

Prüfung im Fach Prozess- und Anlagendynamik (PAD)

Prüfer: Prof. Repke

Datum: Oktober 2022

Vorbereitung: Da bei mir Thermodynamik 2 schon ziemlich lange her war, habe ich 3 Tage darauf verwendet, mir noch mal die Grundlagen anzueignen. Dazu habe ich die Bücher Thermodynamik der Gemische (Pfennig, Andreas) und Thermodynamik (Gmehling, Jürgen) ausgeliehen und bin diese wirklich ganz grob durchgegangen, um wieder einen Einstieg zu finden. Es sind zwar keine tiefgreifenden Herleitungen im Bereich der Thermodynamik notwendig, aber man sollte die prinzipiellen Ideen und Ansätze kennen für VLEs und Reaktionsgleichgewichte. Anschließend habe ich Karteikarten zu den wichtigsten Formeln geschrieben. Dann bin ich die Vorlesungsfolien und die Übungen durchgegangen. Am wichtigsten ist es aber nach der MESHI-Systematik modellieren zu können und dies öfter zu üben.

Atmosphäre: Die Atmosphäre war sehr angenehm und er wirkt sehr zugewandt und versucht, einem die Nervosität zu nehmen.

Ablauf: Aktuell gibt es vier Modellierungsaufgaben, aus denen man zufällig eine wählt. Es scheint zu geben: Rektifikationskolonne, Semi-Batch-Reaktor, Flash. Die vierte Aufgabe kenne ich leider nicht. Es scheint sich aber somit um die Standard-/Hauptbeispiele aus Vorlesung und Übung zu handeln. Dann bekommt man 20 min Zeit, ein Modell aufzuschreiben. Im Anschluss geht man damit zu Prof. Repke und diskutiert das Modell mit ihm. Anschließend folgt der Numerik- und der Regelungsteilteil.

Note: 1,0

Verlauf (keine Garantie auf Richtigkeit der Antworten):

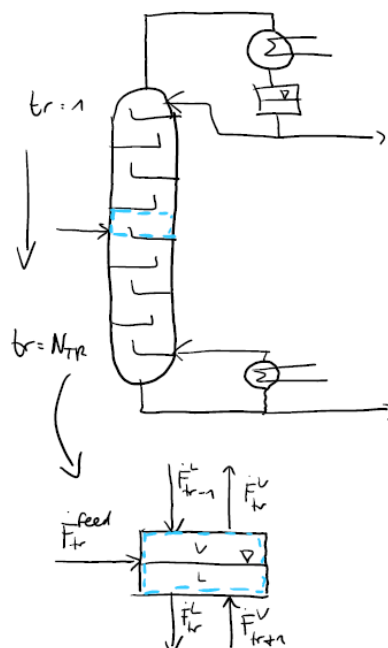
Ich habe als Aufgabe die Rektifikationskolonne gezogen und folgendes aufgeschrieben:

Modellierungsaufgabe: Rektifikationskolonne

- Trennung eines azeotropen Gemischs
- Feedzusammensetzung schwankend
- $p = 3 \text{ bar}$
- nicht ideale Flüssigkeit

Aufgabe - generisches Modell eines Kolonnenbodens

- Kennzeichnen des Bilanzraums + Einzeichnen aller Ströme



$$M: \frac{dH_{tr,c}}{dt} = \dot{F}_{tr}^{feed} \cdot x_{tr,c}^{feed} + \dot{F}_{tr-1}^L \cdot x_{tr-1,c}^L - \dot{F}_{tr}^L \cdot x_{tr,c}^L + \dot{F}_{tr+1}^V \cdot x_{tr+1,c}^V - \dot{F}_{tr}^V \cdot x_{tr,c}^V \quad (N_{TR} \cdot N_c)$$

$$E: x_{tr,c}^L \cdot \gamma_{tr,c} \cdot \frac{p_{tr,c}^{0,lv}}{p_{tr,c}} \cdot \frac{p_{tr,c}}{p_{tr}} = x_{tr,c}^V \cdot \frac{p_{tr,c}}{p_{tr}} \quad (N_{TR} \cdot N_c)$$

