichend?

**Hinweis:**

Die Schubspannung soll konstant über der Fläche wirken. Zudem darf die Kerbwirkung an der Einspannstelle E – E vernachlässigt werden.

|                                                    |                 |
|----------------------------------------------------|-----------------|
| Rechenweg                                          |                 |
| <b>Lösung</b>                                      | <b>Ergebnis</b> |
| Schubspannungen durch Querkräfte vernachlässigbar? |                 |
| Sicherheit gegen Fließen                           |                 |

**Hinweis:**

In den folgenden Aufgabenteilen sind Spannungen infolge des Querkraftschubs zu vernachlässigen.

- d) Im Folgenden wirkt nur die Kraft  $F_{55^\circ} = 500 \text{ N}$  unter einem Winkel  $\alpha = 55^\circ$  auf die Haltelasche. Wie groß ist die Sicherheit gegen Fließen an der Einspannstelle E – E? Ist diese Sicherheit ausreichend? Die Kerbwirkung an der Einspannstelle E – E darf vernachlässigt werden.

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

- e) Nun wird die Haltelasche nur durch die Kraft  $F_{90^\circ}$  unter einem Winkel  $\alpha = 90^\circ$  belastet. Bei welcher Kraft  $F_{90^\circ}$  beginnt der Werkstoff im Querschnittsübergang Q – Q zu fließen?

|                                      |                 |
|--------------------------------------|-----------------|
| Rechenweg                            |                 |
| <b>Lösung</b>                        | <b>Ergebnis</b> |
| Kraft $F_{90^\circ}$ bei Fließbeginn |                 |

- f) Die Gesamtdehnung an der höchstbeanspruchten Stelle im Kerbgrund der Bohrung ist auf 0,5 % zu begrenzen. Berechnen Sie hierfür die entsprechende Kraft  $F_{90^\circ}$  unter einem Winkel  $\alpha = 90^\circ$ .

|                                              |                 |
|----------------------------------------------|-----------------|
| Rechenweg                                    |                 |
| <b>Lösung</b>                                | <b>Ergebnis</b> |
| Kraft $F_{90^\circ}$ bei 0,5 % Gesamtdehnung |                 |

- g) Der statisch wirkenden Kraft  $F_{90^\circ, m} = 10000 \text{ N}$  ( $\alpha = 90^\circ$ ) wird im Betrieb eine rein wechselnde Kraft  $F_{90^\circ, a} = \pm 2500 \text{ N}$  ( $\alpha = 90^\circ$ ) überlagert. Wie groß ist die Sicherheit gegen Schwingungsbruch an der höchstbeanspruchten Stelle im Kerbgrund der Bohrung? Verwenden Sie als Kerbwirkungszahl  $\beta_{k, \text{Bohrung}} = 2,2$ .

**Hinweis:**

Falls Sie Aufgabenteil f) nicht lösen konnten, verwenden Sie eine Formzahl von  $\alpha_{k, \text{Bohrung}} = 2,6$ .

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

## Aufgabe 2:

**(30 Punkte)**

Ein Fußball soll mit einer Handpumpe (siehe Abbildung 2.1) aufgepumpt werden. Zylinder, Stab und Kolben der Pumpe sind aus der Aluminiumlegierung EN AW-2014 gefertigt.

**EN AW-2014:**  $R_e = 270 \text{ MPa}$ ;  $R_m = 410 \text{ MPa}$ ;  $E = 70000 \text{ MPa}$ ;  $\mu = 0,33$ ;  $A_5 = 13 \%$

