

Masterprüfung

„Werkstofftechnik der Stähle“

30.03.2017

Name, Vorname:

Matrikelnummer:

Erklärung: Ich fühle mich gesund und in der Lage an der vorliegenden Prüfung teilzunehmen.

Unterschrift:

Aufgabe	Punkte:	Erreichte Punkte:	Punkte nach Einsicht (zusätzliche Punkte)
1	6		
2	7		
3	7.5		
4	3		
5	10		
6	7.5		
7	5		
8	10		
9	8		
10	8.5		
11	3		
12	6		
13	9.5		
14	2		
15	3		
16	4		
Summe	100		

Zum Bestehen der Klausur werden 44 % der Punkte benötigt.

Aufgabe 1**Zugversuche I****6 Punkt(e)**

Definieren Sie stichwortartig den Unterschied zwischen den in Zugversuchen ermittelten Kenngrößen (6 Punkte):

 R_{eH} , R_{eL} , R_m $R_{p\ 0,01}$.

n-Wert

r-Wert

Aufgabe 2**Zugversuche II****7 Punkt(e)**

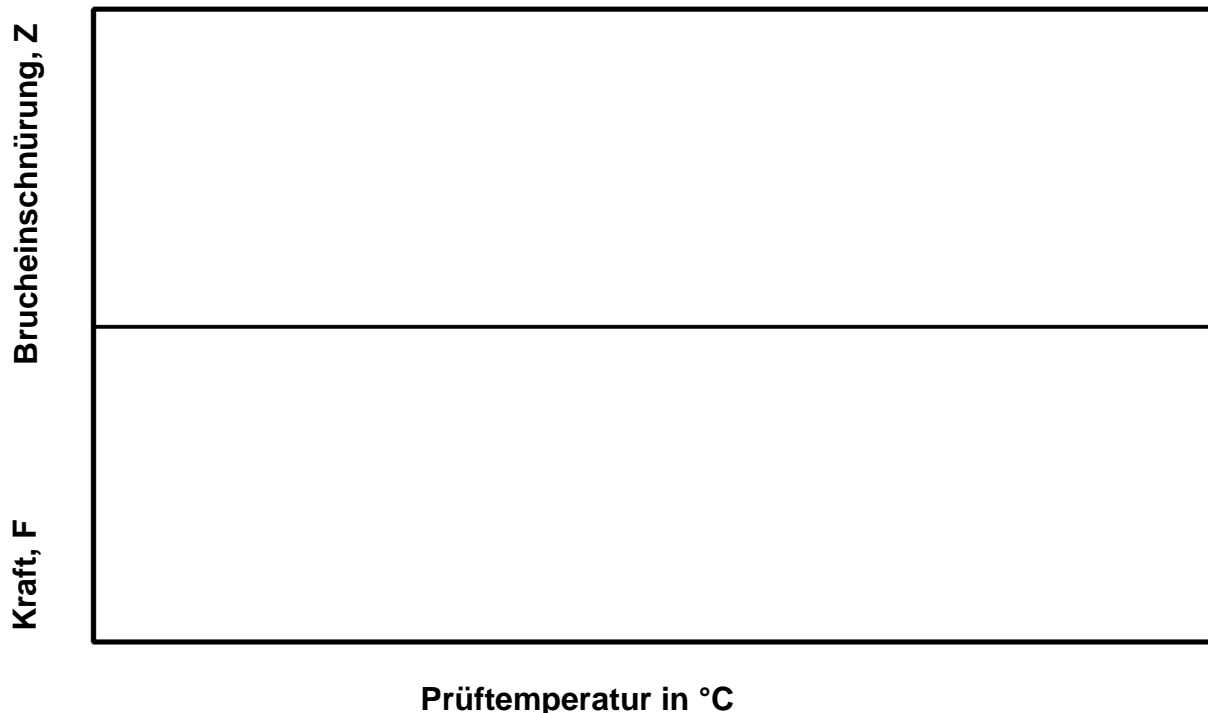
- a) Skizzieren Sie schematisch die Spannung-Dehnung-Kurve eines IF-Stahls (Stahl ohne interstitiell gelöste Atome) und bezeichnen Sie die charakteristischen Werte. Markieren Sie außerdem die Bereiche homogener und inhomogener Verformung. (4,5 Punkte)
- b) Bis zu welchem Grenzwert kann die Probe ohne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

Aufgabe 3**Heißzugversuch****7.5 Punkt(e)**

Zur Ermittlung der Strangvergießbarkeit von Stählen können Heißzugversuche durchgeführt werden, welche Informationen über die Festigkeit und die Duktilität bei hohen Temperaturen liefern.

