

**Masterprüfung**

**„Werkstofftechnik der Stähle“**

**31.03.2016**

**Name:**

**Matrikelnummer:**

**Unterschrift:**

Aufgabe	Punkte:	Erreichte Punkte:	Punkte nach Einsicht (zusätzliche Punkte)
1	7		
2	6		
3	10		
4	7.5		
5	6		
6	3		
7	4		
8	5		
9	7		
10	3.5		
11	8		
12	8		
13	8		
14	8		
15	5		
16	4		
Summe	100		

Zum Bestehen der Klausur werden 44 % der Punkte benötigt.

**Aufgabe 1****Zugversuch****7 Punkt(e)**

- a) Skizzieren Sie schematisch die Spannung-Dehnung-Kurve eines IF-Stahls (Stahl ohne interstitiell gelöste Atome) und bezeichnen Sie die charakteristischen Werte. Markieren Sie außerdem die Bereiche homogener und inhomogener Verformung. (4,5 Punkte)
- b) Bis zu welchem Grenzwert kann die Probe ohne bleibende Verformung belastet werden? Was charakterisiert diese Belastung? (2,5 Punkte)

**Aufgabe 2                      wahre Spannung – wahre Dehnung                      6 Punkt(e)**

Die mechanischen Eigenschaften von Stählen werden zumeist im Zugversuch ermittelt.

- a) Skizzieren Sie eine konventionelle Spannung-Dehnung-Kurve mit ausgeprägter Streckgrenze und die dazugehörige wahre Spannung- wahre Dehnung-Kurve in ein Diagramm. (2 Punkte)

- b) Mit welchen Vorgängen lässt sich die Ausbildung einer ausgeprägten Streckgrenze erklären? Was ist und wie kommt es zum Portevin-Le Chatelier-Effekt? (2 Punkte)

- c) Welchen Nachteil hat eine ausgeprägte Streckgrenze bei der Verarbeitung von Feinblech zu Karosseriebauteilen (1 Punkt)?
- d) Bei welcher Art von Stählen macht man sich die Rückkehr der ausgeprägten Streckgrenze durch eine gezielte Wärmebehandlung zu Nutzen (1 Punkt)?

**Aufgabe 3****Considère-Kriterium****10 Punkt(e)**

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 4****Heißzugversuch****7,5 Punkt(e)**

- a) In Abbildung 1 und Abbildung 2 sind die mechanischen Kennwerte verschiedener Heißzugversuche als Funktion der Prüftemperatur für zwei verschiedene Werkstoffe aufgetragen. Beschriften Sie für jeden der beiden Werkstoffe beide Y-Achsen. Welchen der beiden Werkstoffe hat eine bessere Strangvergießbarkeit? Begründen Sie Ihre Antwort? (3 Punkte)
- b) Erläutern Sie warum es in dem Temperaturbereich von 800-900°C zu einem Minimum der Kurve kommt. (1 Punkt)
- c) Benennen Sie die 2 charakteristischen Temperaturen die für Werkstoff B bei 1300°C und 1400°C liegen. Was ist die Konsequenz wenn die Temperaturspanne  $\Delta T$  zwischen diesen Temperaturen groß ist? (2 Punkte)

