

Teilnehmernummer: \_\_\_\_\_  
Participant Number:

**Eignungsfeststellungsprüfung Master**  
*Suitability Examination Master*

**Musterprüfung Werkstoffkunde**  
*Sample Exam Material Science*

© Fakultät LRG, TUM

Bitte legen Sie Ihren Lichtbildausweis bereit.

Sie haben für die Bearbeitung der Prüfung 60 Minuten Zeit.

Bitte nicht mit rot oder grün schreibenden Stiften oder Bleistift ausfüllen!

*Prepare your ID for inspection.*

*The exam will last 60 minutes.*

*Do not write with red or green pens or pencils!*

Diese Prüfung enthält **13** nummerierte Seite inkl. Deckblatt.

**Bitte prüfen Sie die Vollständigkeit Ihres Exemplars!**

*This exam contains **13** numbered pages including the cover page.*

***Please check the completeness of your copy!***

erreichte Punkte <i>reached points</i>		erzielbare Punkte <i>possible points</i>	60
---	--	---	----

**Bestanden**  
*Passed*

ja   
*yes*

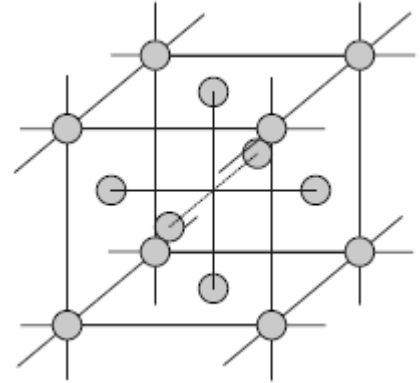
nein   
*no*

**Aufgabe 1**

**Task 1**

Die Abbildung zeigt die Elementarzelle einer kubisch flächenzentrierten Gitterstruktur. Die Atome (als Kugeln dargestellt) sind zur besseren Sichtbarkeit verkleinert dargestellt. Dabei sei definiert:

- $R$  ist der Radius der Atome
- $a$  ist die Kantenlänge der Elementarzelle.



The figure shows a unit cell of a face-centered cubic crystal lattice. The atoms (represented as spheres) are illustrated in a reduced scale to improve visibility. Moreover, are defined:

- $R$  as the radius of the atoms
- $a$  the edge length of the unit cell.

- a) Nennen Sie die Anzahl der Atome je Elementarzelle (1 Punkt)  
Name the amount of atoms in each unit cell (1 point)

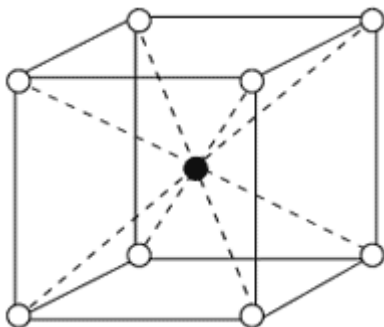
4

- b) Stellen Sie einen Zusammenhang zwischen dem Atomradius  $R$  und der Kantenlänge  $a$  der Elementarzelle her. Verwenden Sie hierzu die Annahme, dass sich die Atome (Kugeln) entlang der dichtest gepackten Richtung berühren (3 Punkte).  
Define a relation between the atom radius  $R$  and the edge length  $a$  of the unit cell. Assume that the atoms (spheres) are in contact along the most densely packed direction. (3 points).

