

## Bachelor-Teilprüfung

# EINFÜHRUNG IN DIE FESTIGKEITSLEHRE

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

Datum: 21.09.2015

Prüfungsdauer: 60 min

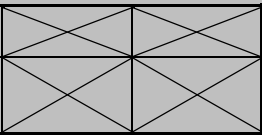
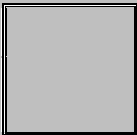
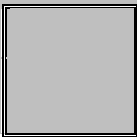
Die Prüfungsergebnisse werden voraussichtlich ab KW 44 im LSF bekannt gegeben.  
Die Wiederholerinnen und Wiederholer sind verpflichtet, die Prüfungsergebnisse einzusehen  
und sich ggf. unverzüglich für die mündliche Nachprüfung am IMWF zu melden.

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

## Aufgabe 1:

(28 Punkte)

Auf einem alten Fahnenmast sitzt ein Geier. Der Mast ist aus einem kreisrunden Aluminiumhohlprofil (Werkstoff **AlCu4SiMg**) mit einem Außendurchmesser von  $D = 40\text{ mm}$  und einer Wanddicke von  $s = 2\text{ mm}$  gefertigt (siehe Abbildung 1.1). Die Masthöhe beträgt  $h = 6\text{ m}$ .

**AlCu4SiMg:**  $R_e = 240\text{ MPa}$  ;  $R_m = 400\text{ MPa}$ ;  $E = 70000\text{ MPa}$  ;  $\mu = 0,33$  ;  $A_5 = 13\%$

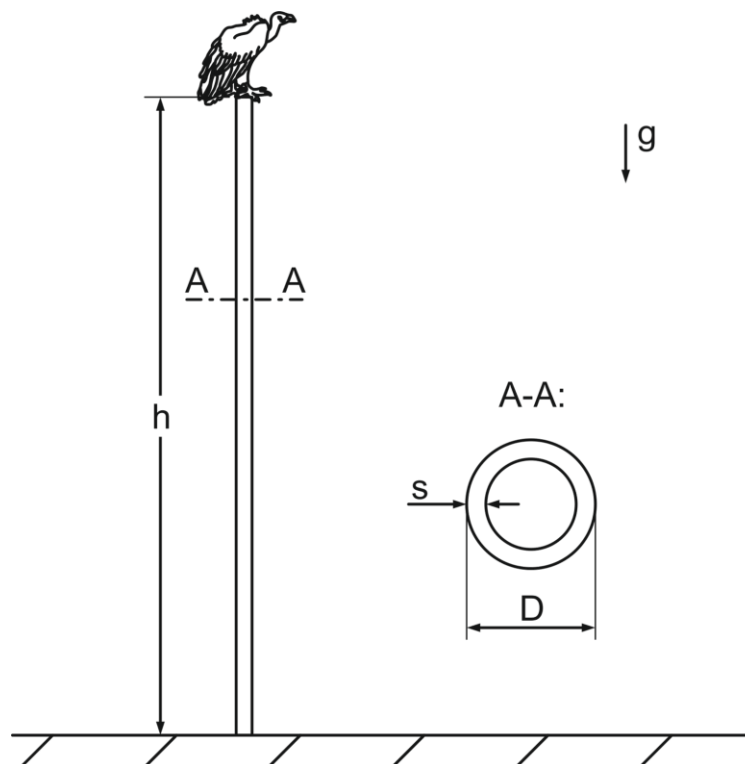


Abbildung 1.1: Geier auf Fahnenmast

Hinweise: Die Kerbwirkung an der Einspannstelle am Boden und das Eigengewicht des Mastes dürfen in allen Aufgabenteilen vernachlässigt werden.

- a) Das Gewicht des Geiers belastet den Mast mit einer Gewichtskraft von  $F_G = 100\text{ N}$ . Welche Versagensarten können auftreten? Wie groß sind die jeweiligen Sicherheitsfaktoren?