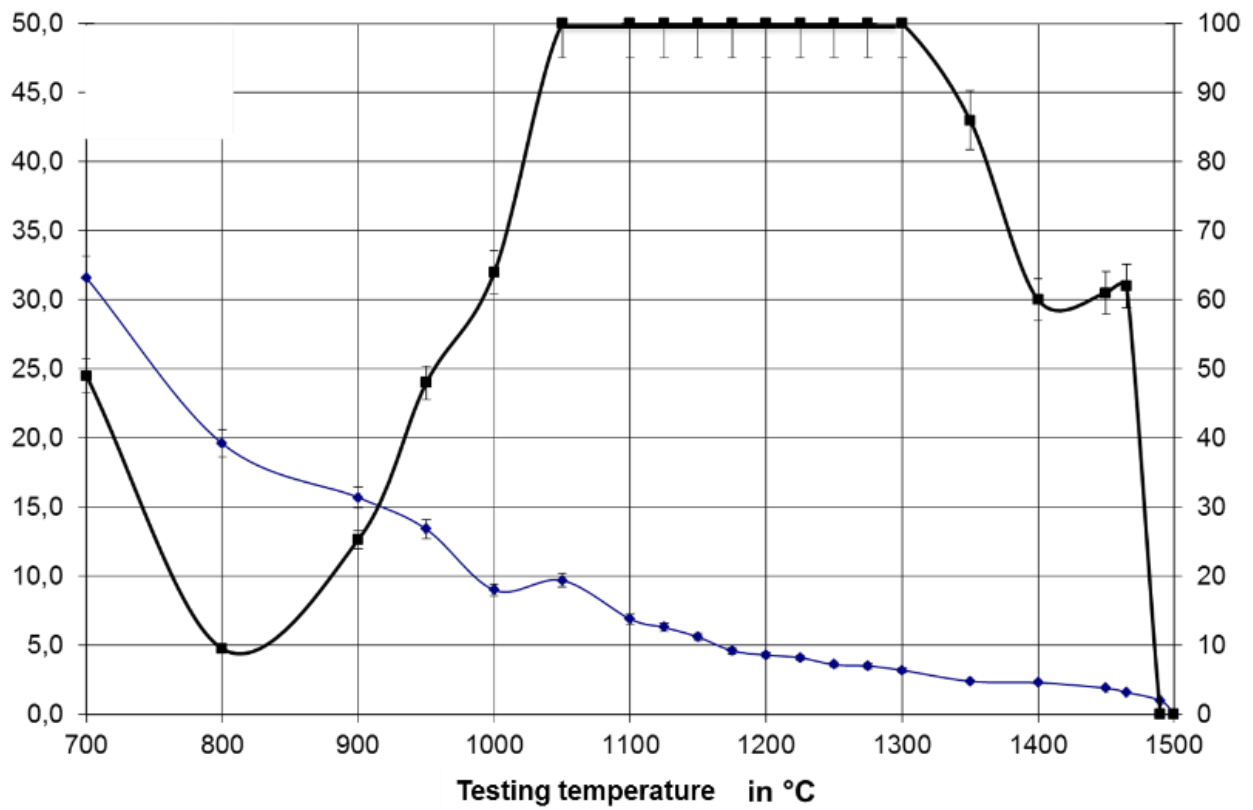


Abbildung 1: Werkstoff A

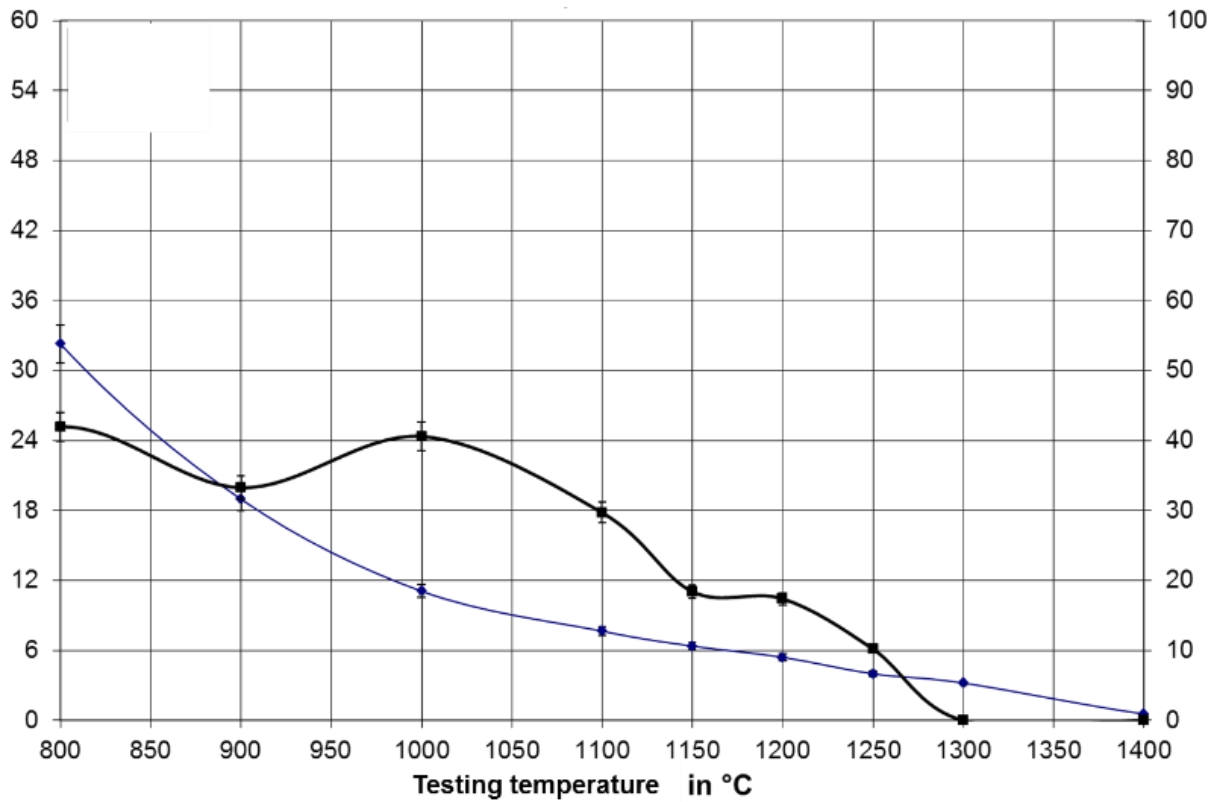


Abbildung 2 Werkstoff B



- d) Abbildung 3 zeigt Heißzugproben von Werkstoff A die bei 