

**Masterprüfung**  
**„Werkstofftechnik der Stähle“**  
**26.03.2015**

**Name:**

**Matrikelnummer:**

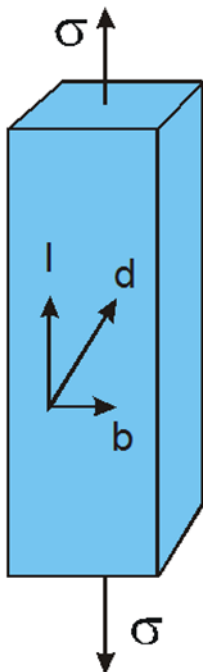
**Unterschrift:**

Aufgabe	Maximalanzahl an Punkten:	Punkte erreicht:	Punkte nach Einsicht (nur zusätzliche Punkte)
1	5		
2	9		
3	4		
4	10		
5	8		
6	8		
7	5		
8	10		
9	10		
10	8		
11	7		
12	8		
13	8		
Summe	100		

Zum Bestehen der Klausur werden 44% der Punkte benötigt.

**Aufgabe 1****Zugversuch****5 Punkte**

- a) Was versteht man unter Anisotropie? Wie wirkt sich die Anisotropie auf die Ergebnisse des Zugversuches aus? (1 Punkt)
- b) Zeichnen Sie schematisch das Fließverhalten ausgehend von der in **Anhang 1** dargestellten Flachzugprobe, tragen Sie die Formänderungen ein und geben Sie die Formel zur Berechnung der senkrechten Anisotropie an. (2 Punkte)

**Anhang 1:**

- c) Nach einer Prüfung eines IF-Stahls im Zugversuch wurden folgende Werte bestimmt:
- $r = 1,6$
  - $\varphi_l = 0,5$

Welchen Umformgrad erwarten Sie in Breitenrichtung? (2 Punkte)

**Aufgabe 2****wahre Spannung****9 Punkte**

- a) Skizzieren Sie in ein Diagramm die konventionelle Spannung-Dehnung-Kurve, die „wahre Spannung“-„wahre Dehnung“-Kurve und die nach Siebel korrigierte „wahre Spannung“- „wahre Dehnung“-Kurve eines kubisch-flächenzentrierten Stahls. (3 Punkte)
- b) Erklären Sie die unterschiedlichen Lagen der konventionellen Spannung-Dehnung-Kurve und der „wahre Spannung“-„wahre Dehnung“-Kurve. Geben Sie ausgehend von den Größen Probenausgangsquerschnittsfläche  $A_0$ , Probenausgangslänge  $l_0$  und Zugkraft  $F$  die Formeln zur Berechnung der konventionellen und der wahren Werte an. (3 Punkte)
- c) Charakterisieren Sie den Spannungszustand vor und nach der Gleichmaßdehnung  $A_g$ . Warum muss die „wahre Spannung“- „wahre Dehnung“-Kurve ab dieser Stelle beispielsweise nach Siebel korrigiert werden? (3 Punkte)



**Aufgabe 3****Portevin-Le Chatelier****4 Punkte**

a) Skizzieren Sie eine konventionelle Spannung-Dehnung-Kurve eines kubisch-raumzentrierten Stahls bei Raumtemperatur, 120°C und 500°C. (3 Punkte)

b) Erläutern Sie kurz den bei 100°C auftretenden Portevin-Le Chatelier-Effekt. (1 Punkt)

**Aufgabe 4****Considère-Kriterium****10 Punkte**

Im „wahre Spannung“-„wahre Dehnung“-Diagramm kann dem Lastmaximum kein markanter Punkt zugeordnet werden, der den Beginn der Einschnürung charakterisiert. Mit Hilfe des Considère-Kriteriums lässt sich die Gleichmaßformänderung ermitteln.