- a) Definieren Sie die Nullzähigkeitstemperatur (T_{NZ}), die Nullfestigkeitstemperatur (T_{NF}) und das Temperaturintervall der Heißrissneigung (ΔT_o). (3 Punkte)
- b) Skizzieren die Beziehung zwischen Duktilität und Festigkeit während der Erstarrung beim Stranggießen in das vergebene Diagramm in Anlage 1 in einem Temperaturbereich von 800°C bis T_{liquidus} . Zeichnen Sie zusätzlich die in Teilaufgabe a) definierten Temperaturen und Temperaturbereiche ein. (4.5 Punkte)

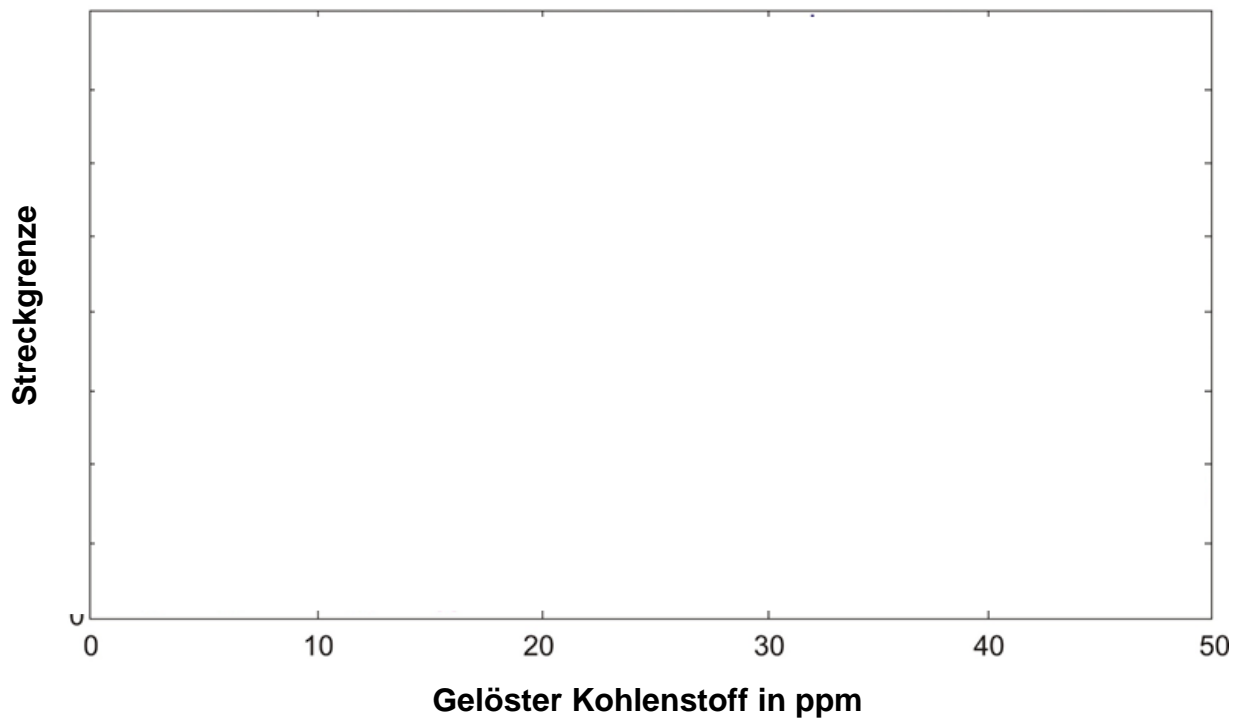
Anlage 1



Aufgabe 4**Bake-hardening****3 Punkt(e)**

Skizzieren Sie den Einfluss von gelöstem Kohlenstoff in Ferrit auf die Streckgrenze für die folgenden zwei Wärmebehandlungen in **Anlage 1**.