950°C, 1200°C und 1500°C geprüft wurden. Ordnen Sie die Proben den entsprechenden Prüftemperaturen zu. (1,5 Punkte)

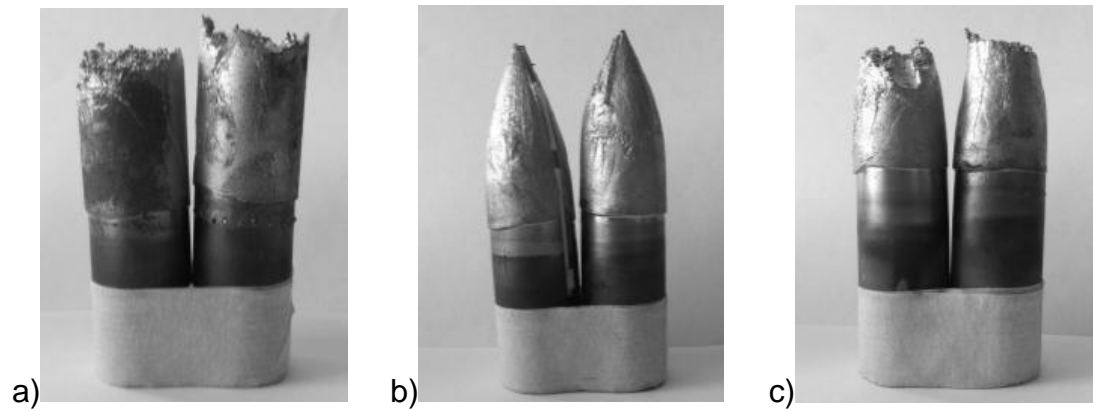
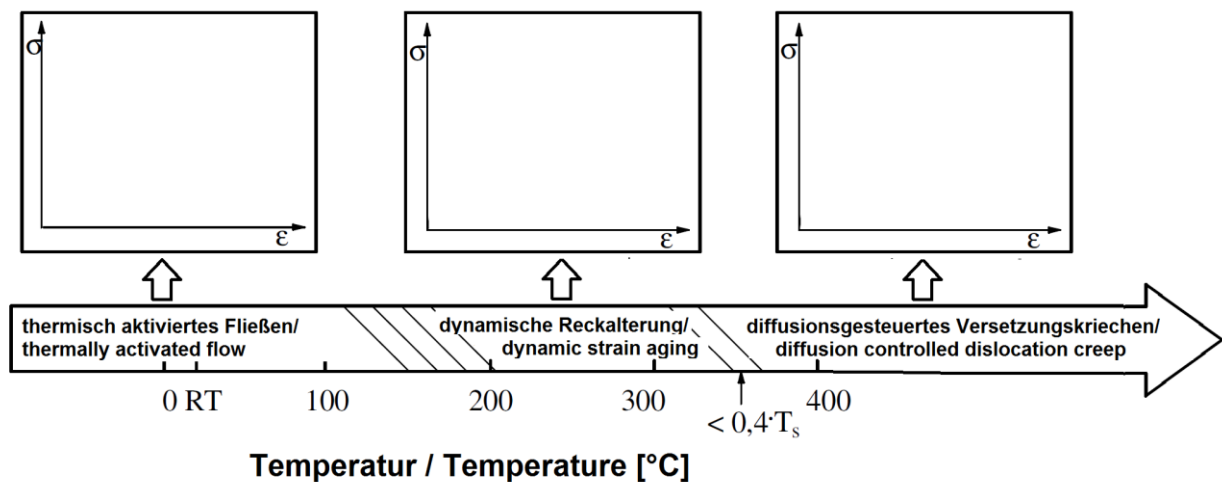