$$4R = \sqrt{2} a$$

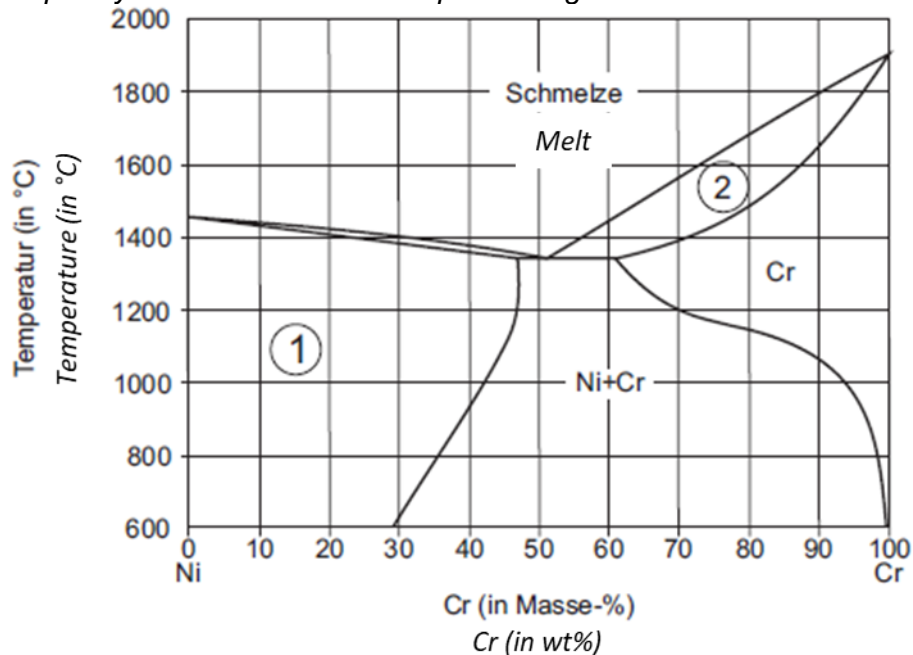
- c) Nennen Sie die andere verbreitete kubische Gitterstruktur neben der kubisch flächenzentrierten und skizzieren Sie dessen Aufbau (3 Punkte).  
Name the other common cubic lattice structure after the face-centered cubic crystal lattice and sketch its structure (3 points).

Kubisch raumzentriertes Kristallgitter / Body-centered cubic crystal lattice



**Aufgabe 2****Task 2**

Gegeben ist ein unvollständig beschriftetes Nickel-Chrom-Phasendiagramm.  
 Given is an incompletely labelled nickel-chrome phase diagram.



- a) Ergänzen Sie die Phase(n) für 1 und 2 im Phasendiagramm. Verwenden Sie für die Phasen die im Phasendiagramm gegebenen Bezeichnungen (Schmelze, Cr, Ni) (2 Punkte).  
 Complete phases 1 and 2 in the phase diagram. For the phases use the designations given in the phase diagram (melt, Cr, Ni) (2 points).

Phase 1: Ni

Phase 2: Schmelze (melt) + Cr

- b) Geben Sie die eutektische Reaktion an. Verwenden Sie für die Phasen die im Phasendiagramm vorkommenden Bezeichnungen (Schmelze, Cr, Ni) (2 Punkte).  
 Write the eutectic reaction. For the phases use the designations given in the phase diagram (melt, Cr, Ni) (2 points).

Schmelze (melt)  $\rightarrow$  Ni + Cr

- c) Berechnen Sie mit Hilfe des Hebelgesetzes den Anteil des Nickel-Mischkristalls im Gefüge einer Legierung mit einer Chromkonzentration von 50 Masse-% bei der Temperatur von 800°C. Runden Sie das Ergebnis auf eine ganze Prozentzahl (3 Punkte).  
 Calculate the share of nickel solid solution in the crystal lattice of an alloy with a chrome concentration of 50 wt% at a temperature of 800 °C. Use the lever rule. Round the result up to the next whole number (3 points).

