

Verfahrenstechnik 2

Datum: 10.07.2015

Prüfer: Prof. Kraume

Note: 1,3

Themen: Wirbelschichten (Vortrag) – Packungskolonnen – Mischen und Rühren

Anmerkungen

Kraume legt großen Wert auf Bilanzen. Daher empfehle ich jedem, sich damit vertraut zu machen. Dabei geht es nicht um das mathematische Lösen, sondern vielmehr um das Aufstellen der Bilanzen und der getroffenen Annahmen. Schaut euch also an, wann ihr differentielle und integrale Bilanzen braucht, wann ist eine Bilanz stationär/instationär und wie sind die Transportterme definiert. Hiermit könnt ihr richtig gut Punkten.

Einige der Fragen wirken zuerst kompliziert. Hier nicht in Panik verfallen, sondern logisch an die Aufgabe herangehen. Was immer hilft ist das Aufstellen einer Bilanz ;). Hierüber kommt ihr zu 99% auf den richtigen Lösungsweg. Falls ihr irgendwo nicht weiterkommt, dann redet mit Kraume und erklärt ihm worin für euch grade die Schwierigkeit besteht. Er gibt dann Tipps mit denen ihr zur Lösung kommt.

Zur Prüfungsvorbereitung: Meine Prüfungsvorbereitung bestand eigentlich nur aus dem Lösen der Theoriefragen zu jedem Kapitel. Das ist zwar viel Arbeit, aber man kann sich sicher sein, über jedes Thema grundlegend Bescheid zu wissen. Meine Lösungen der Theoriefragen habe ich auf Mydrive zur Verfügung gestellt (ohne Gewähr!).

Ansonsten empfiehlt es sich das Merkblatt von Lutz zu den wichtigsten Diagrammen der einzelnen Kapitel anzuschauen. Ich wurde im Endeffekt zwar nach keinem einzigen gefragt, aber wenn ihr die Diagramme erklären könnt, habt ihr die Physikalischen Grundlagen der einzelnen Kapitel verstanden.

In den 2 Wochen vor meiner Prüfung war ich in der Sprechstunde, um Unklarheiten zu beseitigen. Meinen Vortrag habe ich grob mit Lutz abgestimmt. Dieses Angebot solltet ihr unbedingt abstimmen, da Lutz euch Tipps gibt, welche Rückfragen zu eurem Vortragsthema kommen können.

Wirbelschichten

Vortrag zum Druckverlust gehalten. Habe dazu den Druckverlustverlauf in vier Abschnitte unterteilt (Festbett, Wirbelschicht, Partikelaustrag, leeres Rohr). Für jeden einzelnen Abschnitt die Formeln für den Druckverlust aufgeschrieben und schrittweise den Druckverlustverlauf über der Gasleerrohrgeschwindigkeit skizziert.

Sie haben in ihrer Wirbelschicht einen Druckverlust von 1 bar. Der Apparat habe einen Durchmesser von 2m. Berechnen Sie nach einem Ingenieurtechnischen Ansatz die Masse ihres Feststoffes:

$$\Delta p = \frac{V_s(\rho_s - \rho_f)g}{A}$$

Hier stand ich zunächst auf dem Schlauch, weil zur Berechnung der Feststoffmasse nach meinem Verständnis die Fluidichte gefehlt hat. Kraume meinte darauf hin, ich solle die Gleichung mal ausmultiplizieren:

$$\Delta p = \frac{V_s \rho_s g}{A} - \frac{V_s \rho_f g}{A}$$

Hier kommen jetzt die magischen Worte „Ingenieurtechnischer Ansatz“ zum Tragen. Die Dichte eines Feststoffes ist um den Faktor 1000 größer als die eines Gases. Der 2. Term kann also vernachlässigt werden und es ergibt sich:

$$M_s = V_s \rho_s = \frac{\Delta p A}{g} = \frac{10^5 \text{ Pa} \cdot \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 3,14 \cdot 10^4 \text{ kg}$$

Nehmen sie an, die Wirbelschicht soll nun mit Partikeln mit halbem Durchmesser betrieben werden. Die Dichte der Partikel nehme um 50% zu. Wie ändert sich der Verlauf des Druckverlustes:

Habe zunächst das Festbett betrachtet. Der Druckverlust berechnet sich über:

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho}{2} \bar{w}^2 \frac{H}{d_h}$$

