

# Klausur

## Vertiefungsfach 1: Master

### Eisen- und Stahlmetallurgie

Univ. Prof. Dr.-Ing. D. Senk

14.08.2012

Nachname, Vorname:

Matrikel-Nr.:

Unterschrift:

Aufgabe	Punkte (max.)	Punkte	Unterschrift	Korrektur Datum	Gesamtpunkte (endgültig)
1	16				
2	16				
3	16				
4	16				
5	16				
<b>Summe:</b>		<b>Summe nach Einsicht:</b>			

Je richtige Teilantwort:

0,5 Punkte bis zur angegebenen maximal erreichbaren Punktzahl

# **Klausur Vertiefungsfach 1**

## **Eisen- und Stahlmetallurgie**

**Univ. Prof. Dr.-Ing. Dieter Senk**

**14.08.2012**

**1. Aufgabe : Pelletieren und Sintern**

**16 Punkte**

a) Wie werden die Roststäbe der Rostwagen bei dem Brennprozess in der Sinteranlage geschützt? Erläutern Sie die Art und Herkunft des Schutzes.

**1,0 Punkte**

b) Beim Sintern und Pelletieren wird eine gewisse Menge Brennstoff benötigt um die Partikel zu festen Agglomeraten zu verbinden.

Wo wird der Brennstoff beim Sintern eingebracht und wo beim Pelletieren? Welche Brennstoffe werden üblicher Weise eingesetzt?

**3,0 Punkte**

c) Aus welchen Verfahrensgrößen kann auf ein Ende des Sinterprozesses geschlossen werden?

**1,0 Punkte**

d) Nennen Sie sechs Gründe für die Zugabe von Rückgut zur Sintermischung!

**3,0 Punkte**

e) Bestimmen Sie:

1. wie viel Kilogramm  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  in der Sinterrohmmischung enthalten ist,
2. die Menge an  $\text{SiO}_2$ , die der Rohmmischung zugegeben werden muss und
3. die Abgaszusammensetzung bei einem Sinterprozess, pro Tonne Sinter.

**8,0 Punkte**

**Annahmen:**

- Die Eisenträger gehen unverändert aus dem Prozess hervor.
- Der Luftbedarf beträgt  $800 \text{ Nm}^3/\text{t}$ -Sinterrohmmischung.
- Der Koksgruss verbrennt vollständig zu  $\text{CO}_2$  und besteht nur aus reinem Kohlenstoff.
- Die Gase verhalten sich nach dem idealen Gasgesetz.
- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ist der einzige Eisenträger in der Sinterrohmmischung.

**Sinterrohmmischung:**

- 5 Mass.-% C
- 10 Mass.-% Wasser
- Basizität = 2
- Kalkstein: 5 Mass.-%
- $V_M = 22,4 \text{ l/mol}$

**Bekannt:**

1000	kg Sinterrohmmischung
50	kg C
100	kg Wasser
50	kg $\text{CaCO}_3$



## **2. Aufgabe: Metallurgischer Koks**

**16 Punkte**

a) Geben Sie eine Definition des Verkokungsprozesses

**1,0 Punkte**

b) Welche Aufgaben erfüllt Koks im Hochofen?

**2,5 Punkte**

c) Nennen Sie ein mögliches Gas zur Unterfeuerung der Koksofenbatterien.

**0,5 Punkte**

d) Welchen Vorteil hat das Koksofenstampfsystem gegenüber dem Koksofendrucksystem?

**3,0 Punkte**

e) Nennen Sie drei verschiedene fossile Brennstoffe!

**1,5 Punkte**

f) Beschreiben Sie die verschiedenen Inkohlungsstufen.