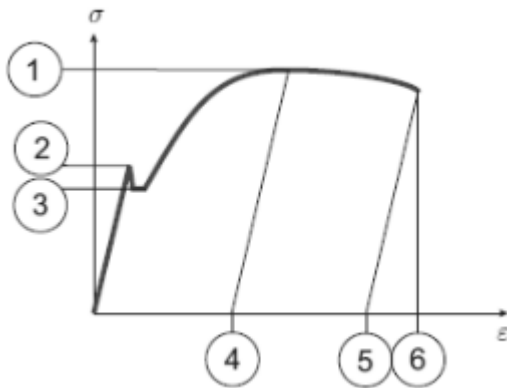
75 % - 80 %

werden als richtig gewertet / are considered correct

### Aufgabe 3 Task 3

Gegeben ist folgendes Spannungs-Dehnungs-Diagramm. Die Ziffern 1-6 markieren charakteristische Werkstoffkennwerte. Entscheiden Sie, um welche Werkstoffkennwerte es sich handelt und ordnen Sie den Begriffen in der Tabelle die entsprechende Ziffer zu. Nicht jedem in der Tabelle angegebenen Kennwert kann eine Ziffer zugeordnet werden (6 Punkte).

*In the represented stress-strain diagram the numbers 1 to 6 mark characteristic material parameters. Choose the right material parameter, by matching the parameters in the table to the correct number (6 points).*



Kennwert <i>Parameter</i>	Symbol <i>Symbol</i>	Ziffer <i>Number</i>
Elastizitätsmodul <i>tensile Modulus</i>	E	
Untere Streckgrenze <i>lower yield strength</i>	$R_{eL}$	3
Dehngrenze <i>elastic limit</i>	$R_p$	
Zugfestigkeit <i>tensile strength</i>	$R_m$	1
Bruchdehnung <i>elongation at break</i>	A	5
Gleichmaßdehnung <i>uniform elongation</i>	$A_g$	4
Brucheinschnürung <i>fracture necking</i>	Z	
Bruchlänge <i>fracture length</i>	$L_u$	
Obere Streckgrenze <i>upper yield strength</i>	$R_{eH}$	2
gesamte Dehnung bei Bruch <i>total elongation at break</i>	$A_t$	6

**Aufgabe 4**  
**Task 4**

Welche der folgenden physikalischen Eigenschaften von Festkörpern lassen sich mit dem Debye-Modell erklären: Plastizität, Wärmeausdehnung, Wärmeleitung, optische Eigenschaften (1 Punkt)?  
Which of the following physical properties of solids can be explained with the Debye model: Plasticity, thermal expansion, thermal conduction, optical properties (1 point)?

Wärmeleitung  
Thermal conduction

**Aufgabe 5**  
**Task 5**

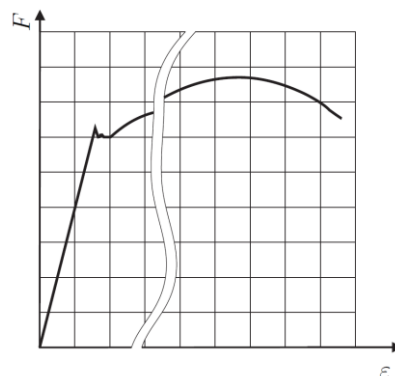
Nennen Sie den Fachbegriff für die Naturkonstante, welche den Energieinhalt eines Photons mit seiner Wellenlänge in Beziehung setzt (1 Punkt).  
Name the technical term for the natural constant that describes the relation of the energy content of a photon to its wavelength (1 point).

Plancksches Wirkungsquantum  
Planck constant

**Aufgabe 6**  
**Task 6**

Gegeben ist die technische Spannung-Dehnung-Kurve einer Probe. Auf der Abszisse ist dabei die Dehnung  $\epsilon$  in %, auf der Ordinate die Kraft  $F$  in kN angetragen. Es handelt sich um eine Rundprobe mit einer Ausgangslänge  $L_0 = 60\text{mm}$  und einen Durchmesser  $d_0 = 12\text{mm}$ . Geben Sie berechnete Werte auf zwei Nachkommastellen genau an.

Below, the technical stress-strain curve of a specimen is given. The abscissa shows the elongation  $\epsilon$  in %, the ordinate the force  $F$  in kN. The specimen has a circular cross-section with an initial diameter  $d_0 = 12\text{mm}$  and an initial length  $L_0 = 60\text{mm}$ . Specify calculated values to two decimal places.