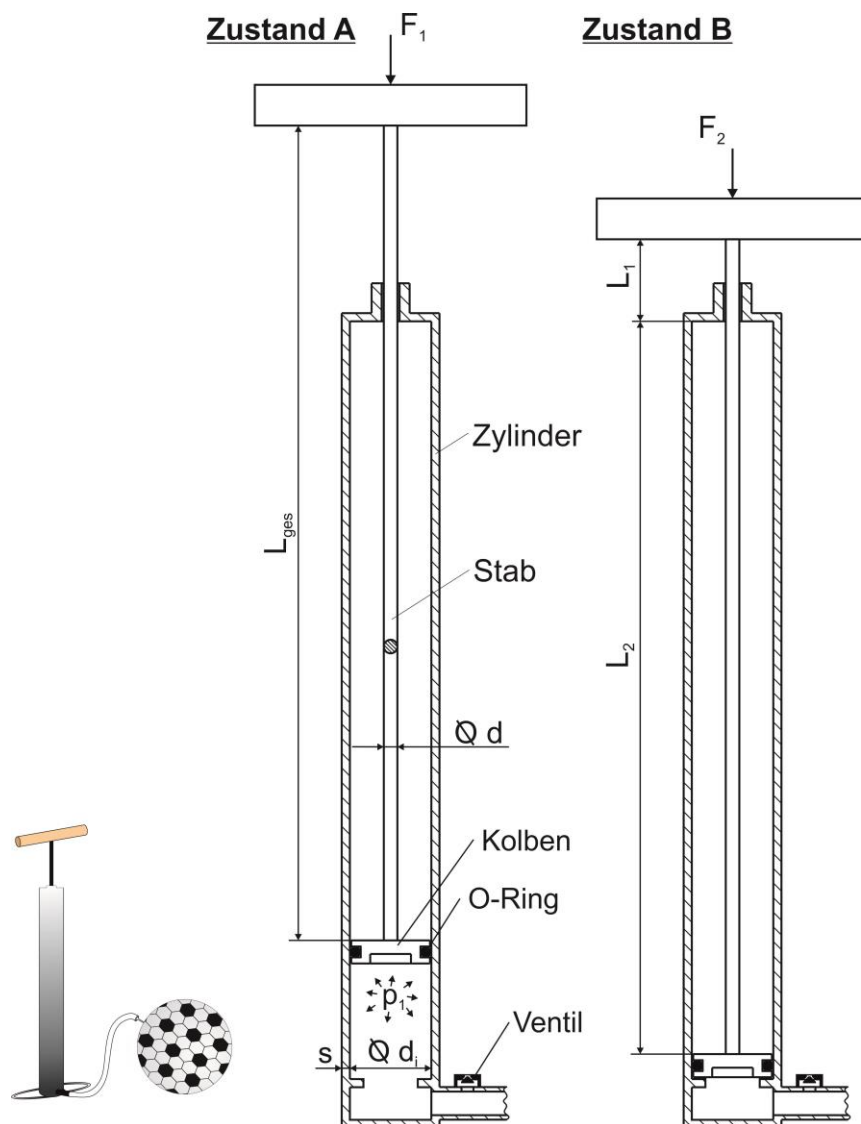


Abbildung 2.1: Ball-Pumpe

$$L_{ges} = 500 \text{ mm}; \quad L_1 = 30 \text{ mm}; \quad L_2 = 470 \text{ mm}; \quad d = 5 \text{ mm}; \quad d_i = 30 \text{ mm}; \quad s = 1 \text{ mm}$$

### Hinweise:

Eventuell auftretende Kerbwirkung sowie der Einfluss von Reibung darf in allen Aufgabenteilen vernachlässigt werden. Der Zylinder der Pumpe darf in allen Aufgabenteilen als dünnwandiger Hohlzylinder behandelt werden.

- a) Nach den Regeln des Weltfußball-Verbands darf der Luftdruck in einem Fußball den Wert von 1,1 bar nicht überschreiten.  
Welche Druckkraft  $F_1$  ist nötig, um in Ball und Pumpe einen Innendruck von  $p_1 = 1,1 \text{ bar}$  zu erzeugen. Berechnen Sie außerdem die auftretende Druckspannung im Stab der Ball-Pumpe.

**Hinweis:**

Es kann ein Lastangriff entsprechend Zustand A in Abbildung 2.1 angenommen werden.

|           |                                 |                 |
|-----------|---------------------------------|-----------------|
| Rechenweg |                                 |                 |
|           |                                 |                 |
|           |                                 |                 |
|           |                                 |                 |
|           | <b>Lösung</b>                   | <b>Ergebnis</b> |
|           | Druckkraft                      |                 |
|           | Druckspannung im Stab der Pumpe |                 |

- b) Um welchen Betrag ändert sich auf Grund der Druckspannung die Länge des Stabes?

**Hinweis:**

Falls Sie Aufgabenteil a) nicht lösen konnten, rechnen Sie mit einer Druckspannung von  $\sigma_d = -4,0\text{MPa}$ .

|                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| Rechenweg                |                 |
| <b>Lösung</b>            | <b>Ergebnis</b> |
| Längenänderung des Stabs |                 |

- c) Zwischen Kolben und Zylinder befindet sich ein O-Ring. Dieser dichtet bis zu einer Aufweitung des Innendurchmessers von 0,03 mm zuverlässig ab. Wie groß darf der Innendruck  $p_2$  (in bar) maximal werden, ohne dass der O-Ring undicht wird?

