

# Klausur

## Ver- und Entsorgungstechnik von Energieanlagen

Datum: 15.09.2003

Dauer: 1,5 Std.

Der Gebrauch von nicht-programmierbaren Taschenrechnern  
und schriftlichen Unterlagen ist erlaubt.

| <b>Aufgabe</b>     | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b><math>\Sigma</math></b> |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------------------|
| Mögliche Punktzahl | 5        | 2        | 2        | 2        | 3        | 1,5      | 2,5      | 7        | 5        | 30                         |
| Erlangte Punktzahl |          |          |          |          |          |          |          |          |          |                            |

### Kommentar zur Klausur:

- Die Aufgabe 6 b) gehört nicht mehr zum Themengebiet der Vorlesung und ist dementsprechend nicht relevant.
- Die in Aufgabe 9 bestimmten Abmessungen des E-Filters weichen aufgrund eines geänderten Lösungsweges (angepasst an die Übung) deutlich von realen Anlagen ab.

**Aufgabe 1:** (5 Punkte)

- a) Welche Betriebstemperatur muss in einer Umkehrosmosezelle ( $p > \pi$ ) eingestellt werden, um aus einer 1%  $NaCl$  Lösung 8 kg Wasser herauszufiltern?

Betriebsdaten:

2-fache Sicherheit gegen Rückfluss des Wassers in die Lösung

Menge an Ausgangslösung: 13 kg

Betriebsdruck  $\Delta p$ : 50 bar

Mit der Annahme

$$\rho_{LSG} = \rho_{Wasser} = \frac{1kg}{l} = \text{Konstant}$$

folgt:

$$T = 335,38 K$$

- b) Warum kann eine 3 %  $NaCl$  Lösung bei der unter a) errechneten Temperatur nicht verwendet werden. Begründen Sie Ihre Aussage anhand einer Rechnung, wenn die Menge der Ausgangslösung die gleiche bleibt.

Um die gewünschte Konzentration zu erhalten müsste mehr Wasser abgezogen werden, als in der Ausgangslösung vorhanden ist

$$\Delta m = m_{LSG,vorher} - m_{LSG,nachher} = -2 kg$$

**Aufgabe 2:** (2 Punkte)

- a) Welche Absorptionsmittel für die Rauchgasentschwefelung kennen Sie?
- b) Warum wird die REA nach dem E-Filter angeordnet?

Die Antworten können dem Skript entnommen werden!

**Aufgabe 3:** (2 Punkte)

Was ist die Wasserhärte und wodurch entsteht sie? Wozu ist die Kenntnis der Wasserhärte für einen Kraftwerksbetreiber wichtig?

Die Antworten können dem Skript entnommen werden!

**Aufgabe 4:** (2 Punkte)

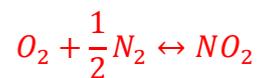
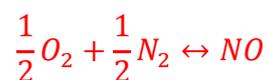
Warum kann bei NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Kraftwerken der Anteil von NO<sub>2</sub> gegenüber NO vernachlässigt werden? Gehen Sie davon aus, dass NO und NO<sub>2</sub> im chemischen Gleichgewicht vorliegen. Berechnen Sie das Verhältnis des Partialdrucks von NO zu NO<sub>2</sub> für eine Temperatur von 2100 K (P<sub>O<sub>2</sub></sub>=2000 Pa).

$$K_{P_{NO}}(2100K) = 0,02594 \quad [-]$$

$$K_{P_{NO_2}}(2100K) = 0,0000774 \quad \left[\frac{m}{N^{1/2}}\right]$$

Da die Geschwindigkeitskonstante der NO-Reaktion um einige Größenordnungen oberhalb der NO<sub>2</sub>-Reaktion liegt.