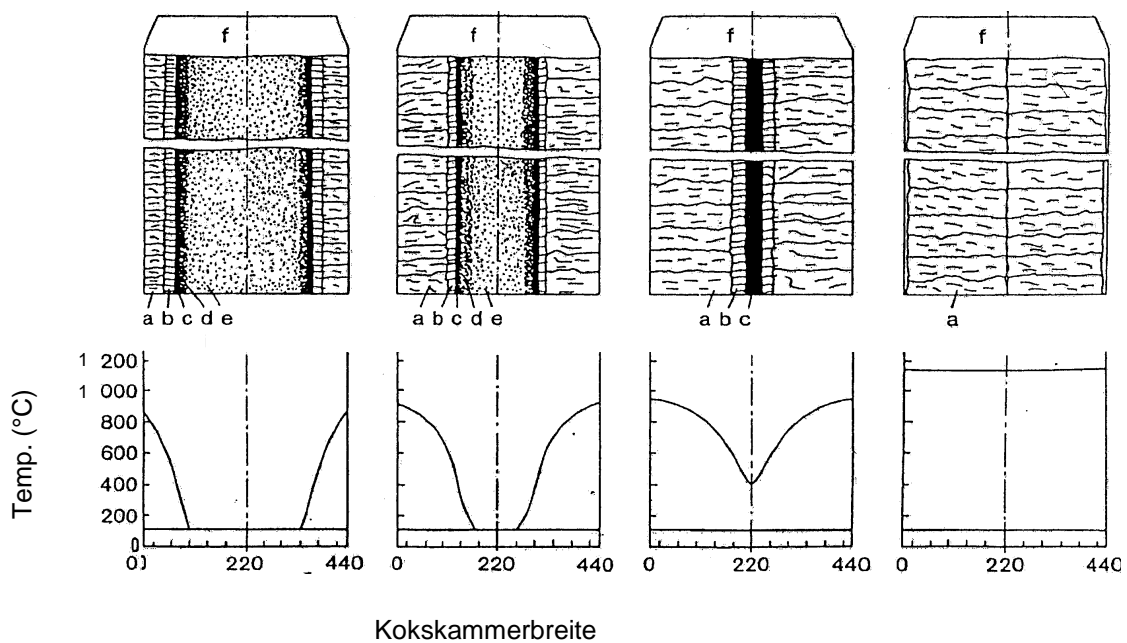
**1,5 Punkte**

g) Nennen Sie vier chemische Elemente in Kohlen, die für die Stahlherstellung eine bedeutende Rolle spielen.

**2,0 Punkte**

h) Erklären Sie anhand des Kokskammer-Schaubildes die Hauptvorgänge in den Zonen a-e. Beachten Sie dabei die korrekte Reihenfolge!

**2,5 Punkte**



- i) Der Aschegehalt ist ein Maß für den Mineralstoffgehalt eines Brennstoffs. Die Asche ist der Glührückstand der mineralischen Begleitstoffe. Der Quotient aus Mineralstoffgehalt und Aschegehalt wird als Mineralstofffaktor bezeichnet:

**1,5 Punkte**

$$\frac{M}{A} = f_M$$

mit:

M: Mineralstoffgehalt in Gew.-%

A: Aschegehalt in Gew.-%

$f_M$ : Mineralstofffaktor

Berechnen Sie den Mineralstofffaktor für eine Kohle mit einem Mineralstoffgehalt von 79 kg Mineralstoffen pro Tonne Kohle und 77,4 kg Asche pro Tonne Kohle!



### **3. Aufgabe: Hochofen und Schmelzreduktion**

---

**16 Punkte**

a) Wozu dient der Hochofen?

