

Gedankenprotokoll
Mündliche Prüfung Verfahrenstechnik II

Prof. Kraume
10.07.2020
Note: 1,0

Themen:
Kapitel 12 Bodenkolonnen (Vortrag)
Kapitel 17 Gas/Flüssigkeits-Strömungen in Rohrleitungen
Kapitel 18 Mischen und Rühren

Kapitel 12 Bodenkolonne, Vortrag (5 min):

Für eine Bodenkolonne, genauer gesagt eine Gegenstromrektifizierkolonne möchte ich mit Hilfe des McCabe-Thiele-Diagramms zeigen wie die theoretische benötigte Bodenanzahl bestimmt werden kann. Dazu skizziere ich zunächst eine Bodenkolonne mit einem Feedstrom F und einem Abstrom, welcher in den Kondensator läuft. Anschließend ist ein Rückstrom R in die Kolonne erforderlich und als Ablaufstrom, das Produkt: der Destillatstrom D. Als nächstes zeichne ich beispielhaft einen Boden oberhalb des Feedzulaufs mit einem Gasstrom G und einem Flüssigkeitsstrom L. Nun möchte ich den Kopf der Kolonne bilanzieren, um die Bilanzlinie, genauer gesagt die Verstärkungsgerade, herzuleiten. Dazu zeichne ich die zugehörige Bilanzlinie ein. Hier unten noch den Bottomstrom B für später.

Die Ströme G und L habe ich ohne Indizes versehen, da die Ströme oberhalb des Feedzulaufs jeweils konstant sind. Dies gilt auf Grund folgender Annahmen: binäres Stoffsystem, konstanter Druck, keine Exzessenthalpie, gleiche Verdampfungsenthalpie der beiden Stoffe, keine chemische Reaktion, Kolonne sei adiabat, also komplett isoliert.

Die Gesamtstoffmengenbilanz, stationär, lautet:

$$\dot{G} = \dot{L} + \dot{D}$$

Die Komponentenstoffmengenbilanz für den Leichtsieder, umgestellt nach der Dampfkonzentration, also G schon „rübergezogen“ und mit L + D ersetzt lautet:

$$y = \frac{\dot{L}}{\dot{L} + \dot{D}} x + \frac{\dot{D}}{\dot{L} + \dot{D}} x_D$$

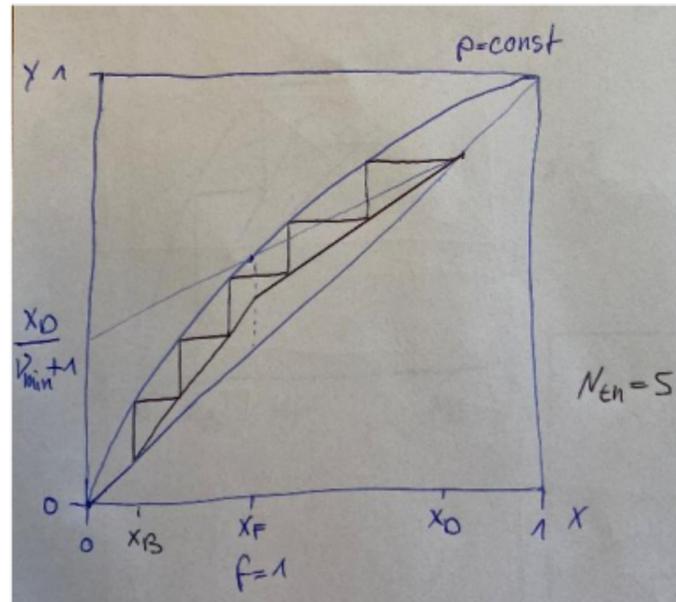
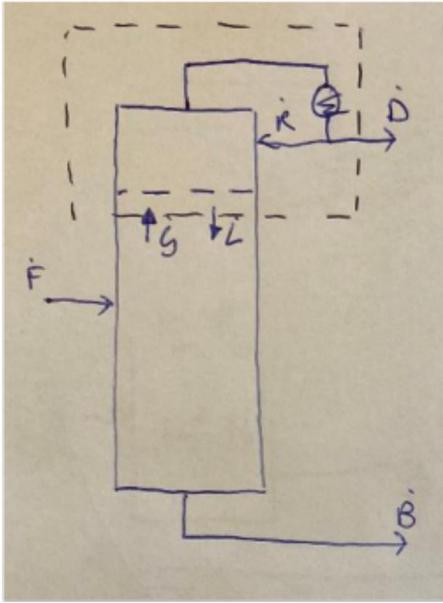
Diese Gleichung erweitere ich jetzt mit mal Eins, also mal $(1/D)/(1/D)$. Mit dem sogenannten Rücklaufverhältnis, welches als $n_{\text{R}} = R/D$ und damit aufgrund der genannten Annahmen auch $= L/D$, folgt die Verstärkungsgerade:

$$y = \frac{v}{v+1} x + \frac{1}{v+1} x_D$$

Nun zeichne ich das McCabe-Thiele-Diagramm. Dabei geht y, der Molenanteil des Leichtsieders in der Gasphase, von 0 bis 1 und x, der Molenanteil des Leichtsieders in der Flüssigphase, ebenfalls von 0 bis 1. Das Diagramm gilt für konstanten Druck. Hier verläuft die Winkelhalbierende und hier die Gleichgewichtskurve für das betrachtete Stoffsystem. Für eine gegebene Feedkonzentration x_F und einem kalorischen Faktor $f=1$, also komplett flüssig siedend, wird auf der GGW-Kurve eine Markierung gemacht. Für die gewünschte Zielkonzentration im Destillatstrom x_D wird eine Markierung auf der Winkelhalbierenden gemacht. Durch Verbinden dieser beiden Punkte entsteht die Verstärkungsgerade für das minimale Rücklaufverhältnis. Der Schnittpunkt mit der Ordinate lautet demnach $x_D/(n_{\text{R,min}}+1)$.

Mit dem minimalen Rücklaufverhältnis kann der mindestbenötigte Energieaufwand ermittelt werden, allerdings würde sich eine theoretisch unendliche Bodenanzahl ergeben. Im Gegensatz dazu ergibt ein unendliches Rücklaufverhältnis die Winkelhalbierende und damit die minimale Bodenanzahl. Allerdings wird dann D zu Null. In der Realität wird ein Rücklaufverhältnis verwendet, welches größer als $n_{\text{R,min}}$ ist. In etwa ist $n_{\text{R,opt}} = 1,1 \dots 1,3$ oder gar 1,7 mal $n_{\text{R,min}}$.

Für dieses optimale Rücklaufverhältnis kann nun die zugehörige Verstärkungsgerade gezeichnet werden. Mit einer Gesamtstoffbilanz um die gesamte Kolonne, bei gegebenem F und D kann B bestimmt werden. Mit bekanntem x_F und x_D lässt sich dann auch noch x_B bestimmen, welches hier sei. Dann kann die abtriebsgerade eingezeichnet werden und abschließend als Zick-Zack-Linie die Böden. Für diese Betrachtung ergibt sich daher eine theoretisch benötigte Bodenanzahl von $N_{th}=5$.



Kommentar zum Vortrag:

Der Prof. hat mir zwar kein explizites Feedback zu meinem Vortrag gegeben, aber ich glaube es kam gut an, dass ich mit einem Einleitungssatz gestartet bin, welcher das Ziel meines Vortrags präzise formuliert. Des Weiteren sei hervorzuheben, dass ich den Vortrag recht intensiv geübt habe. Das heißt nicht Wort für Wort aber immerhin die Satzreihenfolge. Dies ging recht gut, da meist zu dem gesprochen habe, was ich gezeichnet bzw. geschrieben habe. Je nachdem wie viel ich zum Rücklaufverhältnis oder der Bestimmung der Abtriebsgerade erzählt hatte beim Üben, kam ich auf eine Zeit zwischen 4:30 min und 5:30 min. Ich habe beim Üben immer (!) eine neue leere Seite genommen und nicht zu einer bereits geschriebenen Version gesprochen. Den Vortrag einmal in der Sprechstunde „unter Druck“ zu halten war auch hilfreich.

Kapitel 12 Bodenkolonne, Nachfrage zum Vortrag:

Prof: Sie haben erwähnt, dass die Verdampfungsenthalpie der beiden Stoffe gleich sei. Warum ist das so?

Hier bin ich mir nicht mehr sicher, wie seine Formulierung genau war. Ich habe angesetzt damit, dass die Stoffe ähnlich seien und demnach hierzu Bodenkolonnen überhaupt erst eingesetzt werden, um diese Stoffe zu trennen. Damit war er nicht zufrieden. Mein zweiter Ansatz war, dass der Siededampfdruck sehr nah beieinander sei. Wusste zwar, dass das so ist, aber nicht so richtig zur Frage passte, wollte aber zumindest irgendwas sagen. Er hat kurz aus dem Fenster geschaut und von einem konkreten Stoffgemisch geredet, bei welchem die Stoffe beide einen sehr ähnlichen Siededampfdruck aufweisen aber die Verdampfungsenthalpie stark verschieden sei. Daraufhin meinte er ich solle doch mal einen Boden im Schnitt zeichnen und die Ströme bezeichnen. Nun versuchte ich nach der Skizze wieder weiter zu machen und meinte, dass eine stationäre Energiebilanz doch passend wäre. Allerdings wusste ich nicht so recht, ob ich jetzt alle vier Ströme in eine Bilanz bringen sollte oder nur zwei und damit entweder das Flüssigvolumen oder das Gasvolumen. Nach einigem Hin- und Her/ Hilfen mit dem Prof. kam ich dann auf folgende Gleichung für das Flüssigkeitsvolumen auf einem Boden:

$$\dot{Q}_{\text{Verdampf., Stoff A}} = \dot{L}_{n+1}(x_{n+1} - x_n)\Delta h_{v,A} = \dot{L}_n((1 - x_n) - (1 - x_{n+1}))\Delta h_{v,A} = \dot{Q}_{\text{Kond., Stoff B}}$$

Damit folgt dann, dass wenn $L = L$, auch Δh_v gleich sein muss. Dass auch Energie von Gas zu Flüssigkeit übertragen wird muss scheinbar nicht betrachtet werden. Eventuell hat er dazu aber noch eine Annahme genannt, welche ich überhört habe.