- a) Leiten Sie eine Gleichung für das Considère-Kriterium her, mit der sich die Gleichmaßformänderung bestimmen lässt. (6 Punkte)

b) Stellen Sie grafisch das Considère-Kriterium dar. (4 Punkte)





**Aufgabe 5****TMB****8 Punkte**

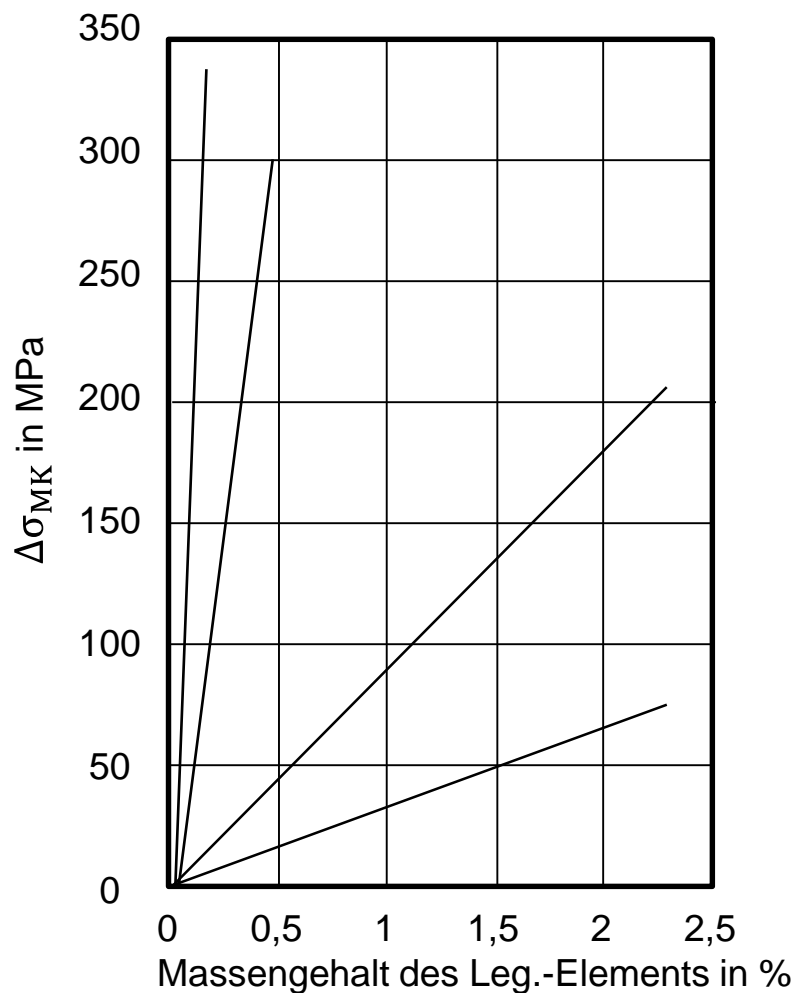
Vor Warmumformvorgängen, wie Walzen oder Schmieden, erfolgt eine Wiedererwärmung des Stahls in den Austenitbereich.

- a) Zeichnen Sie schematisch den Einfluss der Austenitisierungstemperatur auf die Korngröße für einen C-Mn-Stahl, sowie für 3 Stähle, die jeweils mit V, Ti oder Nb mikrolegiert sind. (4 Punkte)

- b) In welcher Weise beeinflussen die Mikrolegierungselemente das Austenitkornwachstum? Nennen Sie die metallkundlichen Phänomene, die die in Teilaufgabe a) genannten Korngrößenentwicklung erklären. (4 Punkte)

**Aufgabe 6****Festigkeitssteigerung****8 Punkte**

- a) Gegeben ist in **Anlage 1** ein Diagramm mit dem Einfluss verschiedener Legierungselemente auf die Streckgrenze für einen ferritischen Stahl. Ordnen Sie den Geraden die zugehörigen Elemente (P, Si, C, Mn) zu. (4 Punkte)
- b) Welche Elemente würden Sie zur Festigkeitssteigerung bevorzugt in einem Baustahl verwenden, welche eher vermeiden? Begründen Sie kurz Ihre Entscheidung. (4 Punkte)

**Anlage 1:**



**Aufgabe 7****Bruchmechanismen****5 Punkte**

Kubisch-raumzentrierte Stähle weisen in Abhängigkeit von der Temperatur ein charakteristisches Versagensverhalten bei mechanischer Beanspruchung auf.