Abbildung 3: Heißzugproben bei verschiedenen Temperaturen

**Aufgabe 5****Dehnratenabhängigkeit****6 Punkt(e)**

Das Fließverhalten eines Werkstoffes hängt signifikant sowohl von der Dehnrates als auch der Temperatur ab.

- a) Zeichnen Sie die Spannungs-Dehnungskurven für einen ferritisch-perlitischen Stahl in die drei vorgefertigten Diagramme. Berücksichtigen Sie Effekte der plastischen Verformung für die verschiedenen Temperaturbereiche. (3 Punkte)

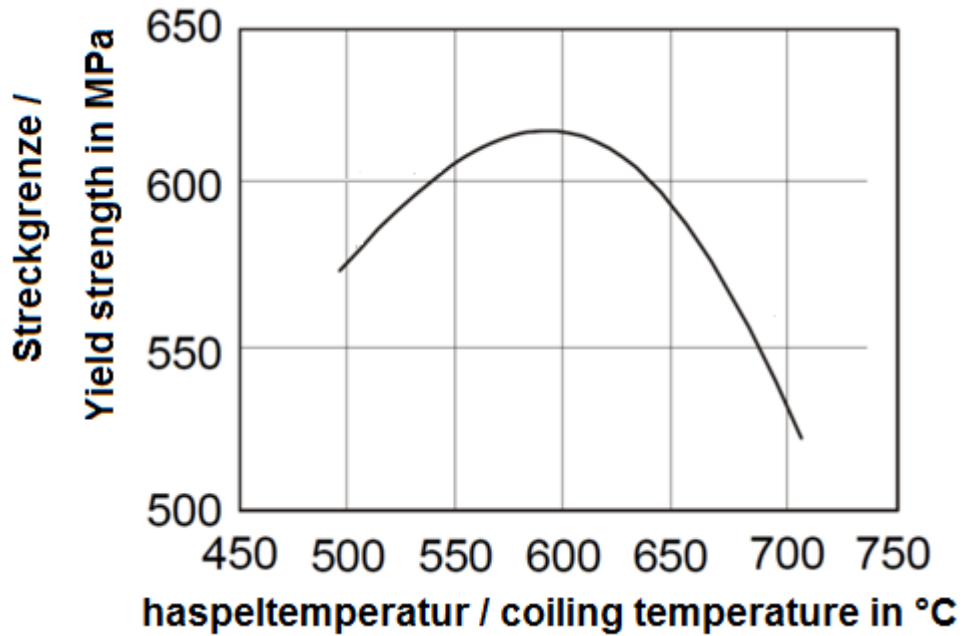


**Abbildung 1**

- b) Zeichnen Sie zusätzlich den Einfluss einer Dehnraterhöhung ein, indem Sie in jedes der drei Diagramme die Spannungs-Dehnungskurve für einen Versuch, der bei derselben Prüftemperatur mit einer höheren Dehnrates durchgeführt wurde, einzeichnen. (3 Punkte)

**Aufgabe 6****TMB I****3 Punkt(e)**

Abbildung 1 zeigt den Einfluss der Haspeltemperatur auf die Streckgrenze eines mikrolegierten Stahls. Mit welchem Legierungselement wurde der Stahl legiert? Erklären Sie das Maximum der Streckgrenze des Stahls bei 600 °C. (3 Punkte)