Aufstellung der Reaktionsgleichungen:



Geschwindigkeitskonstante im Gleichgewicht:

$$K_{P_{NO}} = \frac{p_{NO}}{p_{O_2}^{0,5} * p_{N_2}^{0,5}}$$

$$K_{P_{NO_2}} = \frac{p_{NO_2}}{p_{O_2} * p_{N_2}^{0,5}}$$

Verhältnis der Partialdrücke:

$$\frac{p_{NO}}{p_{NO_2}} = \frac{K_{P_{NO}}}{K_{P_{NO_2}}} * \frac{1}{\sqrt{p_{O_2}}} = 7,49$$

**Aufgabe 5:** (3 Punkte)

Das Kühlwasser führt in einem Kraftwerk Verlustwärme ab, die durch verschiedene Ursachen entsteht. Das Kühlsystem eines Kraftwerks besteht grundsätzlich aus 3 Komponenten:

- Wärmequelle
- Kühlwassersystem
- Wärmesenke

Welche Kreisläufe können als Wärmesenke genutzt werden? Erklären Sie kurz die grundlegenden Unterschiede der einzelnen Kreisläufe und nennen Sie jeweils ein Beispiel.

Die Antworten können dem Skript entnommen werden!

**Aufgabe 6:** (1,5 Punkte)

- a) Der Druckverlust von Abreinigungsfiltern setzt sich aus 2 Termen zusammen. Benennen Sie diese.
- b) Wie hängt der Druckverlust des eingefahrenen Filtertuchs von der Filtrationsgeschwindigkeit bei turbulenter Filterdurchströmung ab? (Annahme:  $\alpha = \text{spez. Durchflusswiderstand} \neq f(\text{Filtrationsgeschwindigkeit})$ )

Die Antworten können dem Skript entnommen werden!

**Aufgabe 7:** (2,5 Punkte)

- a) Von welchen Faktoren hängt die Ausbreitung von Schadstoffen in der Atmosphäre ab?

Die Antworten können dem Skript entnommen werden!

- b) Wie ändert sich die Schadstoffkonzentration am Boden (in Windrichtung  $z=0$ ) wenn die effektive Quellhöhe von 50 m auf 100 m verdoppelt wird? (sonstige Bedingungen sowie  $\sigma_y$  und  $\sigma_z$  identisch;  $\sigma_z = 40$  m)

Verhältnis der Immissionskonzentrationen:

$$\frac{C_{II}}{C_I} = e^{\left(\frac{h_I^2 - h_{II}^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right)}$$

Mit  $h_{II} = 2 * h_I$  folgt  $c_{II} = 0,096 * C_I$

**Aufgabe 9:** (5 Punkte)

Ein Elektrofilter soll überschlägig berechnet werden. Hinter dem E-Filter soll eine maximale Staubkonzentration von  $c_F = 0,001$  kg Staub/kg Luft vorliegen. Als Betriebsdaten sind bekannt:

|  |   |
|--|---|
| Filterart:                               | Rohrfilter                              |
| Durchmesser der Sprühelektrode $d_j$ :   | 0,2 m                                   |
| Durchmesser der NSE $d_a$ :              | 4 m                                     |
| Partikeldurchmesser $x_p$ :              | 0,9 $\mu\text{m}$                       |
| Gasgeschwindigkeit $v$ :                 | 1 m/s                                   |
| Staubkonzentration im Rohgas $c_A$ :     | 0,3 kg Staub/kg Luft                    |
| angelegte Spannung $U$ :                 | 60 kV                                   |
| Rauchgastemperatur $T$ :                 | 200 °C                                  |
| Betriebsdruck $p$ :                      | $1 \cdot 10^5$ Pa                       |
| dynamische Viskosität Luft (200°C, 1bar) | $26,09 \cdot 10^{-6}$ Pa*s              |
| Moleküldurchmesser $\sigma$ :            | $4 \cdot 10^{-10}$ m                    |
| Loschmid-Zahl $L$ :                      | $6,022 \cdot 10^{23}$ mol <sup>-1</sup> |
| Univ. Gaskonstante $R$ :                 | 8,3 J/(mol*K)                           |
| Elementarladung $e$ :                    | $1,6022 \cdot 10^{-19}$ As/V            |
| Referenzwert $x_0$ :                     | 1 $\mu\text{m}$                         |

- Berechnen Sie die sich einstellende elektrische Feldstärke.
- Welche Wanderungsgeschwindigkeit stellt sich ein?
- Berechnen Sie die Länge des Filters.
- Wie verändert sich die Filterlänge, wenn man

1) eine Spannung  $U=100$  kV anlegt

oder

2) die zulässige Staubkonzentration im Reingas auf  $c_F = 0,01$  kg Staub/ kg Luft erhöht?