- a) Skizzieren Sie ein Spannung-Temperatur-Diagramm, mit dem der Übergang von duktilem zu sprödem Versagen bei kubisch-raumzentrierten Stählen erläutert werden kann. (3 Punkte)
- b) Beschreiben Sie das mikroskopische Erscheinungsbild der Bruchflächen bei hohen sowie niedrigen Temperaturen. (2 Punkte)

**Aufgabe 8****Kerbschlagbiegeversuch****10 Punkte**

Ein einfach durchzuführender Versuch zur Ermittlung der Zähigkeit eines Werkstoffes ist der Kerbschlagbiegeversuch.

- a) Beschreiben Sie den „normalen“ Kerbschlagbiegeversuch (ohne Instrumentierung). Gehen Sie dabei auf Probenform, Messwerte und sonstige Versuchsrandbedingungen ein. (2 Punkte)
- b) Beschreiben Sie, wie beim Kerbschlagbiegeversuch ohne Instrumentierung die Schlagarbeit ermittelt werden kann. Wie wird im Gegensatz hierzu die Schlagarbeit im instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch ermittelt? (4 Punkte)
- c) Zeichnen Sie eine Ergebniskurve aus einem instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch für eine sehr spröde und eine sehr zähe Stahlgüte. Beschriften Sie die Achsen. (4 Punkte).

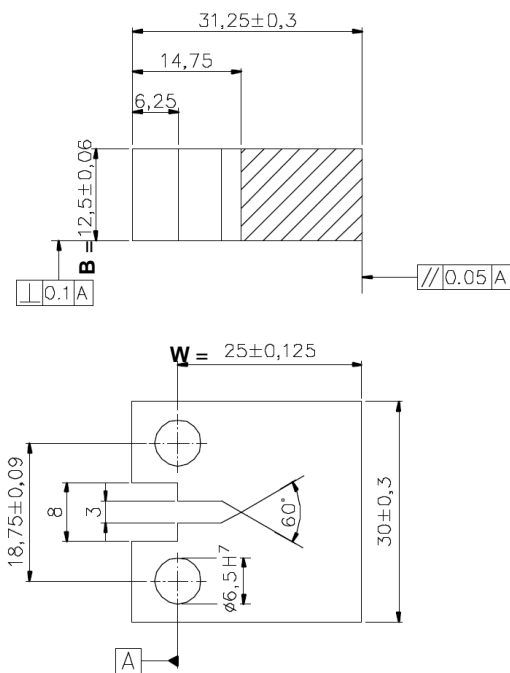
**Aufgabe 9**

**Bruchmechanik**

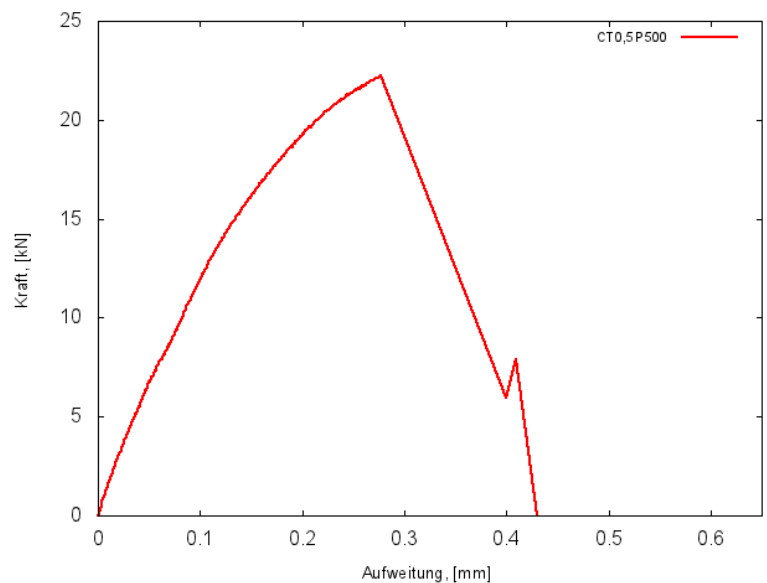
**10 Punkte**

Eine CT-Probe aus dem Druckbehälter-Stahl P500 wurde gemäß der Normen ASTM E 399 und BS 5762 vorbereitet und bei -150°C geprüft. Dabei trat Sprödbbruch auf.