- a) Berechnen Sie den E-Modul der Probe, wenn die Höhe eines Kästchens einer Kraft von 10 kN entspricht und die Breite eines Kästchens einer Dehnung von 0,4 % (3 Punkte).  
Calculate the Young's modulus of the sample when the height of a box corresponds to a force of 10 kN and the width of a box corresponds to an elongation of 0.4 % (3 points).



$$E = \frac{F}{A \cdot \epsilon} = \frac{4 \cdot 10 \text{ kN}}{\pi \cdot \frac{(12 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{4} \cdot \frac{1 \cdot 0,4}{100}} = 88,42 \text{ GPa}$$

- b) Geben Sie mittels des Diagramms an, wie groß die untere Streckgrenze ist, wenn die Höhe ein Kästchen 10 kN entspricht (2 Punkte).  
*Use the diagram to calculate the lower yield strength when the height of a box corresponds to a force of 10 kN (2 points).*

$$R_{el} = \frac{F}{A} = \frac{6 \cdot 10 \text{ kN}}{\pi \cdot \frac{(12 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{4}} = 530,52 \text{ MPa}$$

- c) Berechnen Sie die Bruchdehnung der Probe (in %), wenn nach dem Versuch die Längenänderung  $\Delta L = 6,0 \text{ mm}$  beträgt (2 Punkte).  
*Calculate the elongation at break of the specimen (in %) if the change in length after the test is  $\Delta L = 6.0 \text{ mm}$  (2 points).*

$$\frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100\% = \frac{6}{60} \cdot 100\% = 10\%$$

### Aufgabe 7

#### Task 7

Definieren Sie den Begriff "Härte" (1 Punkt).

*Define the term „hardness“ (1 Point).*

**Härte** ist der Widerstand, den ein Werkstoff dem Eindringen eines sehr viel härteren Prüfkörpers entgegensetzt.

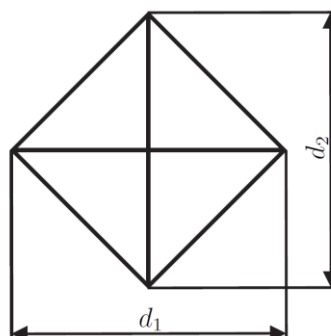
**Hardness** is the resistance of a material to the penetration of a much harder test specimen.

### Aufgabe 8

#### Task 8

Nach einer Härteprüfung nach Vickers verblieb der skizzierte Eindruck im Material zurück. Die Messung der Längen der Diagonalen des Eindrucks ergibt  $d_1=0,74 \text{ mm}$  und  $d_2=0,86 \text{ mm}$ .

*After a hardness test according to Vickers, the sketched impression remained in the material. Measuring the lengths of the diagonals of the indentation gives  $d_1=0.74 \text{ mm}$  and  $d_2=0.86 \text{ mm}$ .*



# © Fakultät LRG, TUM

- a) Nennen Sie zwei weitere Härteprüfverfahren (1 Punkt).  
*Name two other methods for testing hardness (1 Point).*

z.B. Rockwell, Shore, Brinell  
*e.g Rockwell, Shore, Brinell*

- b) Welche Vickers-Härte weist das Material auf, wenn die Prüfkraft  $F=400$  N betrug? Runden Sie Ihr Ergebnis auf eine ganze Zahl (3 Punkte).  
*What is the Vickers hardness of the material if the applied force was  $F=400$  N? Round your result to an integer (3 Points).*

Arithmetisches Mittel der beiden Diagonalen der Pyramide:  
*Arithmetic mean of the two diagonals of the pyramid:*

$$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2} = 0,8 \text{ mm}$$

Formel für Vickers-Härte:  
*Equation for Vickers hardness:*

$$HV = 0,189 \frac{F \text{ (in N)}}{d_m^2 \text{ (in mm)}} = 118$$

## Aufgabe 9 Task 9

Vervollständigen Sie die folgende Tabelle (4 Punkte):  
*Complete the following table (4 points):*