Der hydraulische Durchmesser ist proportional zum Partikeldurchmesser. Wenn sich der Partikeldurchmesser halbiert, verdoppelt sich der Druckverlust. Zusätzlich ist aber der Widerstandsbeiwert abhängig vom Partikeldurchmesser. Im Laminaren Fall gilt:

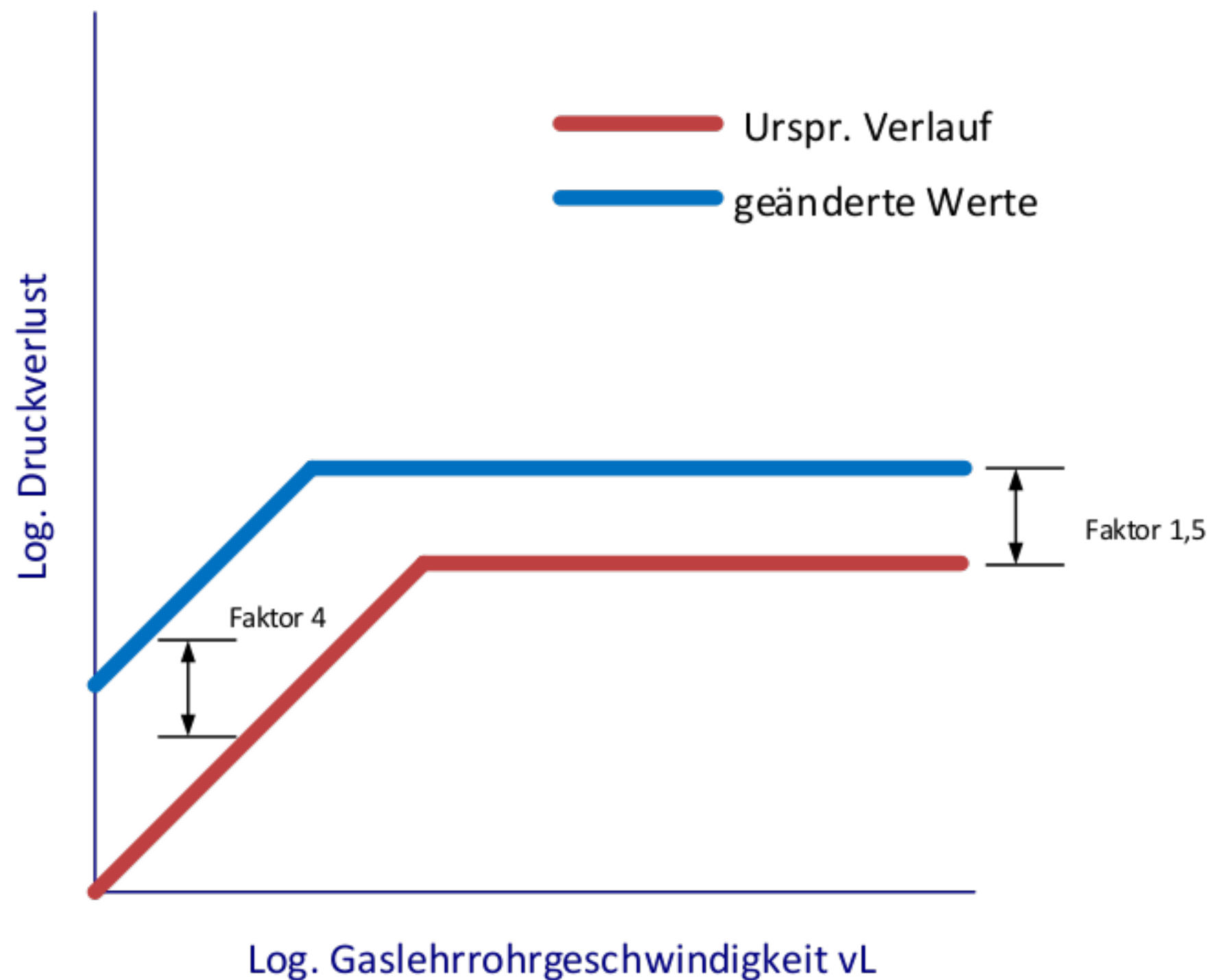
$$\zeta = \frac{150}{Re} + 1,75 = \frac{150 \nu}{d_h w} + 1,75$$

Bei halben Partikeldurchmesser verdoppelt sich also der Widerstandsbeiwert. Damit vervierfacht sich insgesamt der Druckverlust im Festbett.