- a) Die CT-Probe bekommt vor der Prüfung einen Anriss. Wie wird der Riss eingebracht und wie lang muss dieser sein? (2 Punkte)
- b) An welchem Punkt im Diagramm aus **Anhang 2** wird die Bruchkraft abgelesen? (2 Punkte)
- c) Berechnen Sie den  $K_{Ic}$  Wert unter Annahme, dass die Bedingungen der LEBM erfüllt sind. Verwenden Sie dabei die unten angegebenen Formeln. Greifen Sie zudem auf Ihre unter Teil a) gegebene Antwort zurück. Sofern Sie unter Teil a) einen Bereich gültiger Risslängen benannt haben, genügt es für Teil c), daraus einen Wert auszuwählen. (6 Punkte)



**Anhang 1:** Fertigungszeichnung der CT 0,5 Probe mit B = 12,5 mm W = 25 mm



**Anhang 2:** Experimentelle Ergebnisse Kraft-Risspitzenaufweitung Schieb

$$K_I = \frac{F}{BW^{1/2}} f(\lambda) \qquad \lambda = \frac{a}{W}$$

$$f(\lambda) = \frac{(2+\lambda)(0,886+4,64\lambda-13,32\lambda^2+14,72\lambda^3-5,6\lambda^4)}{(1-\lambda)^{3/2}}$$



**Aufgabe 10****Dauerfestigkeit****8 Punkte**

Das Dauerschwingverhalten von metallischen Werkstoffen kann mit dem Wöhler-Diagramm beschrieben werden.

- a) Zeichnen Sie schematisch eine Wöhler-Linie für einen krz-Stahl und eine Wöhler-Linie für eine Aluminiumlegierung in ein Wöhler-Diagramm ein. Beschriften Sie die Achsen und benennen Sie die charakteristischen Bereiche. (6 Punkte)

- b) Welchen Einfluss hat eine Temperaturerhöhung auf die Wöhler-Linie? (2 Punkte)



---

**Aufgabe 11** **Hochtemperaturwerkstoffe** **7 Punkte**

Bei der Entwicklung von warmfesten Stählen müssen einige grundlegende werkstofftechnische Faktoren berücksichtigt werden.

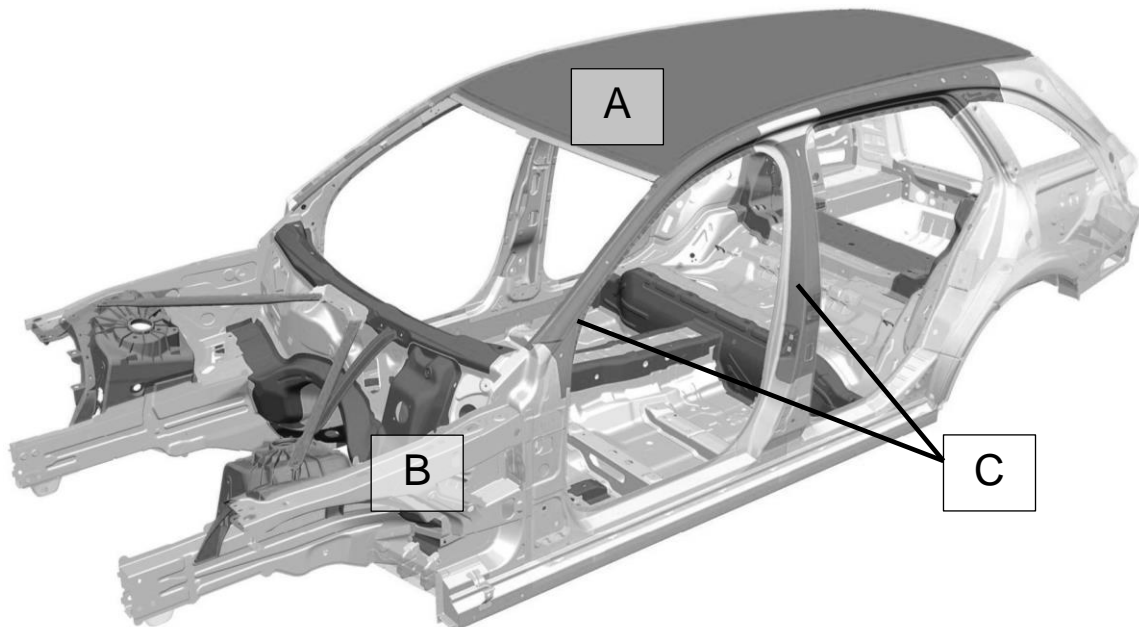
- a) Erläutern Sie die Rolle der Kristallstruktur auf das Kriechverhalten von warmfesten Stählen. Welche Kristallstruktur hat eine höhere Kriechbeständigkeit? Begründen Sie Ihre Antwort. *(2 Punkte)*
- b) Warum haben martensitische und bainitische Stähle eine höhere Kriechbeständigkeit im Vergleich zu ferritischen Stählen? *(1 Punkt)*
- c) Warum werden Einkristalle anstelle von polykristallinen Werkstoffen bei Hochtemperaturanwendungen verwendet? *(1 Punkt)*