Dimension <i>Dimension</i>	Gitterfehler <i>Lattice defect</i>	Erscheinungsformen <i>Appearance</i>
0-D <i>0-D</i>	Punktfehler <i>Point defects</i>	Leerstellen, Zwischengitteratome, Substitutionsatome <i>Vacancy defect, interstitial defect, substitutional defect</i>
1-D <i>1-D</i>	Linienfehler <i>Line defects</i>	Versetzung <i>Dislocation</i>
2-D <i>2-D</i>	Flächenfehler <i>Planar defects</i>	Korngrenzen, Phasengrenzen, Stapelfehler <i>Grain boundaries, phase boundaries, stacking faults</i>
3-D <i>3-D</i>	Volumenfehler <i>Bulk defects</i>	Ausscheidung, Einschlüsse, Hohlräume <i>Precipitation, inclusions, voids</i>

### Aufgabe 10

#### Task 10

Gleitebene und Gleitrichtung bilden gemeinsam ein Gleitsystem in einem Kristallgitter. Erklären Sie kurz die Begriffe Gleitebene und Gleitrichtung (2 Punkte).

*A slip plane and a slip direction constitute a slip system in a crystal lattice. Shortly explain the terms slip plane and slip direction (2 points).*

Die **Gleitebene** ist in einem Kristall diejenige Ebene, in der die Atomlagen dichtest gepackt sind. In ihr findet bei plastischer Verformung die Versetzungsbewegung statt.

*In a crystal, the **slip plane** is the plane with the highest density of atoms, i.e., the most closely spaced. In this plane the dislocation motion takes place during plastic deformation.*

Die **Gleitrichtung** ist die Richtung der dichtesten Atompackung und somit die Richtung, in der das Gleiten der Atomschichten mit kleinstem Energieaufwand möglich ist.

*The **slip direction** is the direction in which atoms are most closely spaced and thus the direction in which the slip of the atomic layers is possible with the smallest amount of energy.*

### Aufgabe 11

#### Task 11

- a) Es liegt ein polykristallines Material in Form eines Metalldrahts vor. Durch wiederholtes Hin- und Herbiegen wird der Draht stark verformt. Es lässt sich beobachten, dass sich der Draht bei fortwährendem Biegen immer schwerer verformen lässt. Er wird folglich fester. Welcher Verfestigungsmechanismus liegt in diesem Fall vor? Nennen Sie nur den Fachbegriff! (2 Punkte)

*A polycrystalline material is present in the form of a metal wire. Repeated bending back and forth causes the wire to be strongly deformed. It can be observed that the wire becomes more and more difficult to deform with continuous bending. It therefore becomes stronger. What is the hardening mechanism in this case? Just name the technical term! (2 points)*

**Kaltverfestigung oder Versetzungshärtung**

*Strain hardening or dislocation hardening*

- b) In einer Eisenbasislegierung werden einzelne Atome des Eisengitters durch Chloratome ersetzt. Durch den Größenunterschied zwischen Substitutionsatomen und Wirtsgitteratomen (Chrom-Atome sind deutlich größer als die Atome des Eisengitters) kommt es zu einer Verzerrung des Gitters, die in weiterer Folge zum Ansteigen der Festigkeit des Materials führt. Welcher Festigkeitssteigerungsmechanismus liegt hier vor? Nennen Sie nur den Fachbegriff! (2 Punkte)