- 2% Umformung und Wärmebehandlung bei 170° für 20 Minuten (Bake-hardening) (1 Punkt)
- Wärmebehandlung bei 100°C für 2 Stunden (künstliche Alterung) (1 Punkt)



- Wie ist der Bake-hardening-Effekt formelmäßig definiert? (1 Punkt)

$$BH_2 = \quad \quad \quad [\text{in MPa}]$$

Aufgabe 5 Festigkeitssteigernde Mechanismen 10 Punkt(e)

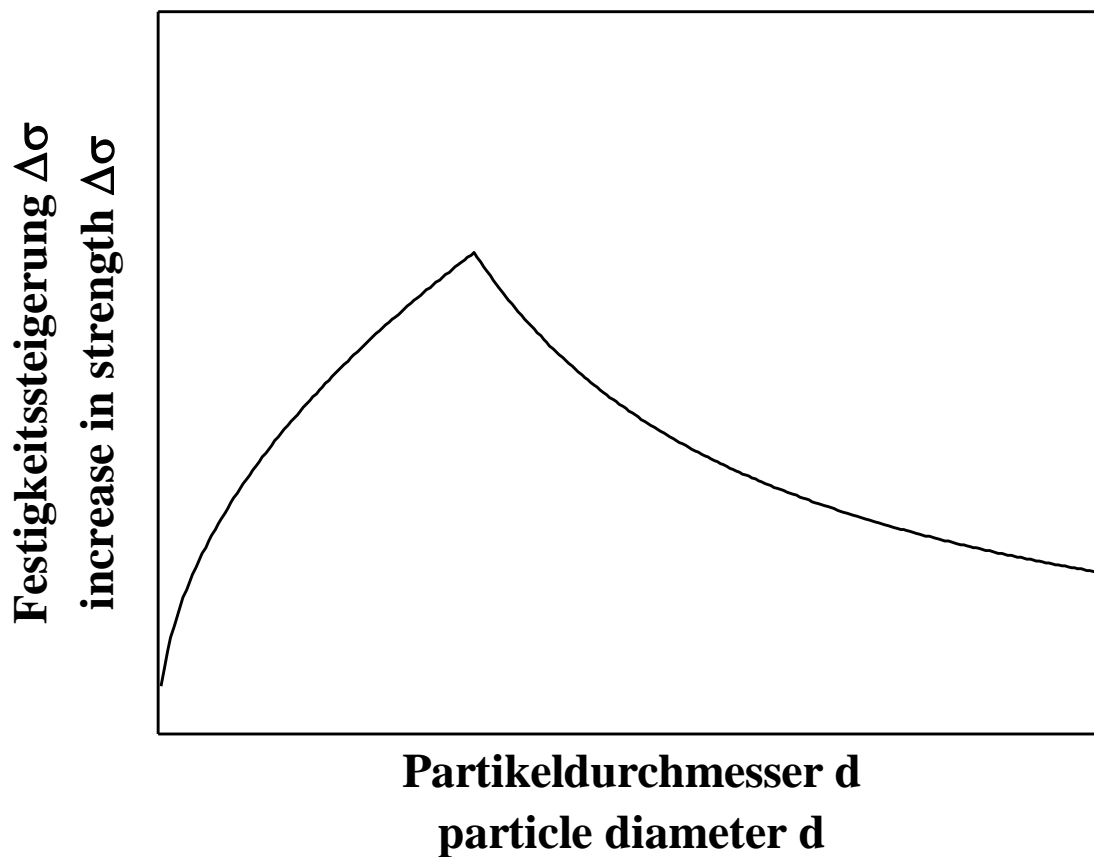
- a) Zur Festigkeitssteigerung von Stählen können verschiedene Mechanismen genutzt werden. Vervollständigen Sie **Tabelle 1**, indem Sie die ungefähre Proportionalität der Festigkeitssteigerung mit mikrostrukturellen Bestandteilen verbinden. Geben Sie zusätzlich alle benötigten Parameter an. (4 Punkte)

Tabelle 1

Nr.	Mechanismus	Festigkeit
1.	Versetzungverfestigung	$\sim Gb\rho^{1/2}$ wobei, G = Schubmodul; b = Burgersvektor; ρ = Versetzungsdichte
2.	Mischkristallverfestigung	
3.	Kornfeinung	
4.	Ausscheidungshärtung	
5.	Mehrphasenverfestigung	