**Aufgabe 7****TMB II****4 Punkt(e)**

- a) In welchen Größenordnungen werden Mikrolegierungselemente hinzulegiert?  
(1 Punkt)
- b) Wie wirken sich die Mikrolegierungselemente Ti, Nb und V nach einer thermomechanischen Behandlung jeweils auf die Zähigkeit aus? Begründen Sie Ihre Antwort kurz. (3 Punkte)

**Aufgabe 8****Einstellen von Gefügen****5 Punkt(e)**

- a) Wie lautet der Zusammenhang zwischen der Streckgrenze von unlegiertem Stahl und der Ferritkorngröße? Wie heißen die Variablen bzw. Konstanten dieser Formel und was beschreiben sie? (2.5 Punkte)
- b) Berechnen Sie die Änderung der Streckgrenze für einen unlegierten Stahl, wenn die Korngröße von  $G=8$  auf  $G=11$  abnimmt. Nehmen Sie eine geeignete Abschätzung der benötigten Konstanten vor. (2.5 Punkte)

Hinweis:

$$d[\text{mm}] = \frac{1}{\sqrt{8 \cdot 2^G}}$$

**Aufgabe 9****Bruchmechanismen****7 Punkt(e)**

- a) Nennen Sie die 3 Stadien des Gleitbruchs. (3 Punkte)
- b) Beschreiben Sie kurz das makroskopische Bruchaussehen von Gleitbruch- und Spaltbruchflächen. (2 Punkte)
- c) Nennen Sie den Unterschied zwischen transkristallinem und interkristallinem Rissverlauf (2 Punkte)

**Aufgabe 10****Bruchmechanik****3,5 Punkt(e)**

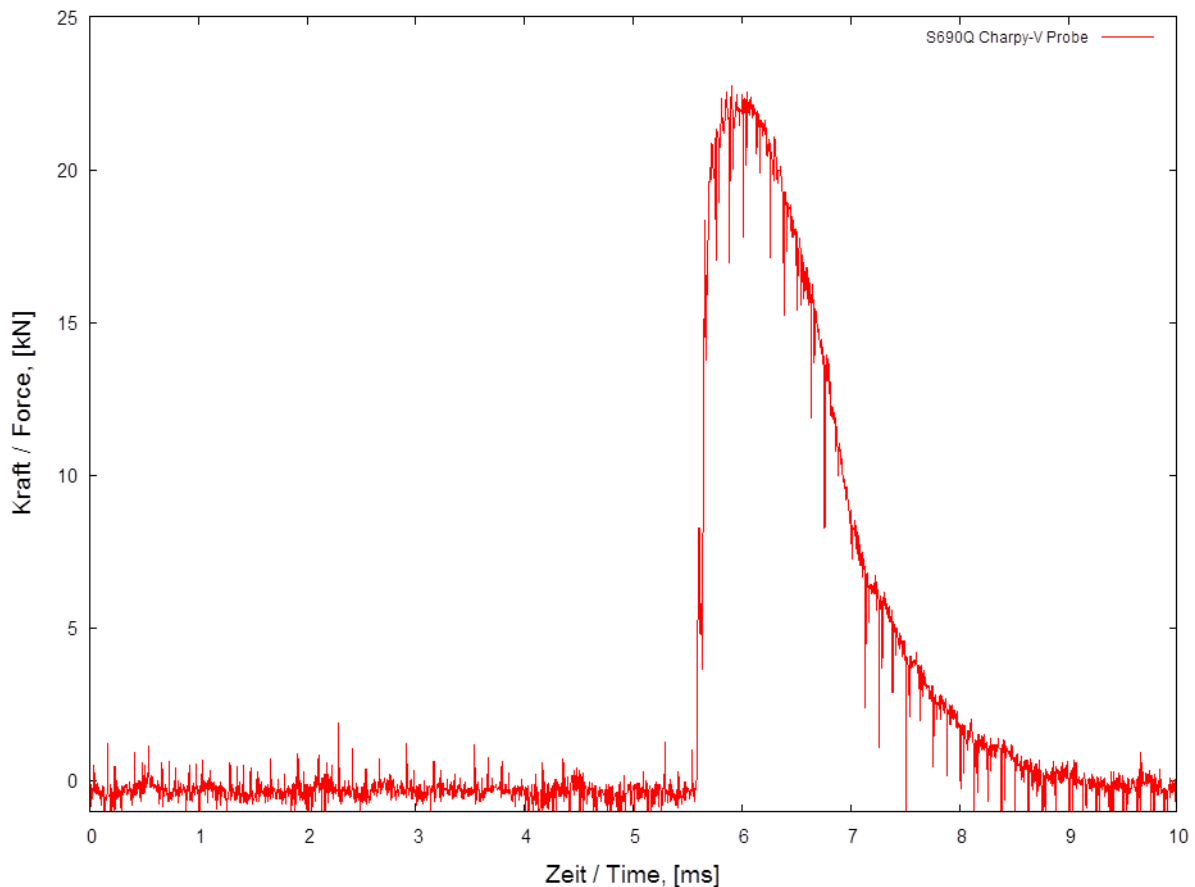
Die Zähigkeit von Bauteilen kann mit bruchmechanischen Untersuchungsmethoden quantitativ beschrieben werden.