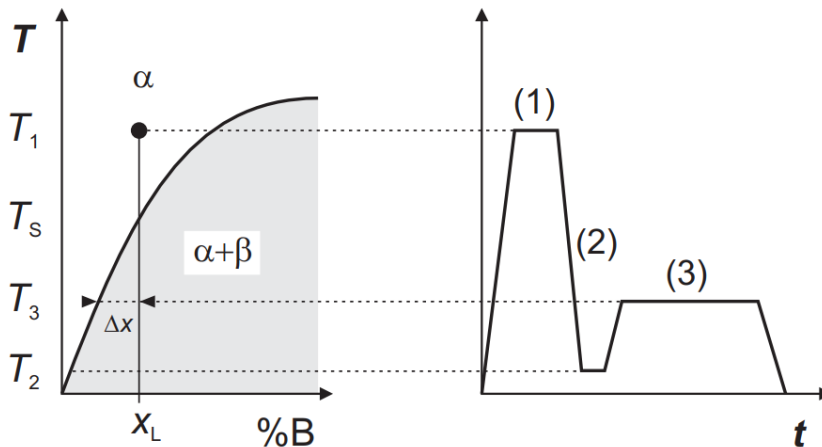
*In an iron-based alloy, individual atoms of the iron lattice are replaced by chlorine atoms. The difference in size between substitution atoms and host lattice atoms (chromium atoms are significantly larger than the atoms of the iron lattice) causes a distortion of the lattice, which subsequently leads to an increase in the strength of the material. What is the mechanism of strength increase in this case? Just name the technical term! (2 points)*

**Mischkristallverfestigung oder Mischkristallhärtung**

*Solid solution solidification or solid solution hardening*



- c) Ein binäres Legierungssystem A-B mit der Konzentration  $x_L$  an B-Atomen wird einer Wärmebehandlung entsprechend unten stehendem Zeit-Temperatur-Verlauf unterzogen. Benennen Sie die gekennzeichneten Behandlungsschritte (1), (2) und (3) der hier dargestellten Ausscheidungshärtung. Nennen Sie nur die Fachbegriffe! (3 Punkte)  
*A binary alloy system A-B with the concentration  $x_L$  of B atoms is subjected to a heat treatment according to the time-temperature curve below. Name the marked treatment steps (1), (2) and (3) of the precipitation hardening shown here. Just name the technical terms! (3 points)*



Die hier dargestellten 3 Schritte der Wärmebehandlung sind:  
*The 3 steps of heat treatment shown here are:*

- (1): Lösungsglühen oder Homogenisierungsglühen  
*Solution heat treatment*
- (2): Abschrecken  
*Quenching*
- (3): Auslagern oder Aushärten  
*Ageing or curing*

**Aufgabe 12**  
**Task 12**

- a) Vervollständigen Sie den folgenden Satz! Setzen Sie nur den gesuchten Fachbegriff ein. Je nach Art der Anordnung ihrer Kettenmoleküle können Polymere in 3 Gruppen eingeteilt werden: Thermoplaste, Elastomere und ... (2 Punkte)  
*Complete the following sentence! Use only the technical term.  
Depending on the way their chain molecules are arranged, polymers can be divided into 3 groups: thermoplastics, elastomers and ... (2 points)*

Duromere oder Duroplaste  
*Thermosets or Duroplastics*

- b) Ordnen Sie diese 3 Polymergruppen nach dem Grad ihrer Vernetzung in aufsteigender Reihenfolge von (1) nicht vernetzt → (3) stark vernetzt. Nur auf die komplett richtige Reihenfolge werden Punkte vergeben. (1 Punkt)  
*Arrange these 3 polymer groups according to the degree of crosslinking in ascending order of (1) not crosslinked → (3) strongly crosslinked. Points are only awarded for the completely correct order. (1 point)*