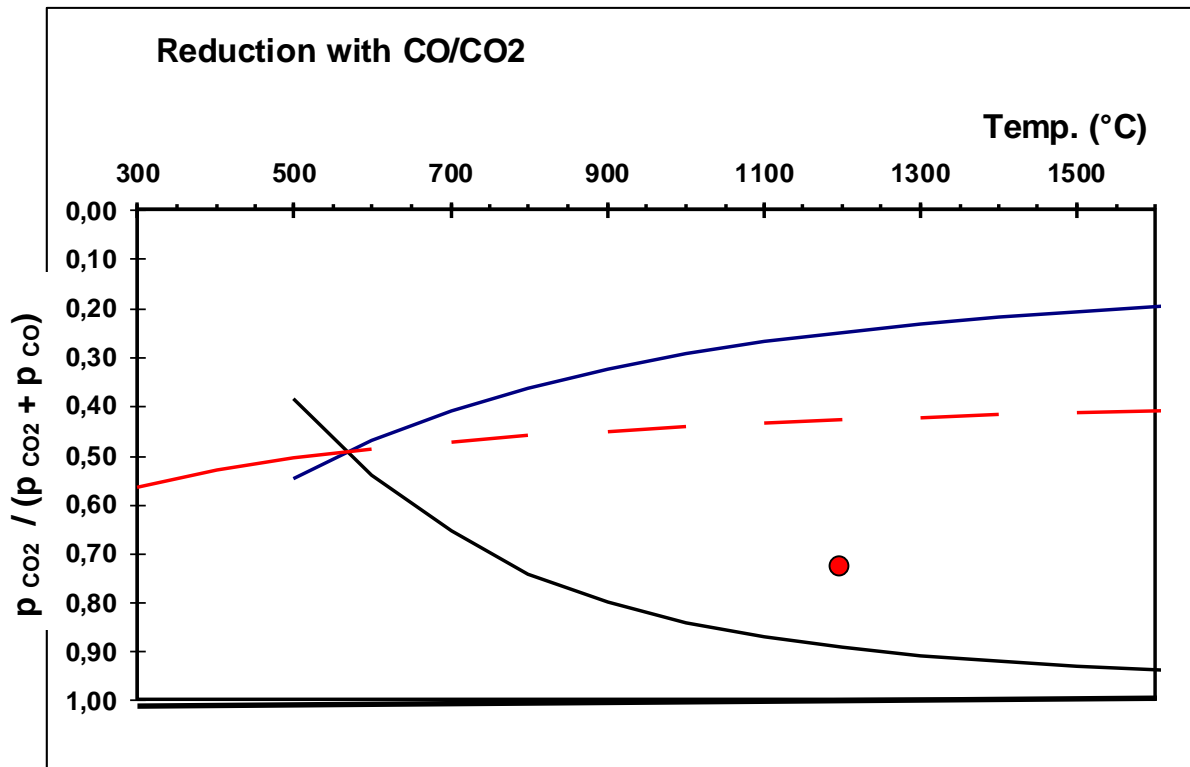
**1,0 Punkte**

b) Geben Sie ungefähr die Temperatur und den Kohlenstoffgehalt von Roheisen an, das aus dem Hochofen abgestochen wird.