## Lösungen zu Aufgabe 9:

- a) Zur Berechnung der mittleren elektrischen Feldstärke kann folgende Annahme getroffen werden:

$$\bar{E} = \frac{U}{\frac{r_a + r_i}{2} \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)}$$

$$\bar{E} = 19,074 \text{ kV/m}$$

- b) Wanderungsgeschwindigkeit

$$w_e = 0,00146 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- c) Filterlänge

$$l = 3711 \text{ m}$$

- d) Änderung der Spannung:

$$w_e = 0,00243 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$l = 2230 \text{ m}$$

- e) Änderung der Staubkonzentration:

$$w_e = 0,00146 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$l = 2213 \text{ m}$$

**Aufgabe 10:** (7 Punkte)

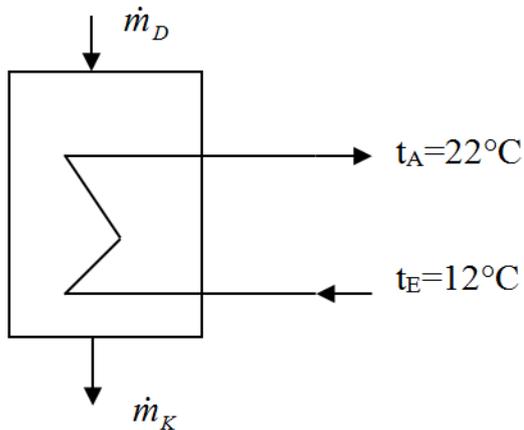
Es ist ein Kondensator auszulegen, in dem ein Dampfmassenstrom von 7,5 kg/s ( $x=0,9$ ) bei  $p=0,0424$  bar kondensiert werden kann. Das Kondensat verlässt den Kondensator im Siedezustand. Als Kühlmittel steht Wasser mit einer mittleren Temperatur von  $t_K=12$  °C zur Verfügung. Es wird eine maximale Aufheizung des Kühlwassers um 10K zugelassen. Für den Wärmedurchgangskoeffizienten soll ein Wert von  $k=3520$  W/m<sup>2</sup>K angenommen werden.

- a) Zeichnen Sie eine vereinfachte Skizze des Kondensators mit den ein- und ausgehenden Bilanzgrößen.
- b) Berechnen Sie die bei der Kondensation freiwerdende Wärmemenge.
- c) Bestimmen Sie den notwendigen Kühlwassermassenstrom.
- d) Berechnen Sie die erforderliche Wärmeübertragerfläche.
- e) Der Sommer 2003 war sehr heiß. Dadurch veränderten sich die Temperaturen des zur Verfügung stehenden Kühlwassers. Das zur Verfügung stehende Kühlwasser wies im Mittel eine Temperatur von 24°C auf. Durch gesetzliche Bestimmungen darf sich das Wasser jedoch auf maximal 30 °C erwärmen. Welche Wärmemenge konnte in diesem Fall maximal über den Kondensator abgegeben werden (Annahme: Der Kondensatordruck und die Kühlwassermenge ändern sich nicht.)?
- f) Welche Dampfmenge kann nun noch kondensiert werden (Annahme: Kondensatordruck und  $x$  ändern sich nicht.)?
- g) Wie ändert sich die elektrische Leistung des Kraftwerks (Annahme: Turbinenwirkungsgrad und Dampfzustand vor der Turbine ändern sich nicht.)?

weitere Angaben:  $c_{pW} = \text{konst.} = 4,19$  kJ / kgK

## Lösungen zu Aufgabe 10:

- a) Skizze des Kondensators



- b) Freiwerdende Wärmemenge:

$$\text{Mit } h''(p = 0,0424 \text{ bar}) = 2556,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ und } h'(p = 0,0424 \text{ bar}) = 125,66 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q} = 16,4 \text{ MW}$$

- c) Bestimmung des KW-Massenstroms:

$$\dot{m}_W = 391,59 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- d) Benötigte Fläche

$$A = 377,99 \text{ m}^2$$

- e) Freiwerdende Wärmemenge:

$$\dot{Q} = 9,84 \text{ MW}$$

- f) Dampfmenge:

$$\dot{m}_D = 4,5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- g) Leistungsverhältnis:

$$P_{elII} = 0,6 * P_{elI}$$