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

- b) Am Fahnenmast wird eine Flagge gehisst (der Geier bleibt weiterhin auf dem Mast sitzen). Die durch die Fahne hervorgerufene Belastung darf durch eine horizontale Einzelkraft  $F$ , welche im Punkt A in einer Höhe von  $h_1 = 5,5\text{m}$  angreift, ersetzt werden (siehe Abbildung 1.2). Geben Sie den Kennbuchstaben (A bis J) für den Punkt an, an welchem der Mast bei entsprechender Belastung zu fließen beginnt. Wie groß darf die Fahnenkraft  $F$  maximal werden, damit gerade kein Fließen im Mast auftritt?

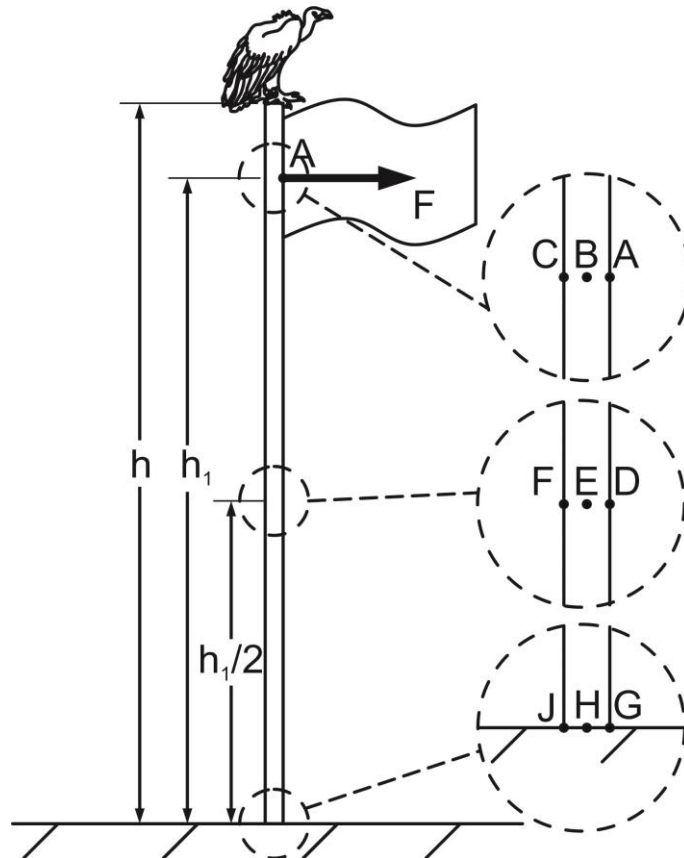


Abbildung 1.2: Fahnenmast

Hinweise: Spannungen infolge von Querkraftschub dürfen in allen folgenden Aufgabenteilen vernachlässigt werden. Sollten Sie Aufgabenteil a) nicht gelöst haben, verwenden Sie eine Spannung von  $\sigma = -0,42\text{ MPa}$  aufgrund des Eigengewichts des Geiers.

|           |                      |                 |
|-----------|----------------------|-----------------|
| Rechenweg |                      |                 |
|           | <b>Lösung</b>        | <b>Ergebnis</b> |
|           | Fließbeginn in Punkt |                 |
|           | Fahnenkraft F        |                 |

Am Aufstellungsort des Fahnenmastes herrscht ein ungleichmäßiger Wind aus einer Richtung. Der Mast wird dadurch rein schwellend auf Biegung mit einer Lastamplitude  $F_a = 20\text{ N}$  belastet. Der Mast ist poliert. Der Geier muss hier nicht mitbetrachtet werden.

- c) Überprüfen Sie rechnerisch, ob diese rein schwellende Lastamplitude ( $F_a = 20\text{ N}$ ) mit einer Sicherheit von  $S_D = 6$  dauerhaft ertragbar ist?

|                                                  |                 |
|--------------------------------------------------|-----------------|
| Rechenweg                                        |                 |
| <b>Lösung</b>                                    | <b>Ergebnis</b> |
| Lastamplitude mit $S_D = 6$ dauerhaft ertragbar? |                 |

- d) Um am Mast einen Papierkorb zu installieren, wurde in einer Höhe von  $h_2 = 90\text{cm}$  über dem Boden der Mast mit einer Bohrung versehen (siehe Abbildung 1.3). Der Bohrungsdurchmesser beträgt  $d_B = 8\text{mm}$ . Kann bei einer statischen Fahnenkraft von  $F = 20\text{N}$  Fließen im Kerbbereich der Bohrung mit üblicher Sicherheit ausgeschlossen werden?