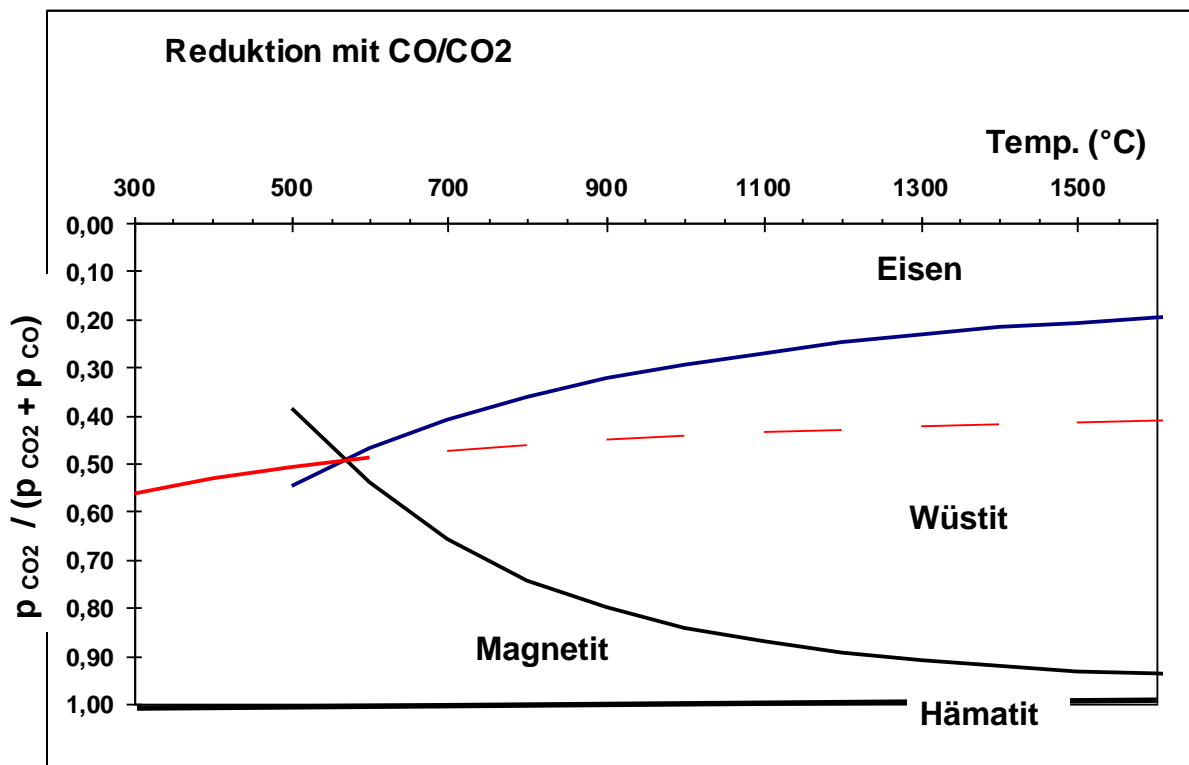
**1,0 Punkte**

c) In der **Anlage** ist das Baur-Glaessner-Diagramm für die Reduktion von Eisenoxiden mit CO/CO<sub>2</sub>-Gasmischen gezeigt.

**2,0 Punkte**



### Anlage



d) Lesen Sie aus dem gleichen Diagramm die Temperatur und das  $CO_2/CO$ -Verhältnis ab, bei dem Eisen, Wüstit und Magnetit gleichzeitig vorliegen.

**1,0 Punkte**

e) In dem gleichen Diagramm ist bei 1200°C ein Punkt eingezeichnet. Welches CO<sub>2</sub>/CO-Verhältnis muss eingestellt werden, um bei dieser Temperatur Eisen auszuscheiden?

**0,5 Punkte**

f) Von welchen Einflußgrößen hängt die Höhe des Temperaturmaximums vor den Blasformen ab? (mind. zwei Nennungen)

**1,0 Punkte**

g) In welchen Phasen (Metall, Schlacke, Gas) gehen Ca-, Mg-, Al-Oxide im Hochofenprozeß über und warum?

**1,5 Punkte**

- h) Im Hochofen erfolgen Oxidationsprozesse ausschließlich vor den Windformen in der Raceway, wo Koks und Ersatzreduktionsmittel mit dem Sauerstoff des Heißwindes verbrennen.
- i. Skizzieren Sie die Raceway und unterteilen Sie diese in zwei Zonen anhand der chemischen Reaktionen von C, O<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>! Wie lautet die Summenreaktion für die Umsetzung von Kohlenstoff in der Raceway?
- 1,5 Punkte**
- ii. Berechnen Sie die Anteile von CO und N<sub>2</sub> in Volumenprozent im Reduktionsgas, das die Raceway verlässt! Setzen Sie voraus, dass nur Wind ohne Sauerstoffanreicherung eingesetzt wird.
- 3,0 Punkte**
- iii. Berechnen Sie die Anteile von CO und N<sub>2</sub> in Volumenprozent im Reduktionsgas, das die Raceway verlässt! Setzen Sie voraus, dass der Wind mit Sauerstoff angereichert wurde, so dass das Verhältnis O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 50/50 beträgt.
- 2,5 Punkte**
- iv. Welche Auswirkung auf die Produktivität des Hochofens hat eine Sauerstoffanreicherung. Begründen Sie in Stichpunkten!
- 1,0 Punkte**



#### **4. Aufgabe: Direkt- und Schmelzreduktion**

**16 Punkte**

---

a) Welche der aufgeführten Gase wirken reduzierend und welche oxidierend?