- d) Welche Besonderheit gilt für die Mischkristallverfestigung bei warmfesten Stählen?  
(1 Punkt)
- e) Welche Art von Ausscheidungen, Carbonitride oder intermetallische Phasen, sind bevorzugt bei Hochtemperaturanwendungen zu verwenden? Begründen Sie Ihre Antwort. (2 Punkte)

**Aufgabe 12****Blechprüfung****8 Punkte**

a) Ordnen Sie die unter i)-iv) aufgeführten Werkstoffe den in **Anlage 1** markierten Karosserie-Komponenten A (Dach), B (Vorderwagenstruktur) und C (B-Säule) zu und begründen Sie Ihre Wahl. (Mehrfachnennung möglich) (4 Punkte)

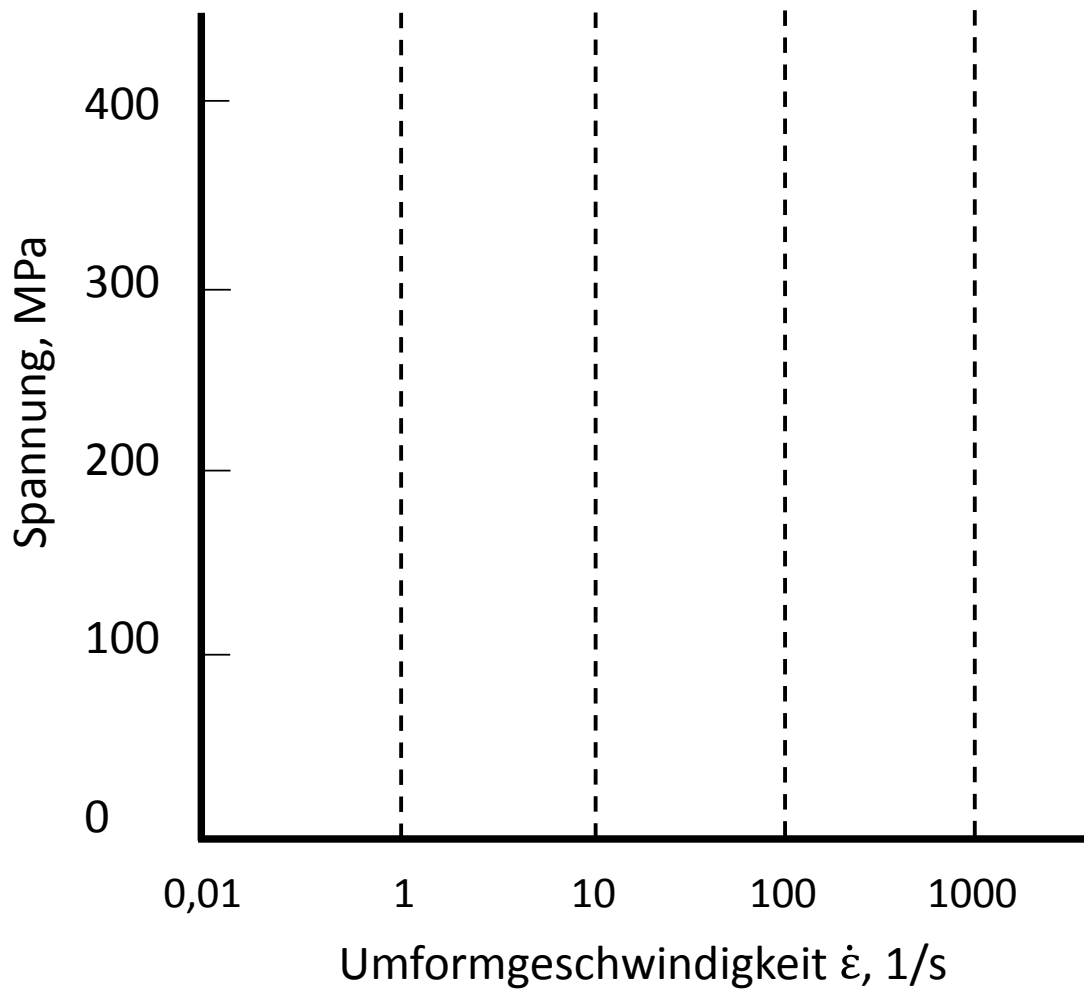
- i) Tiefziehstahl (Mild Steel,  $R_m \approx 200 \text{ MPa}$ )
- ii) Höchfester Stahl (UHSS,  $R_m > 1400 \text{ MPa}$ )
- iii) Aluminium
- iv) Hochfester Stahl (HSS,  $R_m > 400 \text{ MPa}$ )