a) Erläutern Sie die beiden bruchmechanischen Kennwerte  
i) Spannungsintensitätsfaktor und ii) Bruchzähigkeit. (2 Punkte)

b) Ist zur Ermittlung der Bruchzähigkeit ein ebener Spannungszustand (ESZ) oder ein ebener Dehnungszustand (EDZ) erforderlich? Begründen Sie Ihre Antwort. (1,5 Punkte)

**Aufgabe 11****Kerbschlagbiegeversuch****8 Punkt(e)**

Eine ISO-V-Spitzkerbprobe 10x10x55 aus hochfestem Baustahl S690Q wird einem instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch unterzogen. Die Aufprallgeschwindigkeit des Hammers beträgt 7,72 m/s (Aufprallenergie 1471 J, Hammermasse 49,368 kg). Während des Versuchs wird der Kraft-Zeit-Verlauf an der Finne des Hammers aufgenommen. **Diagramm 1** stellt den so ermittelten Datensatz dar.



**Diagramm 1** – Ergebnis des instrumentierten Kerbschlagbiegeversuchs, Stahl S690Q, Charpy-V Probe.

- a) Nennen Sie die benötigten Gleichungen, um auf Basis des Kraft-Zeit-Verlaufs die verrichtete Kerbschlagarbeit zu berechnen! (2 Punkte)