**2,0 Punkte**

H<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>

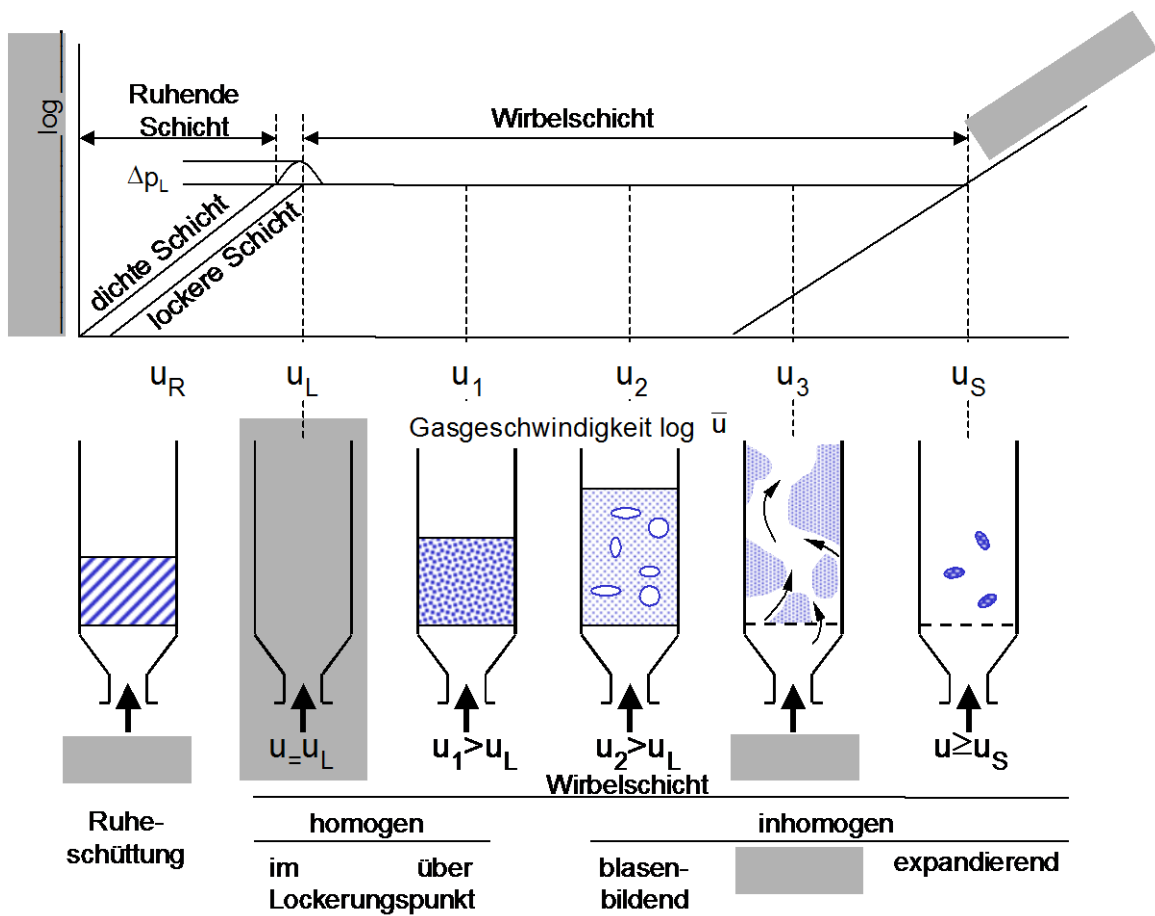
CO

H<sub>2</sub>O

b) Die Direktreduktionsverfahren lassen sich nach Art des Reduktionsmittels in Gasreduktions- und Feststoffreduktionsverfahren unterteilen. Nennen Sie 2 Verfahren von jeder Gruppe.

**2,0 Punkte**

- c) Vervollständigen Sie die untenstehende Abbildung an den grau unterlegten Flächen durch geeignete Ergänzungen. **3,0 Punkte**



d) Berechnen Sie den Druckverlust im Schachtofen zur Metallisierung der Pellets für folgende Bedingungen:

Höhe der Pelletsschicht:	H = 12 m
Durchschnittlicher Durchmesser des Schachtes	D = 4,0 m
Eingangsgastemperatur	t <sub>1</sub> = 1050 °C
Ausgangsgastemperatur	t <sub>2</sub> = 450 °C
Zusammensetzung des Reduktionsgases in %:	CO = 23; CO <sub>2</sub> = 2; H <sub>2</sub> = 72; H <sub>2</sub> O = 2; N <sub>2</sub> = 1
Zusammensetzung des Abgases in %:	CO = 12; CO <sub>2</sub> = 13; H <sub>2</sub> = 35; H <sub>2</sub> O = 39; N <sub>2</sub> = 1
Durchschnittliche Korngröße des Pellets:	d = 15 mm
Kornformfaktor.	φ = 0,95
Reduktionsgasverbrauch:	$\dot{V} = 460 \text{ Nm}^3/\text{min}$
Mittlerer Gasdruck im Schacht:	P = 130 kPa

**9,0 Punkte**

Gegeben:

$$\Delta p = \psi \left[ \frac{H}{d} \frac{(1 - \xi)}{\xi^3} \right] (w^2 \cdot \rho/g),$$

mit  $\Delta p$ : Druckverlust des Gases, kg/m<sup>2</sup>

$\psi$ : Widerstandszahl;

H: Höhe der Schüttsäule, m;

d: äquivalenter Korndurchmesser, m;

$\xi$ : Lückengrad der Schüttung, m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>;

w: mittlere Gasgeschwindigkeit in der Schüttung, m/s;

$\rho$ : Dichte des Gases, kg/m<sup>3</sup>.

g: Schwerebeschleunigung, m/s<sup>2</sup>.