- b) Gelöste interstitielle Atome wie C oder N bewirken eine sehr hohe Festigkeitssteigerung in ferritischen Stählen, wenn sie in kleinen Mengen hinzulegiert werden. Bei austenitischen Stählen wird eine deutlich höhere Menge an gelösten interstitiellen Atomen benötigt um die gleiche Festigkeitssteigerung zu erreichen. Erklären Sie kurz den Unterschied zwischen austenitischen und ferritischen Stählen, bezogen auf die Festigkeitssteigerung durch interstitielle Atome. (1 Punkt)
- c) ‚Martensit‘ als ein Umwandlungsprodukt im Stahl weist mehrere Festigkeitssteigerungsmechanismen auf, die zu einer hohen Festigkeit führen. Nennen Sie mindestens drei festigkeitssteigernde Mechanismen in Fe-C Martensit. (3 Punkte)

- d) Ausscheidungshärtung ist einer der Festigkeitssteigerung Mechanismen, der in Stahl verwendet wird. Hierbei werden Partikel in bestimmten Größenordnung zum Erhöhen der Festigkeit genutzt. Erklären Sie den in **Bild 1** dargestellten Einfluss der Ausscheidungsgröße (Partikelgröße) auf die Festigkeitssteigerung von Stählen. Bitte nennen Sie die Interaktionsmechanismen vor und nach dem Maximum. Bei welcher ungefähren Ausscheidungsgröße wird das Maximum an Festigkeitssteigerung erreicht? (2 Punkte)

Bild 1

Aufgabe 6 **Thermomechanische Behandlung** **7.5 Punkt(e)**

Der Einfluss der Mikrolegierungselemente auf die Gefügeentwicklung des Stahls ist abhängig von ihrer Auflösungs- und Ausscheidungstemperatur. Die Ausscheidungstemperatur hat einen erheblichen Einfluss auf die Ausscheidungsgröße und somit auf die Wirkungsweise der Ausscheidungen.

- a) Treffen Sie eine qualitative Aussage über die Größe der Ausscheidungen, die sich bei Temperaturen von 1200 °C, 1000 °C und 800 °C ausscheiden. (3 Punkte)
- b) Welche Wirkungen können diesen bei 1200 °C, 1000 °C und 800 °C gebildeten Ausscheidungen zugeschrieben werden? (3 Punkte)

- c) Geben Sie den ungefähren Bereich der Zulegierung in Massenprozent für Mikrolegierungselemente an (1,0 Punkte).

Die Mikrolegierungselemente V und Nb können Carbonitride des Typs $Me(C, N)$ bilden.

- d) Liegen diese nach der Erwärmung vor der Warmumformung auf ca. 1250 °C gelöst oder ausgeschieden vor (0,5 Punkte)?

Aufgabe 7**Bruchmechanismen****5 Punkt(e)**

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 Punkt(e)**

- 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****8 Punkt(e)**

Eine SENB 10x20 Probe aus dem Stahl S460 wurde gemäß der Normen ASTM E 399 und BS 5762 vorbereitet und bei -95°C geprüft. Dabei trat Sprödbbruch auf. Die Fertigungszeichnung der SENB Probe ist in Bild 1 angegeben.

- Welche Risslänge, bzw. welches Verhältnis Risslänge/Probenbreite, muss in der SENB 10x20 Probe gemäß den Normen eingestellt werden? Warum wird vor dem eigentlichen Versuch ein Ermüdungsriss eingeschwungen? (2 Punkte)
- An welchem Punkt aus dem Diagramm in Bild 2 wird die Bruchkraft abgelesen? (2 Punkte)
- Berechnen Sie den K_Q Wert. Verwenden Sie dabei die unten angegebenen Formeln. Der Wert der Korrekturfunktion $f(\lambda)$ entspricht in diesem Fall dem Wert 2,66. Bitte geben Sie die Antwort sowohl in $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ als auch in $\text{N}/\text{mm}^{3/2}$ an. (4 Punkte)