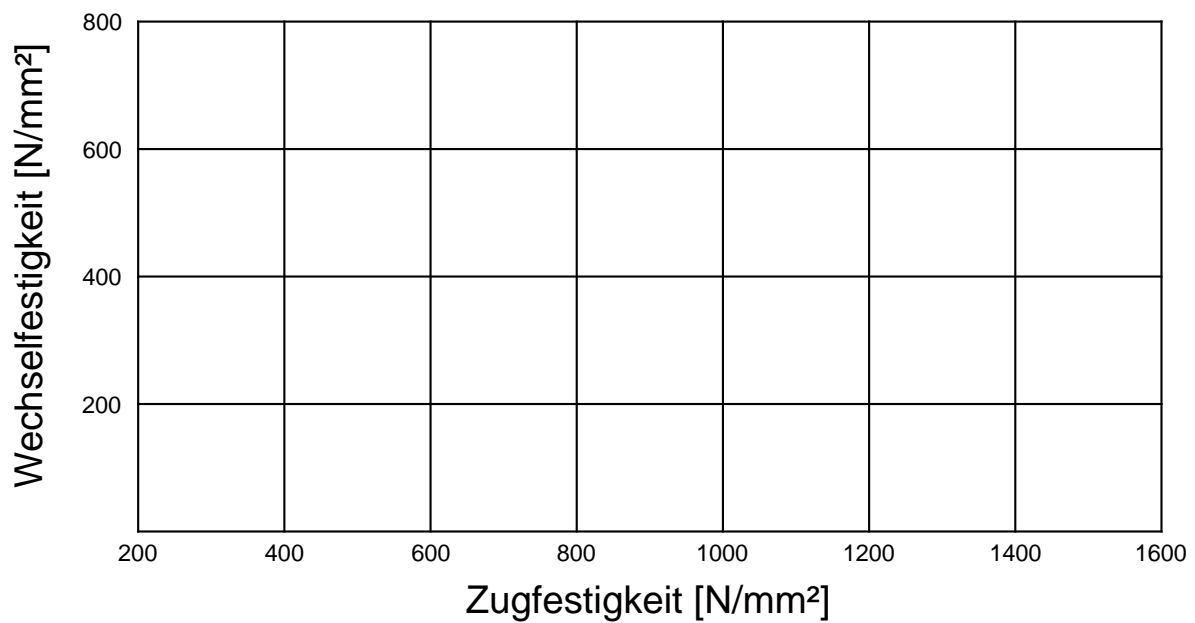


- b) Geben Sie qualitativ die Änderung der Hammergeschwindigkeit während der Zerschlagung der Probe an! Ist die Änderung der Hammergeschwindigkeit relevant wenn ein Baustahl bei Raumtemperatur eine Kerbschlagbiegearbeit von ca. 300J erreicht? (2 Punkte)

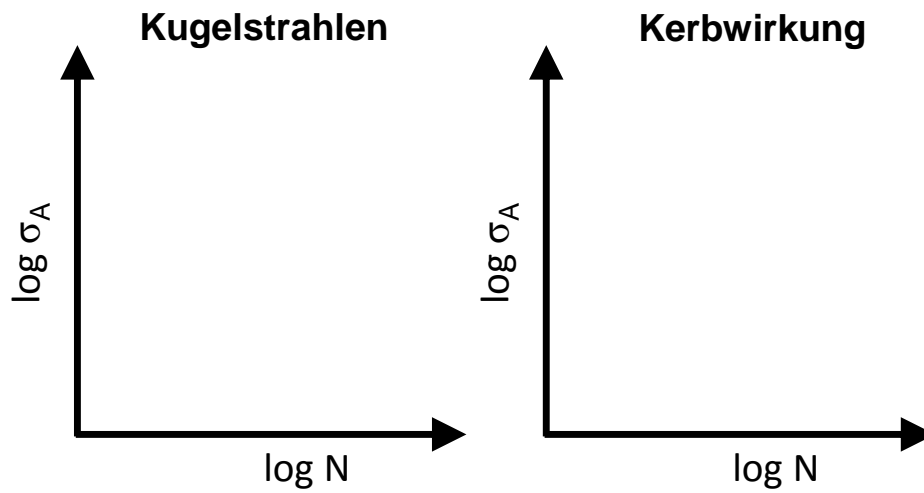
- c) Vereinfachen Sie auf Basis der unter b) gegebenen Antwort die in a) genannten Gleichungen! (2 Punkte)
- d) Schätzen Sie auf Basis der unter c) gegebenen Antwort die verrichtete Kerbschlagarbeit! Erläutern Sie bitte alle Annahmen, die für die Berechnung benötigt werden. (2 Punkte)

**Aufgabe 12****Dauerfestigkeit****8 Punkt(e)**

- a) Für unlegierte und legierte Stähle wird oft ein direkter Zusammenhang zwischen Wechselfestigkeit und Zugfestigkeit beobachtet. Zugleich ist die Wechselfestigkeit stark von der jeweiligen Beanspruchungsart (Biegung, Zug-Druck, Torsion) abhängig. Skizzieren Sie den Zusammenhang von Wechselfestigkeit und Zugfestigkeit jeweils für die drei Beanspruchungsarten. (4 Punkte)



- b) Zeichnen Sie schematisch den Einfluss der jeweiligen Parameter (mit und ohne Kugelstrahlen, gekerbte und ungekerbte Probe) auf das Wöhlerdiagramm. Begründen Sie kurz den Unterschied. (4 Punkte)



**Aufgabe 13****Blechprüfung****8 Punkt(e)**

- a) Das Fließverhalten einer Flachzugprobe wird durch die Werkstoffkennwerte  $r$ ,  $n$  und  $m$  gekennzeichnet. Definieren Sie diese Kenngrößen und erläutern Sie deren Bedeutung. (3 Punkte)
- b) Was bedeutet  $r_m=1$  und  $\Delta r=0$  in Bezug auf das Fließverhalten? Geben Sie die Definition von  $r_m$  und  $\Delta r$  an. (2 Punkte)
- c) Wie würden Sie die Größen des  $r_m$ -Wertes und der planaren Anisotropie  $\Delta r$  bei der Herstellung einer Getränkedose wählen. Begründen Sie die Auswahl (2 Punkte)?
- d) Zwei Werkstoffe unterscheiden sich bei ansonsten gleichen Werten für  $R_e$  und  $R_m$  im  $m$ -Wert.  
Werkstoff 1:  $m=-0,1$   
Werkstoff 2:  $m=+0,1$   
Wie unterscheidet sich das konventionelle  $\sigma$ - $\epsilon$ -Diagramm? (1 Punkt)