Für einen nicht kugelförmigen Körper  $d = d^1 \phi$

mit  $d^1$ : mittlere Korngröße m;

$\phi$ : Kornformfaktor ( $\phi = 1,0$  für Kugel,  $\phi = 0,6 - 1,0$  für Körper anderer Form).

Widerstandszahl

$$\psi = 3,1/\text{Re}^{0,1} + 160/\text{Re} \text{ nach Brauer}$$

mit Re: Reynoldszahl;

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{(1 - \xi) \cdot \eta} = \frac{w \cdot d}{(1 - \xi) \cdot \nu}$$



mit  $\eta$ : dynamische Viskosität des Gases, Ns/m<sup>2</sup>

v: kinematische Viskosität, m<sup>2</sup>/s.

Tabelle 1

Lückengrad der Sinter- und Pelletsschichten

Korngröße, mm	Lückengrad, %		
	nach Chargie- ren	nach Anord- nung	in Bewegung
5–12	55 / 43	44 / 36	62 / 48
12–14	56 / 44	47 / 37	60 / 49
14–20	57 / 45	49 / 39	61 / 50
20–30	62 / 47	55 / 42	67 / 55

Kinematische Viskosität von Gasen,  $\nu \cdot 10^{-5}$  (m<sup>2</sup>/s) beim Atmosphärendruck und bei verschiedenen Temperaturen

t °C	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Luft	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>Dampf</sub>	CH <sub>4</sub>
500	53,31	7,71	7,980	7,82	7,64	4,742	9,75	8,97
600	65,12	9,36	9,732	9,50	9,28	5,825	12,51	11,03
700	77,78	11,17	11,60	11,32	11,03	6,991	15,59	13,18
800	91,70	13,8	13,57	13,25	12,89	8,231	19,00	15,49
900	106,7	15,09	15,65	15,32	14,88	9,565	22,77	18,26
1000	122,3	17,16	17,88	17,51	16,90	10,99	26,82	-
1100	138,5	19,44	20,18	19,73	19,00	12,49	31,40	-



## **5. Aufgabe: Elektrostahlerzeugung**

---

**16 Punkte**

- a) Die Komponenten der Schlacke im Elektrolichtbogenofen sind durch die Zuschläge, die Oxidationsprodukt oder die Gangart gebildet. Nennen Sie **vier** Komponenten, die normalerweise in der Schlacke erscheinen, und woher diese Komponenten kommen?

**4,0 Punkte**

- b) Nennen Sie mindestens 5 technische Neuerungen, die zur Entwicklung von UHP-Elektrolichtbogenöfen geführt haben und charakterisieren Sie UHP Öfen hinsichtlich des Verbrauchs an elektrischer Energie, Abstichfolgezeiten und Abstichgewicht!

**4,0 Punkte**

- c) Warum ist die Endschlacke im Elektrolichtbogenofen meist basisch?  
(mind. 2 Nennungen)

**1,0 Punkte**

- d) Schlacken im Elektrolichtbogenofen werden durch Zuschläge, Oxidationsprodukte oder die Gangart gebildet. Nennen Sie vier Komponenten, die normalerweise in Elektrolichtbogenofenschlacken vorhanden sind, und woher diese Komponenten stammen.

**4,0 Punkte**

- e) Es gibt zwei Bauarten des Elektrolichtbogenofens, nämlich Drehstrom- und Gleichstrom-Elektrolichtbogenöfen. Für den Gleichstrom-Elektrolichtbogenofen wird eine Bodenelektrode benötigt. Nennen und zeichnen Sie zwei Typen der Bodenelektrode!

**2,0 Punkte**

- f) Nennen Sie mindestens 2 Möglichkeiten, die Lebensdauer der Feuerfestausmauerung in Elektrolichtbogenöfen zu erhöhen.

**1,0 Punkte**

