



**Aufgabe 1:** (2 Punkte)

- a) Nennen Sie die drei bestimmenden Elementarreaktionen bei der thermischen  $\text{NO}_x$ -Bildung. Welche der Reaktionen bestimmt die Bildungsrate des  $\text{NO}_x$ ?
- b) Nennen Sie Maßnahmen zur Reduzierung der Bildung von thermischem  $\text{NO}_x$ .
- c) Welche anderen  $\text{NO}_x$ -Bildungsmechanismen kennen Sie?

Die Antworten können dem Skript entnommen werden!

**Aufgabe 2:** (2 Punkte)

Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf des Druckverlustes eines filternden Abscheiders und erläutern Sie diesen kurz.

Die Skizze und die Antworten können dem Skript entnommen werden!

**Aufgabe 3:** (4 Punkte)

- a) Wie ist der pH-Wert definiert?

Die Antwort kann dem Skript entnommen werden!

- b) Wie ändert sich der pH-Wert, wenn eine neutrale Lösung erwärmt, bzw. abgekühlt wird?

Die Antwort kann dem Skript entnommen werden!

- c) Wodurch unterscheidet sich eine starke von einer schwachen Säure?

Die Antwort kann dem Skript entnommen werden!

- d) 0,1 mol Schwefelsäure und 0,1 mol Salzsäure werden in je einem Liter Wasser gelöst, welche pH Werte nehmen die Lösungen an?

$pH_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,699$  und  $pH_{\text{HCl}} = 1$

- e) Diese beiden Lösungen werden zusammengemischt, welchen pH-Wert hat das Gemisch? Wie viele Äquivalente  $\text{Ca(OH)}_2$  sind erforderlich, um das Gemisch zu neutralisieren?

$$pH_{\text{Gemisch}} = 0,824$$

Für 2 l Gemisch sind 0,3 val erforderlich

**Aufgabe 4:** (1,5 Punkte)

- a) Wodurch wird die verwendete Spannung in einem Elektrofilter begrenzt?  
b) Durch welche Maßnahme kann die maximal mögliche Spannung erhöht werden?

Die Antworten können dem Skript entnommen werden!

**Aufgabe 5:** (3,5 Punkte)

- a) Welche Härtebildner für Wasser kennen Sie? In welche zwei Gruppen werden diese aufgeteilt? Wodurch ergibt sich dann die Gesamthärte des Wassers?

Die Antworten können dem Skript entnommen werden!

- b) In einem Liter Wasser sind 40 mg  $\text{Ca(HCO}_3)_2$  gelöst. Berechnen Sie die Härte des Wassers. Beurteilen Sie das Wasser anhand der Härteskala.

$$H = 1,38^\circ dH \text{ (weich)}$$

- c) Welche chemische Reaktion tritt beim Erhitzen des Wassers auf und warum ist diese in Feuerungsanlagen unerwünscht?

- d) Die Antworten können dem Skript entnommen werden!

**Aufgabe 6:** (10 Punkte)

- a) Ein Steinkohlekraftwerk mit einer Leistung von  $P_{el} = 600$  MW soll mit einer REA nachgerüstet werden. Wie hoch muss der Entschwefelungsgrad sein, damit in 2 km Entfernung vom Kraftwerk (in Windrichtung) am Boden eine  $\text{SO}_2$  Konzentration von  $3,0 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$  erreicht wird.

Angaben:

- Kaminhöhe  $H = 200\text{m}$
- Wirkungsgrad  $\eta = 40\%$

Daten der Kohle:

- Heizwert  $H_u = 29.000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
- Schwefelgehalt: 1,5 Gewichts-%

Ausbreitungsparameter:

- $\sigma_y = 252,7\text{m}$
- $\sigma_z = 132,9\text{m}$
- Windgeschwindigkeit in 10m Höhe:  $u_{10\text{m}} = 3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- Exponent zur Berechnung der Transportgeschwindigkeit:  $m = 0,26$
- Die effektive Quellhöhe soll vereinfachend mit  $h = 1,7 \cdot H$  berechnet werden.

- b) Das Kraftwerk wird um einen zweiten Block mit einer Leistung von  $P_{el} = 400$  MW und einem Wirkungsgrad von 42,5% erweitert. Die Rauchgase beider Blöcke sollen durch eine neue REA mit einem Entschwefelungsgrad von 97,5% und einen neuen Kamin abgeleitet werden. Wie hoch muss dieser sein, damit die  $\text{SO}_2$ -Konzentration in 2 km Entfernung den vorherigen Wert nicht überschreitet?