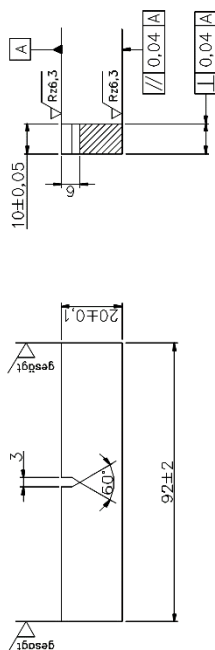


Bild 1: Fertigungszeichnung der SENB 10x20 Probe

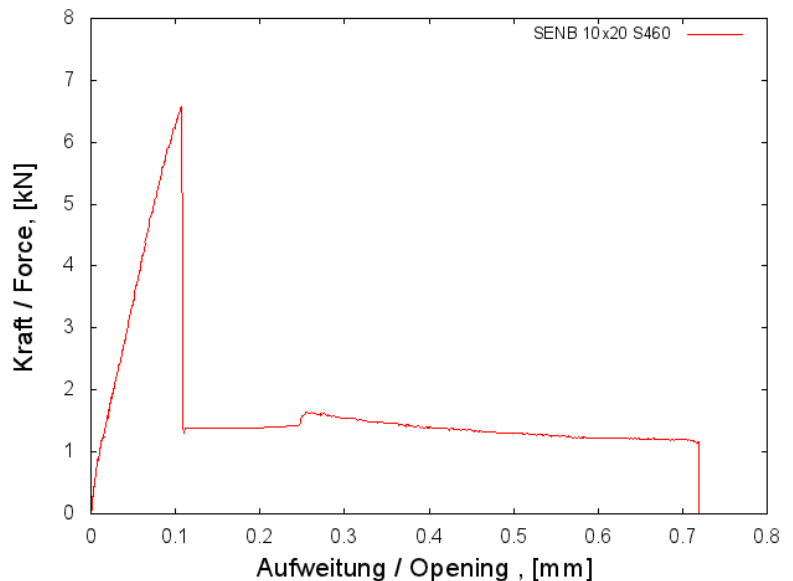


Bild 2: Experimentelle Ergebnisse Kraft-Risspitzenaufweitung Schieb

$$K_Q = \frac{FS}{BW^{3/2}} f(\lambda)$$

$$\lambda = \frac{a}{W}$$

$$W=2B$$

$$S=4W$$

Aufgabe 10**Dauerfestigkeit****8.5 Punkt(e)**

Der grundlegende technische Ermüdungsfestigkeitsversuch ist der Einstufen Schwingversuch nach Wöhler.

- a) Skizzieren Sie einen sinusförmigen Spannung-Zeitv-Verlauf mit genau zwei Schwingspielen und kennzeichnen Sie anhand des Verlaufs die unterschiedlichen Kennwerte (σ_m , σ_a , σ_u und σ_o). (3,5 Punkte)
- b) Zeichnen Sie die sinusförmigen Spannung-Zeit-Verläufe für die Zustände $R = 0$ und $R = -1$ und geben Sie die Gleichung des Spannungsverhältnisses an. (2 Punkte)

- c) Ein nichtlinearer Zusammenhang tritt bei elastisch-plastischer Beanspruchung im Wöhler-Versuch mit ungekerbten Proben auf. Skizzieren Sie eine stabilisierte Hystereseschleife und eine zyklische Spannung-Dehnung-Kurve. Wie wird die zyklische Spannung-Dehnung-Kurve ermittelt? (3 Punkte)

Aufgabe 11**Bauschinger-Effekt****3 Punkt(e)**

- a) Welches Werkstoffverhalten wird durch den Bauschinger-Effekt beschrieben?
Was ist ursächlich für den Bauschinger-Effekt? (2 Punkt)
- b) Welche Gegenmaßnahme kann ergriffen werden, um den Bauschinger-Effekt zu minimieren (1 Punkt)?

Aufgabe 12**Blechprüfung****6 Punkt(e)**

- a) Geben Sie für die folgenden Dehnungszustände ein zugehöriges Testverfahren zur Bestimmung eines Formänderungsschaubildes an Blechproben an. (4 Punkte)

$$\varepsilon_1 = -\varepsilon_2$$

$$\varepsilon_1 = -2\varepsilon_2$$

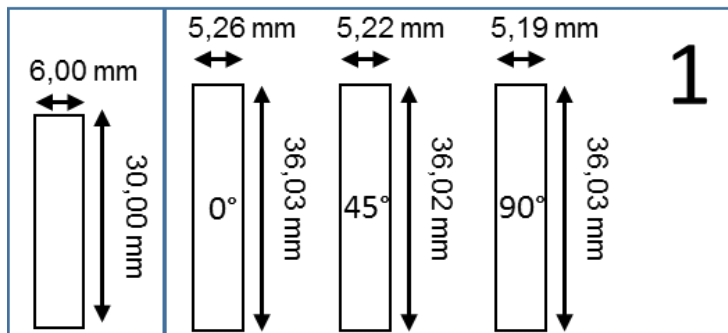
$$\varepsilon_1 = -\varepsilon_3,$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2$$