Anschließend habe ich die Wirbelschicht betrachtet. Hier gilt:

$$\Delta p = \frac{V_s (\rho_s - \rho_f) g}{A}$$

Das Gesamtvolumen der Partikel bleibt konstant. Der einzige Einfluss ist also die Dichte. Wenn sich diese um 50% erhöht, erhöht sich in etwa auch der Druckverlust um 50%. (Wieder mit der Annahme, dass der Einfluss der Fluidichte für diese Übersichtsrechnung vernachlässigbar ist)



Packungskolonnen

Wie kann man die Höhe einer Packungskolonne berechnen
Über eine stationäre differenzielle Stoffbilanz über der Höhe dz.

Stellen Sie die doch mal auf

Skizze gemalt und die einzelnen Ströme aufgezeichnet. Konvektive Ströme in Richtung der Höhe z und ein Diffusiver Strom in x-Richtung. (Hier ist es wichtig entweder Flüssig- oder Gasphase zu bilanzieren und nicht beide!! Empfehle die Gasphase, da diese in der VL verwendet wurde). Anschließend sollte ich die Bilanz lösen. Hier bin ich nicht wirklich weiter gekommen und stand ziemlich auf dem Schlauch. Das war aber kein Problem. Kraume gibt einem Tipps. Wichtig ist, die eigenen Überlegungen auszusprechen. Falls ihr die Bilanz mathematisch lösen könnt, ist das optimal, das ist aber nicht das was Kraume verlangt. Ihm kommt es darauf an, dass ihr, verfahrenstechnisch betrachtet, versteht was ihr tut.

Im Endeffekt wurde der Teil inmitten der Bilanz abgebrochen, und wir sind zum nächsten Thema übergegangen.

Mischen und Rühren

Kraume mahlt einen Rührbehälter auf. In diesem soll Zucker in Form von monodispersen Kugeln in Wasser gelöst werden. Bekannt ist dabei der Feststoffvolumenanteil des Zuckers. Es wird angenommen, dass sich die Größe der Zuckerkugeln nicht ändert. Der Rührer habe ein Volumen von 10m^3 . Berechnen sie die volumenbezogene Fläche, die zum Stoffübergang zur Verfügung steht:

Aufstellen einer instationären, integralen Stoffbilanz:

$$\frac{dN}{dt} = \dot{Z}$$

$$\frac{dV c(t)}{dt} = \beta A \Delta c = \beta A_{\text{Zucker}} (c_{\text{Sättigung}} - c(t))$$

Kraume fragt mich welches Volumen im instationären Term steht.

Ich antworte zuerst, das Reaktorvolumen. Das ist aber falsch, da hier nur die Flüssigphase bilanziert wird. Es ist also das Volumen der Flüssigkeit. Über den gegebenen Feststoffvolumenanteil und das Gesamtvolumen kann das Flüssigkeitsvolumen berechnet werden, sodass gilt:

$$V_{\text{ges}}(1 - \varphi_V) \frac{d c(t)}{dt} = \beta A_{\text{Zucker}} (c_{\text{Sättigung}} - c(t))$$

Wenn nun durch das Gesamtvolumen geteilt wird erhält man die volumenbezogene Stoffübergangsfläche. Um diese zu berechnen, muss die DGL über Trennung der Variablen nach der Konzentration gelöst werden. Anschließend wird die Gleichung nach $a_{SÜ}$ umgestellt. Die Lösung der DGL will Kraume nicht weiter sehen, sondern gibt sich mit der umgestellten DGL zufrieden:

$$\frac{d c(t)}{dt} = a_{SÜ} \frac{\beta (c_{\text{Sättigung}} - c(t))}{(1 - \varphi_V)}$$

Anschließend bittet er mich den Konzentrationsverlauf über der Zeit zu zeichnen. Ich zeichne den grünen Verlauf.

Sie erhöhen nun den Stoffübergangskoeffizienten, indem sie die Umdrehungszahl ihres Rührers erhöhen. Zeichnen sie bitte den veränderten Konzentrationsverlauf. Ich zeichne die rote Kurve in das Diagramm ein. Wichtig ist der Steile Gradient zum Zeitpunkt $t = 0$.