**(Die effektive Transportgeschwindigkeit ändert sich gegenüber Aufgabenteil a nicht)**

- c) Anstelle der vorher verwendeten Kohle wird in beiden Blöcken eine billigere Sorte, mit einem Heizwert von  $H_u = 26.000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  und einem Schwefelgehalt von 5,0 Gewichts-% verwendet. Der Entschwefelungsgrad bleibt bei 97,5%. Welchen Wert nimmt die  $\text{SO}_2$  Konzentration in 2 km Entfernung bei gleich bleibender el. Leistung des Kraftwerks an?  
(Falls Aufgabenteil b nicht gelöst wurde, ist eine Kaminhöhe von 200m zu verwenden)

### Lösung zu Aufgabe 6:

- a) effektive Quellhöhe:

$$h = 340 \text{ m}$$

effektive Transportgeschwindigkeit:

$$\bar{u} = 7,15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Entschwefelungsgrad:

$$T_{REA} = 96,15 \%$$

- b) Neue Kaminhöhe:

$$H = 201,7 \text{ m}$$

- c)  $\text{SO}_2$ -Konzentration:

$$c_{\text{SO}_2}(2\text{km}) = 11,156 * 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

**Aufgabe 7:** (3 Punkte)

Der Abgasstrom einer Kohlefeuerung wird mit einem Speicherfilter entstaubt. Für den verwendeten Filter wurden die charakteristischen Konstanten  $K_F = 33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$  und  $K_K = 4,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}}$  ermittelt.

$$\text{Abgasstrom } \dot{V} = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Filterfläche } A_F = 3 \text{m}^2$$

$$\text{Staubbelastung } c_A = 0,2 \frac{\text{kg}_{\text{Staub}}}{\text{kg}_{\text{Luft}}}$$

- a) Wie lang ist die Standzeit des Filters, wenn ein maximaler Druckverlust von 500 Pa nicht überschritten werden soll?

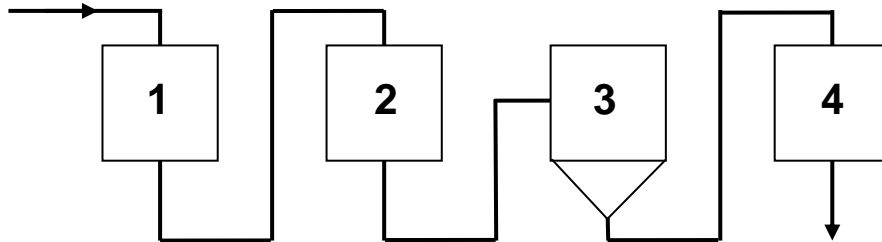
$$t = 222,6 \text{ Tage}$$

- b) Welchen Druckverlust hat das eingefahrene Filtertuch?

$$\Delta p = 55 \text{ Pa}$$

**Aufgabe 8:** (4 Punkte)

Ein mit Calciumhydrogencarbonat ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) und Calciumsulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) beladenes Rohwasser soll in der unten dargestellten Ionentauscheranordnung vollständig entsalzt werden.



- 1 stark saurer Tauscher
- 2 schwach basischer Tauscher
- 3  $\text{CO}_2$ -Riesler
- 4 stark basischer Tauscher

Als Gegenion werden in den jeweiligen Tauschern  $\text{H}^+$ -bzw.  $\text{OH}^-$ -Ionen verwendet. Der  $\text{CO}_2$ -Rieseler ist nicht für die vollständige Entfernung der auftretenden Kohlensäure ausgelegt, so dass sich nach diesem Bauteil ein Restgehalt an Kohlensäure im Wasser befindet.

a) Erläutern Sie stichpunktartig das Ionentauscherprinzip.

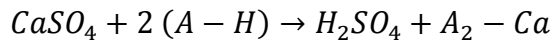
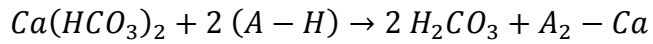
Die Antwort kann dem Skript entnommen werden!

b) Ordnen Sie die o.g. Gegenionen den zugehörigen Ionentauschern zu.

c) Beschreiben Sie die in den einzelnen Bauteilen (1-4) ablaufenden Austauschreaktionen in Reaktionsgleichungen, die sich unter idealen Bedingungen ergeben, und geben Sie die Wasserbeladung nach jedem Bauteil an.

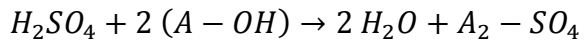
Lösung zu Aufgabe 8:

**Stark saurer Tauscher mit dem Gegenion  $H^+$ :**



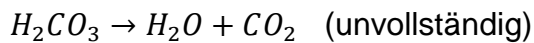
Wasserbeladung:  $H_2CO_3$  und  $H_2SO_4$

**Schwach basischer Tauscher mit dem Gegenion  $OH^-$ :**



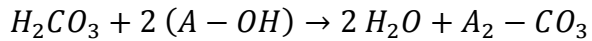
Wasserbeladung:  $H_2CO_3$

**CO<sub>2</sub> Riesler ohne Gegenion:**



Wasserbeladung:  $H_2CO_3$

**Stark basischer Tauscher mit dem Gegenion  $OH^-$ :**



Keine Wasserbeladung!