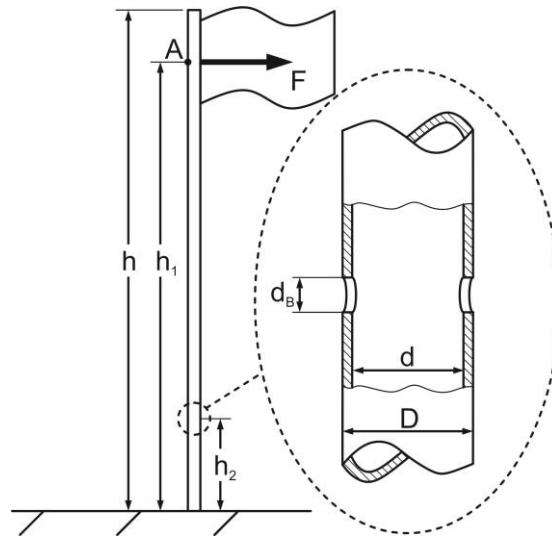


Abbildung 1.3: Fahnenmast mit Bohrung

Hinweis: Das Eigengewicht des Geiers darf vernachlässigt werden.

Rechenweg

|           |                                                |                 |
|-----------|------------------------------------------------|-----------------|
| Rechenweg |                                                |                 |
|           | <b>Lösung</b>                                  | <b>Ergebnis</b> |
|           | Fließen mit üblicher Sicherheit ausgeschlossen |                 |

- e) Am Mast mit Bohrung wirkt nun eine rein wechselnde Fahnenkraft mit einer Lastamplitude von  $F_a = 15 \text{ N}$ . Berechnen Sie den Sicherheitsfaktor  $S_D$  gegen Dauerbruch für die Kerbstelle.

Hinweise: Das Eigengewicht des Geiers darf weiterhin vernachlässigt werden. Sollten Sie Aufgabenteil c) und d) nicht gelöst haben, verwenden Sie eine Biegewechselfestigkeit von  $\sigma_{bW} = 160 \text{ MPa}$  und eine Formzahl von  $\alpha_k = 3,3$ . Verwenden Sie zur Berechnung der Kerbwirkungszahl die auf der Formelsammlung angegebene Formel.

|           |                         |                 |
|-----------|-------------------------|-----------------|
| Rechenweg |                         |                 |
|           | <b>Lösung</b>           | <b>Ergebnis</b> |
|           | Sicherheitsfaktor $S_D$ |                 |

## Aufgabe 2:

(32 Punkte)

An einem Fahrzeugkran sollen der Kranarm, der Wippzylinder sowie der Druckspeicher untersucht werden. Betrachtet wird der Zustand, bei welchem der Kranarm waagrecht ausgefahren ist und der Zylinder senkrecht unter dem Kranarm steht (siehe Abbildung 2.1). Der Kranarm ist aus dem Werkstoff **S850QL** gefertigt, der Wippzylinder und der Druckspeicher aus dem Werkstoff **S235**.

**S850QL:**  $R_e = 900 \text{ MPa}$ ;  $R_m = 1100 \text{ MPa}$ ;  $E = 210000 \text{ MPa}$ ;  $\mu = 0,3$ ;  $A_5 > 12 \%$   
 $\rho = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$

**S235:**  $R_e = 235 \text{ MPa}$ ;  $R_m = 350 \text{ MPa}$ ;  $E = 210000 \text{ MPa}$ ;  $\mu = 0,3$ ;  $A_5 = 26 \%$   
 $\rho = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$