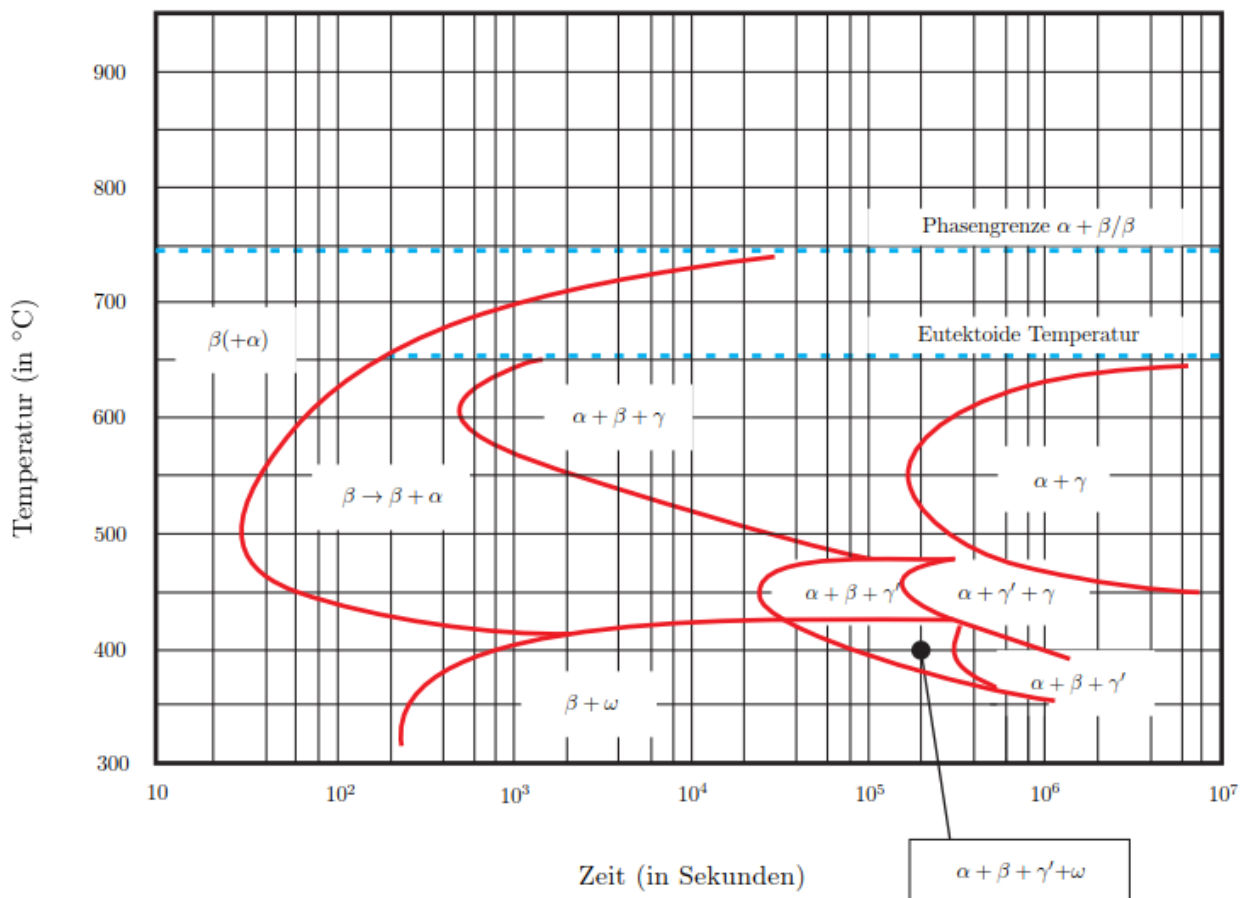
- (1) Thermoplaste  
*Thermoplastics*  
(2) Elastomere  
*Elastomers*  
(3) Duromere bzw. Duroplaste  
*Thermosets or Duroplastics*

### Aufgabe 13 Task 13

Ein Bauteil aus einer Titan-Chrom-Legierung wird wärmebehandelt. Nachdem das Bauteil bei 900°C homogenisiert wurde, wird es schnell auf 600°C abgekühlt und für 10 Stunden gehalten.

Anschließend wird das Bauteil auf Raumtemperatur abgeschreckt.