Kapitel 17 Gas-Flüssigkeits-Strömung

Prof: Wenn Flüssigkeit durch ein Rohr strömt und dazu dann ein bisschen Gas hinzugefügt wird, was passiert dann mit dem Druckverlust?

Habe angesetzt, dass der Druckverlust etwas steigt aber im Prinzip in der Größenordnung der reinen Flüssigkeitsströmung entspricht. Zur genauen Ermittlung muss man sich dann für das homogene oder heterogene Modell entscheiden, wobei bei geringem Anteil von Gas sich das homogene Modell besser anbieten würde... Er unterbrach mich.

Prof: Wissen Sie was der sogenannte Schlupf ist?

Habe es bejaht und definiert:

$$S = \frac{\bar{w}_g}{\bar{w}_f} > 1$$

$S > 1$ gilt jedenfalls wenn man nicht vom homogenen Modell ausgeht. Und w_g ist größer als w_f , weil $\rho_g \ll \rho_f$.

Prof: Diesen letzten Gedankengang bitte doch nochmal genauer erklären.

Daraufhin schrieb ich die allgemeine Druckverlustgleichung für Rohre hin mit der Erwähnung, dass ρ und w extra ohne Indizes sind:

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho}{2} w^2 \frac{L}{d}$$

Prof: Was ist das für ein w ?

Ich erwähnte nochmal, dass es erstmal allgemein sei und ergänzte noch den Strich über dem w .

Prof: So sei das falsch mit dem d . Annahme: horizontales Rohr und Schichtenströmung, bei der volumenspezifisch jeweils 50% vom Gas und der Flüssigkeit eingenommen wird.

Ich sagte abermals, dass es ja erstmal allgemein aufgeschrieben sei. Man müsse nun sich etwas für d überlegen, da weder für Gas noch Flüssigkeit die gesamte Querschnittsfläche in Anspruch genommen wird. Abgeschätzt würde wohl $d/2$ passen aber als Ansatz wäre dann wohl der hydraulische Durchmesser geeigneter. Ich wusste dazu allerdings die Formel nicht ganz genau und meinte vier mal Umfang durch Fläche. Nach etwas hin und her war ich dann bei vier mal benetztem Umfang durch durchströmte Fläche, was er bestätigte. Ich habe dann, weil ich etwas perplex war die Einheiten m^2 durch m^3 hingeschrieben und meinte, dann dass es andersherum sei. Der Prof entschuldigte sich und meinte so wäre es jetzt richtig und ich solle es jetzt mal ausrechnen.

$$d_h = 4 \frac{A}{U} = 4 \frac{\frac{1}{2} \pi / 4 d^2}{\frac{1}{2} \pi d} = d$$

Kapitel 18 Mischen und Rühren

Prof nimmt ein Blatt und zeichnet einen Rührbehälter mit Volumen V_R , darin skizzenhaft Propellerrührer und Stromstörer. In der Flüssigkeit befinden sich Zuckerkugeln, welche sich auflösen, aber erstmal dabei ein konstantes Volumen dabei aufweisen. Der Verlauf der Konzentration $c_x(t)$ sei bekannt. Ebenfalls sei der Feststoffanteil ϕ_P bekannt. Wie können sie Beta bestimmen?

Instationäre Stoffmengenbilanz. C^* als ggw Konzentration:

$$\dot{N}_{st} = \beta A (c_x^* - c_x(t))$$

Jetzt das A auflösen: PGF müsste die Oberfläche der Kugeln sein. Prof: Oberfläche einer Kugel? Habe ich ihm genannt. Das eingenommenes Volumen des ganzen Zuckers ist ϕ_P mal V_R . Durcheinander teilen ergibt die PGF.

Dann noch Speicherterm: $V_R dc/dt$. Prof: Welches Volumen? Ich war durcheinander und schrieb einfach ϕ_P hin. Prof: Naja nicht ganz, was wollen sie bilanzieren? Dann war mir wieder klar was ich eigentlich machen und sagte nur(!) das Flüssigkeitsvolumen und machte noch schnell ein $(1 - \phi_P)$ draus. Prof: Es reicht. Ich glauben, dass Sie den Rest können. Ich meinte selbst bewusst, ja genau TdV und dann integrieren. Prof: Ja danke.