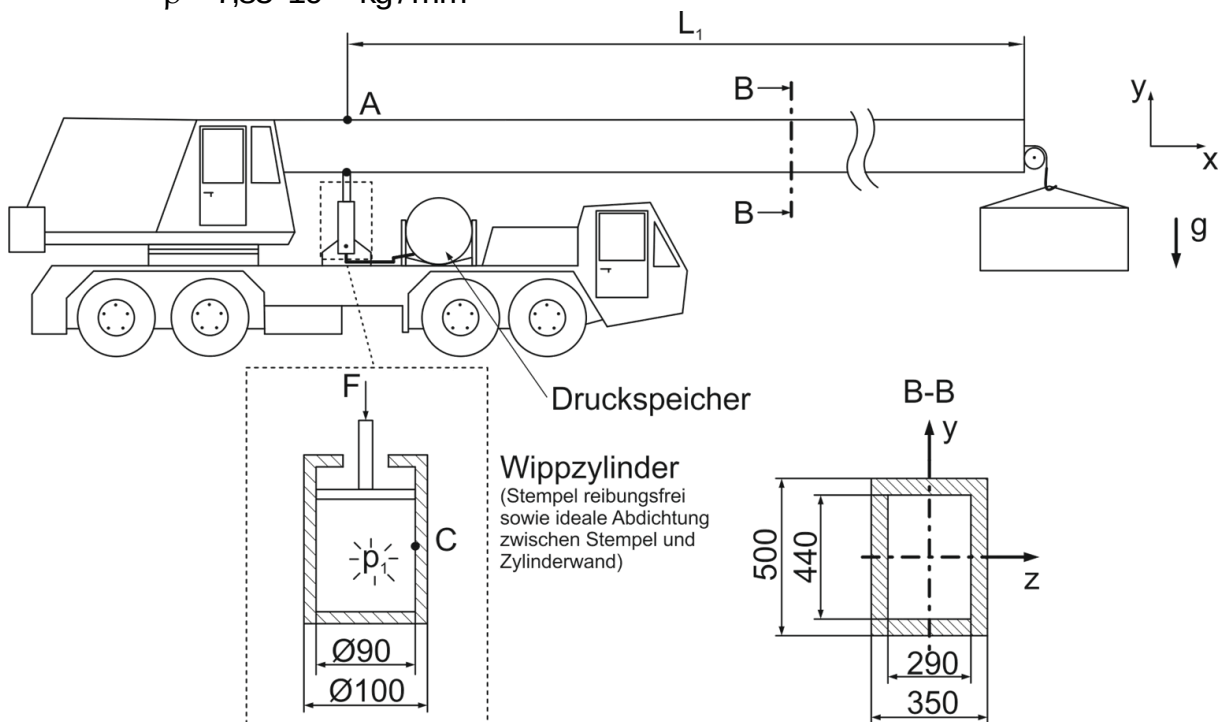


Abbildung 2.1: Fahrzeugkran, alle Angaben in mm

Hinweise: Der Querschnitt des Kranarms darf über die gesamte Länge als konstant angenommen werden. Betrachtet wird nur der Teil des Kranarms rechts des Wippzylinders. Der Bereich des Kranarms links des Wippzylinders darf vernachlässigt werden. Mögliche Kerbwirkung darf in allen Aufgabenteilen vernachlässigt werden.

Erdbeschleunigung:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

|  |                                                                                                   |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | $W_{b,z} = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6H}$ $W_{b,y} = \frac{B^3 \cdot H - b^3 \cdot h}{6B}$ |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------|

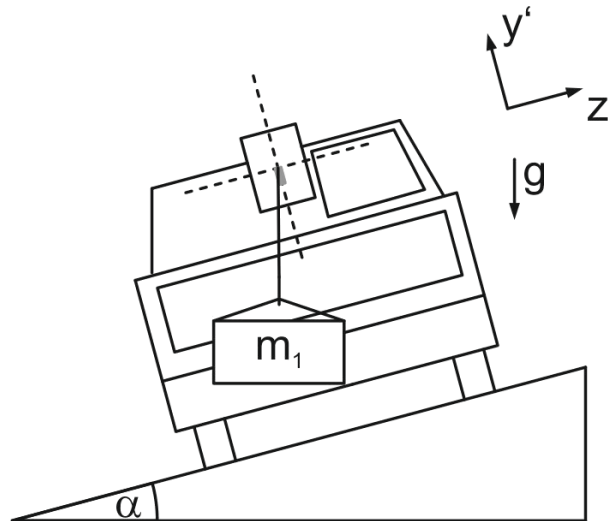
- a) Berechnen Sie die zulässige Länge  $L_1$  des Kranarms, bis zu welcher Fließen aufgrund des Eigengewichts an der Stelle A mit einer Sicherheit von  $S_F = 1,5$  ausgeschlossen werden kann.