*A component made of a titanium-chromium alloy is heat treated. After the component has been homogenized at 900°C, it is quickly cooled to 600°C and held for 10 hours. Then the component is quenched to room temperature.*



- a) Aus welchen Phasen besteht das Gefüge nach dem Abschrecken von 600°C auf Raumtemperatur? (2 Punkte)  
*What phases does the microstructure consist of after quenching from 600°C to room temperature? (2 points)*

Nach dem Abschrecken besteht das Gefüge aus...  $\alpha + \beta + \gamma$   
*After quenching, the microstructure consists of ...  $\alpha + \beta + \gamma$*

- b) Das Bauteil wird bei einer Temperatur von 350°C verwendet. Bestimmen Sie mithilfe des obigen isothermen ZTU-Diagramms die Gefügezusammensetzung nach 50 Betriebsstunden. Nehmen Sie an, dass Sie eventuelle Phasenumwandlungen während des Aufheizens vernachlässigen können. (2 Punkte)

*The component is used at a temperature of 350°C. Using the above isothermal time-temperature diagram, determine the microstructure composition after 50 hours of operation. Assume that any phase transformations during heating can be neglected. (2 points)*

Nach 50 Stunden im Betrieb bei 350°C besteht das Gefüge des Bauteils aus den Phasen  
*After 50 hours in operation at 350°C the structure of the component consists of the phases*

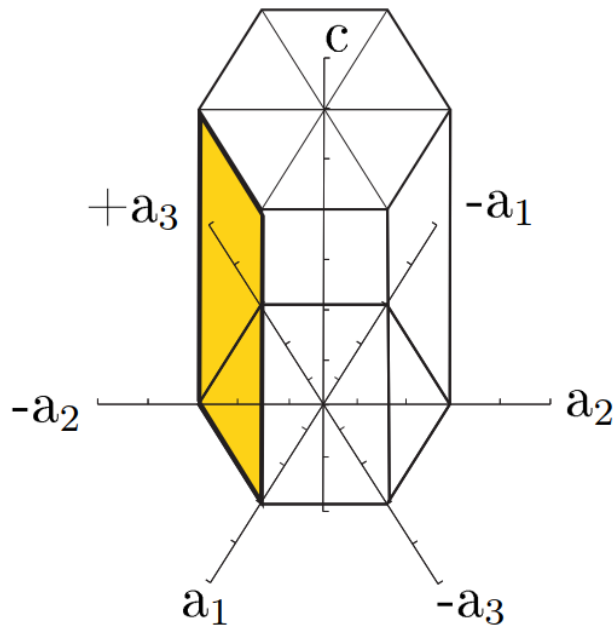
$\beta + \omega$

#### Aufgabe 14

#### Task 14

Bestimmen Sie die MILLER-BRAVAIS Indizes (hkil) für die skizzierte Ebene eines hexagonalen Systems! (2 Punkte)

*Determine the MILLER-BRAVAIS indices (hkil) for the sketched plane of a hexagonal system! (2 points)*



Lösung:  $(1\bar{1}00)$

Result:  $(1\bar{1}00)$

**Aufgabe 15**  
**Task 15**

Im Rahmen dieser Aufgabe werden folgende Bindungsarten betrachtet:

- 1: Ionenbindungen
- 2: Kovalente Bindungen
- 3: Metallische Bindungen
- 4: Sekundäre Bindungen

*In the context of this task, the following binding types are considered:*

- 1: Ion bonds*
- 2: Covalent bonds*
- 3: Metallic bonds*
- 4: Secondary bonds*

- a) Ordnen Sie die Bindungsarten in der Reihenfolge von der geringsten (I) bis zur höchsten (IV) Bindungsenergie! (1 Punkt)

- I:      *Sekundäre Bindungen / secondary bonds*  
II:     *Metallische Bindungen / metallic bonds*  
III:    *Kovalente Bindungen / covalent bonds*  
IV:    *Ionenbindungen / ion bonds*

- b) Welche Bindungsart(en) spiel(en) bei Kunststoffen eine Rolle? (2 Punkte)  
*Which type(s) of bond(s) play a role in plastics? (2 points)*

*Kovalente Bindungen, Sekundäre Bindungen*  
*Covalent bonds, secondary bonds*