- b) Wie wird das sogenannte Lochaufweitungsverhältnis λ ermittelt? Geben Sie die benötigte Gleichung an und erklären Sie die Variablen. (2 Punkte)

Aufgabe 13**Blechprüfung II****9.5 Punkt(e)**

Es wurden Zugversuche an A₃₀ Flachzugproben durchgeführt. Der Messbereich der Zugproben wurde vor und nach dem Versuch vermessen. Die ermittelten Werte sind in **Anlage 1** angegeben.

Anlage 1

- a) Berechnen Sie die logarithmischen Umformgrade der 3 Versuche mit Hilfe der Anlage 1 und geben Sie die verwendeten Formeln an! (2,5 Punkte)
- b) Berechnen Sie die senkrechte Anisotropie für Werkstoff 1 und geben Sie die benötigte Formel an! (1.5 Punkte)

- c) Die Proben wurden, wie gekennzeichnet, längs (0°), quer (90°) und diagonal (45°) zur Walzrichtung entnommen. Ermitteln Sie die mittlere, sowie die planare Anisotropie. Geben Sie zusätzlich die benötigten Formeln an. (3 Punkte)
- d) Welche beiden Aussagen lassen sich aus der mittleren, sowie planare Anisotropie ableiten? (1,5 Punkte)

- e) Für zwei weitere Werkstoffe wurde die mittlere und die planare Anisotropie ermittelt, welche in Anlage 2 angegeben sind. Welcher Werkstoff ist am besten für das Tiefziehen geeignet? Begründen Sie Ihre Antwort kurz. (1 Punkt)

Anlage 2

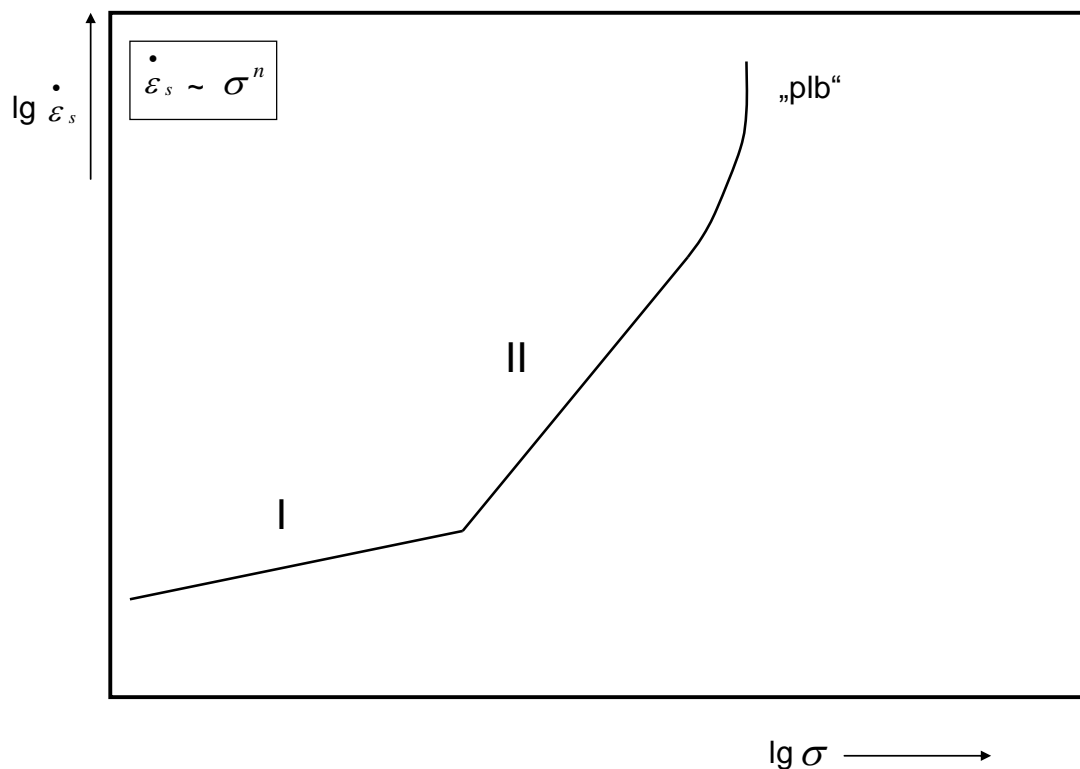
	Mittlere Anisotropie Mean anisotropy	planare anisotropie planar anisotropy
Material 2	0.9	0.25
Material 3	1.6	0.1