Hinweise: Die Gewichtskraft aufgrund des Eigengewichts darf als Punktlast bei der Länge  $L_1/2$  angenommen werden. Am Kranarm hängt noch keine zusätzliche Masse. Spannungen infolge von Querkraftschub dürfen vernachlässigt werden.

|               |                 |
|---------------|-----------------|
| Rechenweg     |                 |
| <b>Lösung</b> | <b>Ergebnis</b> |
| Länge $L_1$   |                 |

In Realität ist der Arm des Autokrans kürzer. In den folgenden Aufgabenteilen darf das Eigengewicht des Kranarms daher vernachlässigt werden. Die Länge beträgt im Folgenden  $L_1 = 12 \text{ m}$ .

- b) Der Kran wurde auf einer um  $\alpha = 10^\circ$  quer zur Fahrtrichtung geneigten Straße aufgestellt (siehe Abbildung 2.2). An seinem Kranhaken hängt eine Last von  $m_1 = 2500 \text{ kg}$ . Ermitteln Sie die auf den Kranarm wirkenden Kraftanteile in  $y'$ -Richtung und  $z'$ -Richtung. Bestimmen Sie außerdem die Biegemomente um die  $y'$ -Achse und die  $z'$ -Achse für die Stelle A (vgl. Abbildung 2.1).



**Abbildung 2.2:** Fahrzeugkran auf quer zur Fahrtrichtung geneigter Straße

|                                        |                 |
|----------------------------------------|-----------------|
| Rechenweg                              |                 |
| <b>Lösung</b>                          | <b>Ergebnis</b> |
| Kräfte $F_{y'}$ und $F_{z'}$           |                 |
| Biegemomente $M_{b,y'}$ und $M_{b,z'}$ |                 |

- c) Überprüfen Sie rechnerisch, ob für die in Aufgabenteil b) beschriebene Belastungssituation Versagen mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann.

Hinweis: Wenn Sie Aufgabenteil b) nicht lösen konnten, verwenden Sie  $M_{b,y'} = 51000 \text{ Nm}$  und  $M_{b,z'} = 290000 \text{ Nm}$ .

|                                         |                 |
|-----------------------------------------|-----------------|
| Rechenweg                               |                 |
| <b>Lösung</b>                           | <b>Ergebnis</b> |
| Versagen mit Sicherheit ausgeschlossen? |                 |

- d) Durch den Kranarm wirkt auf den Wippzylinder eine axiale Kraft von  $F = 50000 \text{ N}$ . Berechnen Sie die dadurch auftretenden Spannungen in Umfangs-, Axial- und Radialrichtung an der Stelle C im Inneren des Zylinders. Berechnen Sie außerdem die Sicherheit gegen Fließen für diese Stelle. Ist diese Sicherheit ausreichend?

|                                                     |                 |
|-----------------------------------------------------|-----------------|
| Rechenweg                                           |                 |
| <b>Lösung</b>                                       | <b>Ergebnis</b> |
| Spannungskomponenten $\sigma_a; \sigma_u; \sigma_r$ |                 |
| Sicherheit $S_F$                                    |                 |

- e) Zur Überwachung der Belastung während des Betriebs sind auf dem Druckspeicher Dehnmessstreifen (DMS) angebracht (siehe Abbildung 2.3). Diese messen die Dehnungen in Umfangs-, sowie in Axialrichtung. Bestimmen Sie daraus die Spannungen in Umfangs- und Axialrichtung.