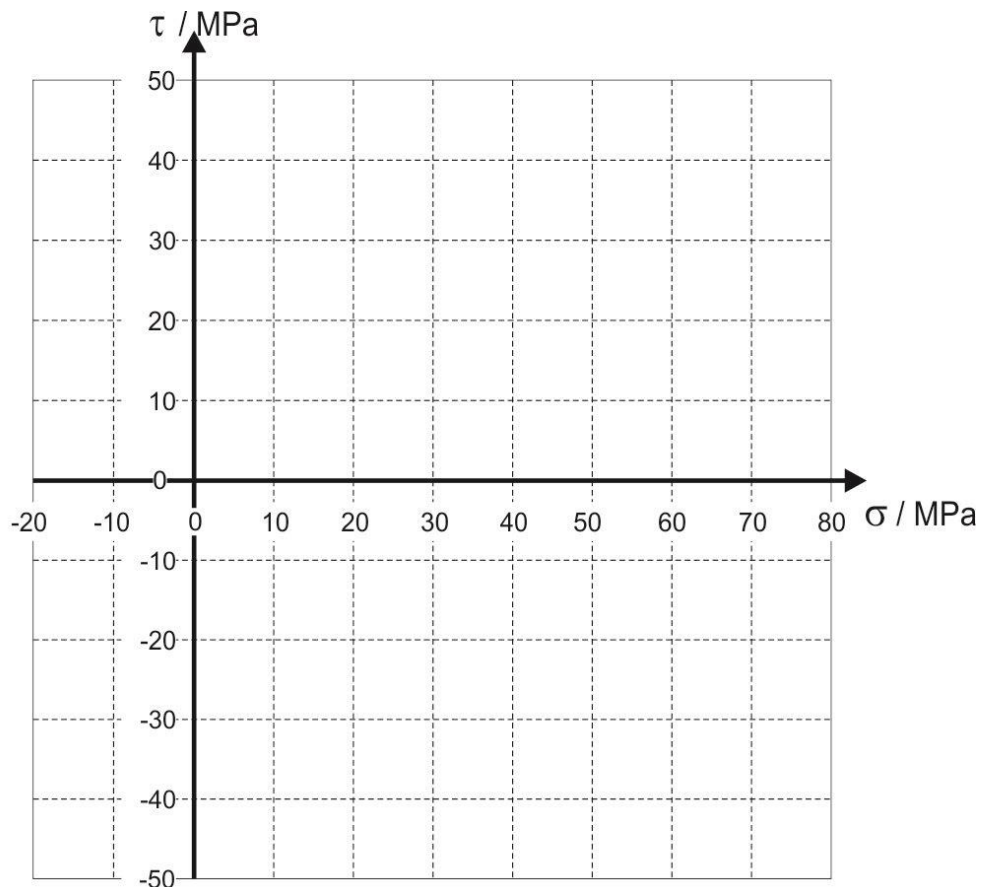
**Hinweis:**

Querdehnungsbehinderung durch die Deckel des Pumpen-Zylinders kann vernachlässigt werden.

|               |                 |
|---------------|-----------------|
| Rechenweg     |                 |
| <b>Lösung</b> | <b>Ergebnis</b> |
| Innendruck    |                 |

- d) Bestimmen Sie für einen Innendruck von  $p_3 = 50 \text{ bar}$  die Umfangs-, Längs- und Radialspannung an der Innenseite des Zylinders. Zeichnen Sie außerdem die Mohr'schen Spannungskreise für die Zylinder-Innenseite und markieren Sie die Hauptspannungen  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  und  $\sigma_3$ .

Rechenweg



| Lösung          | Ergebnis |
|-----------------|----------|
| Umfangsspannung |          |
| Längsspannung   |          |
| Radialspannung  |          |

- e) Der Stab der Pumpe ist vollständig eingefahren (siehe Zustand B in Abbildung 2.1) und es wirkt die Druckkraft  $F_2 = -350\text{N}$ . Kann ein Knicken des Stabes mit Sicherheit ausgeschlossen werden? Berechnen Sie die Sicherheit gegen Knicken.