**Anlage 1:**

- b) Werkstoffe für crashrelevante Automobilbauteile werden im dynamischen Zugversuch bei Dehnraten von  $\dot{\epsilon} > 1$  1/s charakterisiert.

Tragen Sie in **Anlage 2** schematisch die Änderung der Streckgrenze und Zugfestigkeit mit steigender Dehnrates für einen Karosseriebaustahl (ZStE180BH) ein. Beachten sie dabei das ungefähre Spannungs-Niveau. (2 Punkte)

**Anlage 2:**



- c) Bei der Verformung von Metallen wird etwa 90% der Verformungsenergie in Wärme umgewandelt, welche während des Versuches an die Umgebung abgegeben wird.

Welchen Einfluss kann Energie-Dissipation auf das Werkstoffverhalten während des Hochgeschwindigkeits-Zugversuches haben und wie wird dieser Effekt genannt? (1 Punkte)

- d) Welcher Kennwert beschreibt die Dehnratenempfindlichkeit? Wie zeigt sich eine positive und eine negative Dehnratenempfindlichkeit? (1 Punkte)

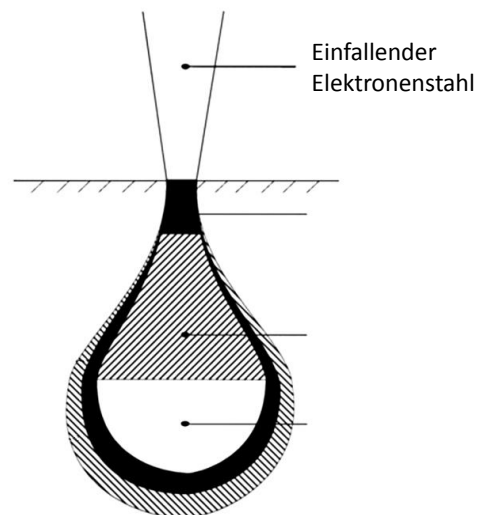


**Aufgabe 13****Metallographie****8 Punkte**

In **Anhang 1** ist schematisch das Anregungsvolumen dargestellt, welches durch das Auftreffen von Elektronenstrahlen entsteht.

a) Beschriften Sie in Anhang 1 die jeweiligen Bereiche mit den folgenden Strahlungen (1 Punkt):

- Rückgestreute Elektronen
- Sekundärelektronen,
- charakteristische Röntgenstrahlung

**Anhang 1**

b) Erläutern Sie die Entstehung der jeweiligen Strahlen. (3 Punkte)

c) Durch Detektion der Strahlen aus Teilaufgabe a) können unterschiedliche Analysen am Werkstoff durchgeführt werden. Ordnen Sie die genannten Strahlen den jeweiligen Fragestellungen zu (4 Punkte):

- Analyse der chemischen Zusammensetzung
- Bruchflächenanalyse
- Untersuchung der kristallographischen Orientierung einzelner Körner
- Gefügeuntersuchung einer tiefeingätzten Probe