Abbildung 2.3: Druckspeicher

Hinweis: Im Betrieb ist dem vorherrschenden Innendruck  $p_2$  aufgrund der Einbausituation eine in Axialrichtung wirkende Kraft  $F$  überlagert.

|                                            |             |
|--------------------------------------------|-------------|
| Dehnung in Umfangsrichtung $\varepsilon_u$ | -0,0007143% |
| Dehnung in Axialrichtung $\varepsilon_a$   | 0,024048%   |

|           |                            |                 |
|-----------|----------------------------|-----------------|
| Rechenweg |                            |                 |
|           | <b>Lösung</b>              | <b>Ergebnis</b> |
|           | Umfangsspannung $\sigma_u$ |                 |
|           | Axialspannung $\sigma_a$   |                 |

- f) Der Druckspeicher aus Aufgabenteil e) ist durch den Innendruck  $p_2$  und die Axialkraft  $F$  belastet (siehe Abbildung 2.4). Bestimmen Sie den durch die Axialkraft  $F$  hervorgerufenen Spannungsanteil an der Axialspannung im Druckspeicher.

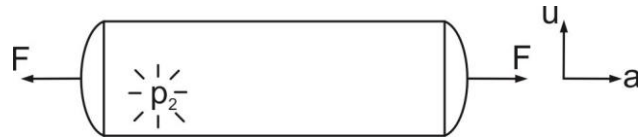


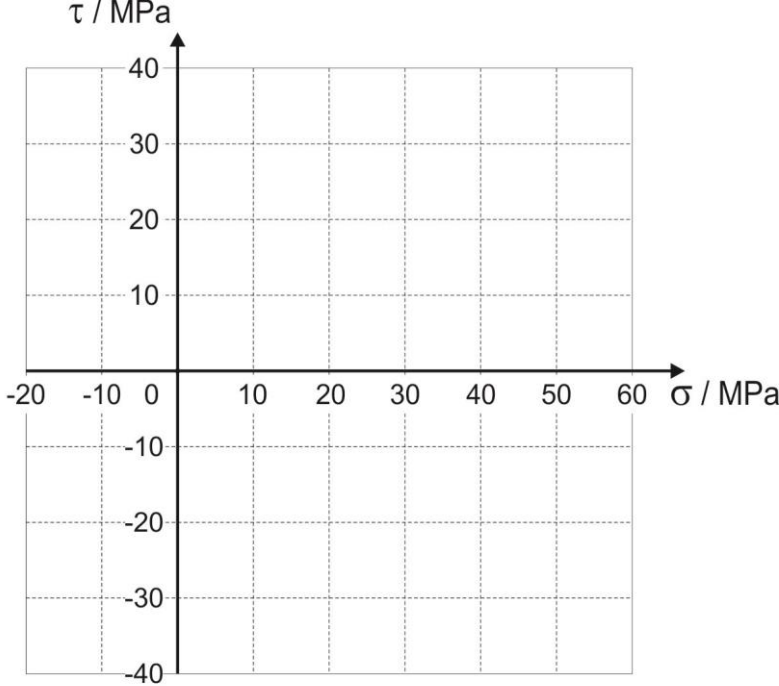
Abbildung 2.4: Druckspeicher

Hinweis: Wenn Sie Aufgabenteil e) nicht lösen konnten, verwenden Sie  $\sigma_u = 15 \text{ MPa}$ ;  $\sigma_a = 55 \text{ MPa}$ .

|                                                    |                 |
|----------------------------------------------------|-----------------|
| Rechenweg                                          |                 |
| <b>Lösung</b>                                      | <b>Ergebnis</b> |
| Spannungsanteil aufgrund Axialkraft $\sigma_{a,F}$ |                 |

- g) An der Außenseite des Druckspeichers aus Aufgabenteil e) wirken nun die Spannungen  $\sigma_u = 15 \text{ MPa}$ ;  $\sigma_a = 55 \text{ MPa}$  und  $\sigma_r = 0 \text{ MPa}$ . Zeichnen Sie die Mohr'schen Spannungskreise für die Außenseite des Druckspeichers.

Bei einer Reparatur muss ein Wanddurchriss im Druckspeicher geschweißt werden. Der Riss verläuft unter  $\delta = 20^\circ$  (mathematisch positiv) zur Längsachse. Bestimmen Sie grafisch die Normalspannung (rissöffnende Spannung) sowie die Schubspannung, welche die Schweißnaht aufnehmen muss.

|                                |                                                                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Rechenweg                      |  |
| <b>Lösung</b>                  | <b>Ergebnis</b>                                                                     |
| Normalspannung $\sigma_\delta$ |                                                                                     |
| Schubspannung $\tau_\delta$    |                                                                                     |