**Aufgabe 14****Hochtemperatureigenschaften****8 Punkt(e)**

- a) Zeichnen Sie den typischen Verlauf der plastischen Dehnung über der Beanspruchungsdauer eines Kriechversuches in das obere Diagramm in **Anlage 1** ein. Markieren Sie zusätzlich die Bereiche des i) stationären Kriechens, ii) beschleunigten Kriechens und iii) Übergangskriechen. (2,5 Punkte)
- b) Zeichnen Sie in das untere Diagramm in **Anlage 1** die zugehörige Kriechgeschwindigkeit ein. (1,5 Punkte)

**Anlage 1**

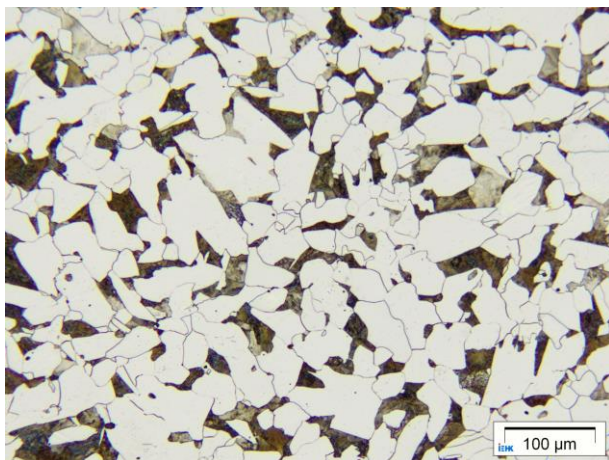
c) Nennen Sie 4 metallkundliche Phänomene die während des Kriechens im Werkstoff stattfinden. (4 Punkte)

- 
- 
- 
-

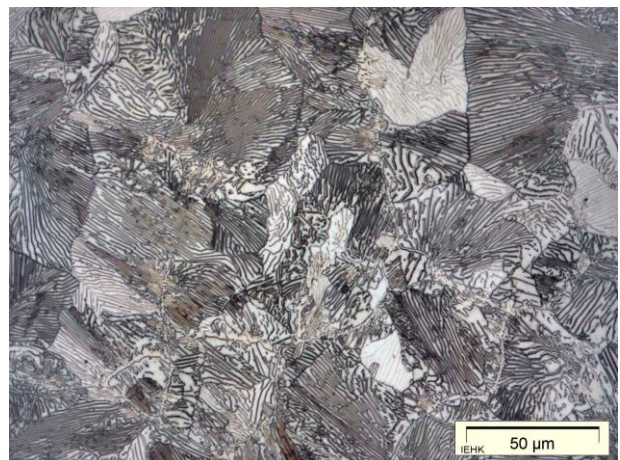
**Aufgabe 15****Metallographie****5 Punkt(e)**

a) In Anlage 1 sehen Sie das Gefüge zweier unterschiedlicher Stähle, die gleichgewichtsnah abgekühlt sind. Benennen und markieren Sie die jeweiligen Phasen! (3 Punkte)

b) Geben Sie den ungefähren Kohlenstoffgehalt der jeweiligen Stähle an! (2 Punkte)

**Anlage 1**

1)



2)

**Abbildung 1**



**Aufgabe 16****Elektronenmikroskopie****4 Punkt(e)**

Nennen Sie ein geeignetes Mikroskopie-Verfahren für die folgenden Untersuchungen und begründen Sie kurz Ihre Wahl.

- i) Bestimmung des Bruchmechanismus (1 Punkt)
- ii) Bestandteile eines Einschlusses (1 Punkt)
- iii) Nachweis der Zwillingsbildung in einem TWIP-Stahl (1 Punkt)
- iv) Ermittlung des Restaustenitgehalts in einem TRIP-Stahl (1 Punkt)