**Hinweis:**

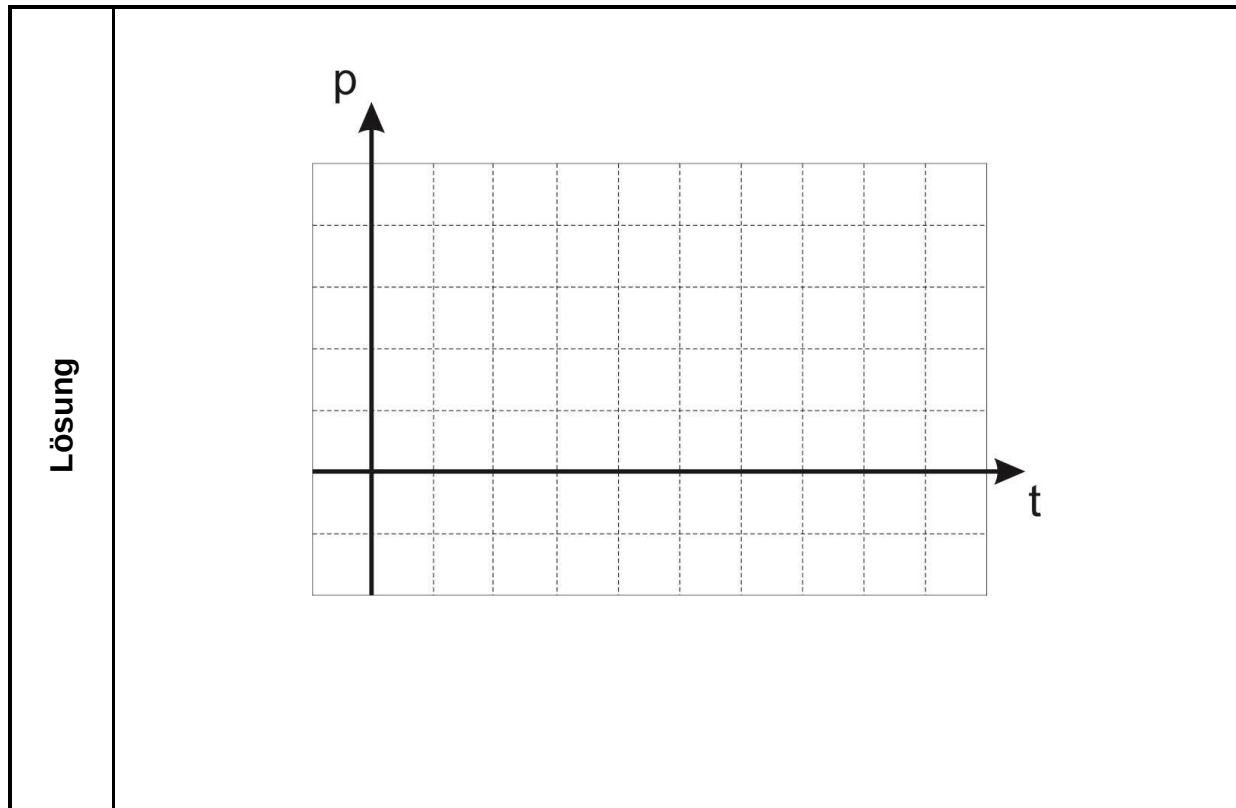
Es kann ein Lastangriff entsprechend Zustand B in Abbildung 2.1 angenommen werden. Der Kolben kann innerhalb des Zylinders nicht verkanten.

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

- f) Mit Hilfe der Pumpe sollen Bälle immer auf den gleichen Druck  $p_4$  aufgepumpt werden. Zeichnen Sie schematisch in das vorgegebene Diagramm den zeitlichen Druckverlauf im Inneren der Pumpe. Markieren Sie außerdem den mittleren Druck  $p_m$  und die Druckamplitude  $p_a$ .

**Hinweis:**

Der Ball wird innerhalb eines einzigen Kolbenhubes auf den Druck  $p_4$  aufgepumpt. Der Belastungsverlauf kann sinusförmig und als rein schwellend angenommen werden.



- g) Berechnen Sie den Druck  $p_4$  (vgl. Aufgabenteil f)), auf welchen die Bälle auf-  
gepumpt werden können, so dass ein Versagen des Zylinders durch Dauer-  
bruch mit einer Sicherheit von  $S_D = 2$  ausgeschlossen werden kann.

**Hinweise:**

Verwenden Sie zur Berechnung der Vergleichsmittelspannung und der  
Vergleichsamplitude die Kesselformel. Die Wechselfestigkeit für die  
vorliegende Oberfläche beträgt  $\sigma_w = 110\text{MPa}$ .

|               |                 |
|---------------|-----------------|
| Rechenweg     |                 |
| <b>Lösung</b> | <b>Ergebnis</b> |
| Druck $p_4$   |                 |

## BONUSAUFGABE

(2 Punkte)

Zeichnen Sie qualitativ die Mohr'schen Kreise für die Außenseite des aufgepumpten Balls und markieren Sie die Hauptspannungen.

**Hinweis:**

Der Ball darf als ideal kugelförmig angenommen werden.

Lösung