Aufgabe 14**Hochtemperatureigenschaften****2 Punkt(e)**

Bei höheren Prüftemperaturen werden die mechanischen Eigenschaften stark von der Dehngeschwindigkeit $\dot{\varepsilon}$ beeinflusst. Im Diagramm wird die Dehngeschwindigkeit als Funktion der Spannung für den Bereich des stationären Kriechens aufgezeigt (Newtonsches Kriechgesetz).

- Tragen Sie die Verschiebung der Kurve ein, wenn ein grobkörniges Material im Einsatz ist! (1,0 Punkte)
- Tragen Sie die Verschiebung der Kurve ein, wenn ein Material mit niedrigem E-Modul im Einsatz ist! (1,0 Punkte)

Diagramm:



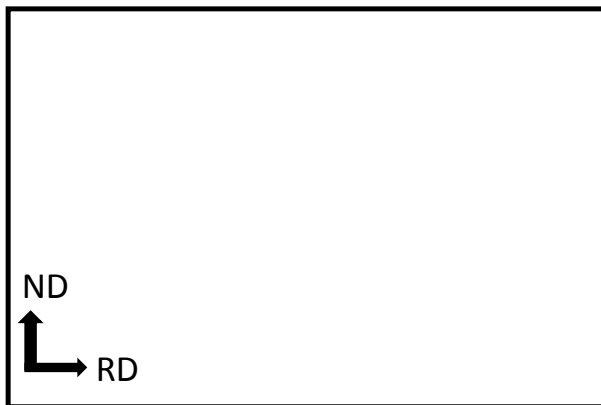
Aufgabe 15**Metallographie****3 Punkt(e)**

Mit Hilfe der Metallographie können wichtige Erkenntnisse über nichtmetallische Einschlüsse in Stählen gewonnen werden.

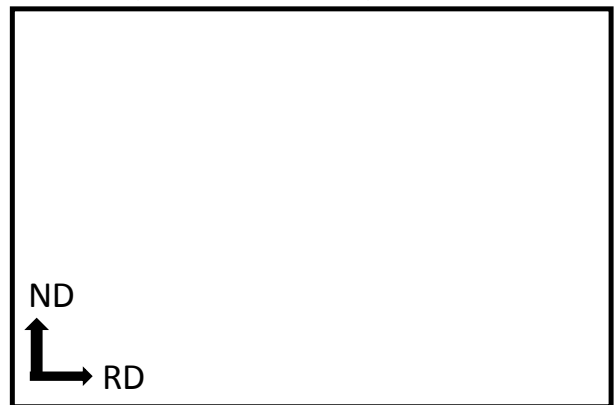
Erläutern Sie die Charakteristika von Mangansulfid und Aluminiumoxid in einem Stahl nach dem Kaltwalzen. Skizzieren Sie die bereits genannten Einschlüsse nach dem Kaltwalzen hierfür in Anlage 1 und begründen Sie warum diese Einschlussarten Ihre jeweilige Form einnehmen! (3 Punkte)

Anlage 1

Aluminiumoxid / Aluminium oxide



Mangansulfid/ Manganese sulfide



ND: normal direction / Blech Normalenrichtung

RD: rolling direction / Walzrichtung

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

- a) Welche Reaktionen können beim Auftreffen von Elektronen auf die Probenoberfläche stattfinden? Nennen und beschreiben Sie hierzu 3 der auftretenden Strahlungen! (3 Punkte)
- b) Erläutern Sie kurz die Unterschiede in der Probenpräparation, die sich aus der Funktionsweise der Geräte für REM- und TEM-Untersuchungen ergeben. (1 Punkt)