mit $p < 10 \text{ bar}$: $\phi_c / \phi_{0,c}^{lv} \approx 1$

$(p - p_{0,c}^{lv}) < 10 \text{ bar}$: $\pi_{0,c} \approx 1$

$$S: 0 = 1 - \sum_{c=1}^{N_c} x_{tr,c}^V \quad (N_{TR})$$

$$0 = 1 - \sum_{c=1}^{N_c} x_{tr,c}^L \quad (N_{TR})$$

$$H: \frac{dU_{tr}}{dt} = \dot{F}_{tr}^{feed} \cdot h_{tr}^{feed} + \dot{F}_{tr-1}^L \cdot h_{tr-1}^L - \dot{F}_{tr}^L \cdot h_{tr}^L + \dot{F}_{tr+1}^V \cdot h_{tr+1}^V - \dot{F}_{tr}^V \cdot h_{tr}^V \quad (N_{TR})$$

$$I: 0 = p_r - p_{tr-1} - \Delta p_{tr} \quad (N_{TR})$$

Ans: $HU_{tr,c} = HU_{tr,c}^V \cdot x_{tr,c}^V + HU_{tr,c}^L \cdot x_{tr,c}^L$
 mit $HU_{tr,c}^V < HU_{tr,c}^L$ (gültig für $p < 5-10 \text{ bar}$)

$\gamma_{tr,c} = f(T_{tr}, x_{tr,c}^L)$ (RTG $\gamma_c = \bar{g}_c^E \rightarrow g^E$ -Modell)

$p_{tr,c}^{0,lv} = f(T_{tr}) \rightarrow$ Antoine-Gl.

$U_{tr} = HU_{tr}^V \cdot h_{tr}^V + HU_{tr}^L \cdot h_{tr}^L - p_{tr} V$

(e) gültig für $p < 5-10 \text{ bar}$

$$h_{tr}^L = \sum_{c=1}^{N_c} x_{tr,c}^L \left[\Delta h_{tr,c}^0(T^0) + \int_{T^0}^{T_{tr}} c_{p,c}^L(T) dT \right] + h_{tr}^{L,E}$$

$$h_{tr}^V = \sum_{c=1}^{N_c} x_{tr,c}^V \left[\Delta h_{tr,c}^0(T^0) + \int_{T^0}^{T_{0,c}^{lv}(p_{tr})} c_{p,c}^L(T) dT + \Delta h_{tr,c}^{LV}(T_{0,c}^{lv}(p_{tr})) + \int_{T_{0,c}^{lv}(p_{tr})}^{T_{tr}} c_{p,c}^V(T) dT \right] + h_{tr}^{V,E}$$

$h_{tr}^{L,E} = f(T_{tr}, p_{tr}, x_{tr,c}^L)$

$(h_{tr}^{V,E} = f(T_{tr}, p_{tr}, x_{tr,c}^V))$

$F_{tr}^L = f(\Delta p_{tr+1}, HU_{tr}, \text{Geometrie}) \rightarrow$ Francis-Weir-Formel

$F_{tr}^V = f(\Delta p_{tr}, HU_{tr-1}, \text{Geometrie})$

+ weitere Korrelationen für die Wärmehaupazitäten, Verdampfungs-enthalpien, Siedetemperaturen

(Ich würde empfehlen, direkt hinzuschreiben, welche Gleichung es wie oft gibt, wie der Aktivitätskoeffizient genau definiert ist, welchen Aggregatzustand die Referenzenthalpie hat etc. Ich hatte das Gefühl, dass er dadurch weniger Fragen gestellt hat im Vergleich zu anderen Gedächtnisprotokollen, weil vieles bereits dort stand.)

1. Können Sie erläutern, was ein Modell ist?

Ein Modell ist eine vereinfachte Abstraktion der Realität mit 3 Eigenschaften: Repräsentation, Reduktion (nicht alle Informationen des Originals werden dargestellt) und Pragmatismus (ein Modell ist immer für eine bestimmte Person, einen bestimmten Zeitrahmen und einen bestimmten Zweck; daher gibt es für ein Original nicht nur ein Modell, sondern es wird an die jeweiligen Anforderungen angepasst). *(s. erste Folien der ersten Vorlesung)*

2. Was ist der zweite Schritt der Modellierungssystematik?

Die Bilanzgrenze einzeichnen.

3. Wieso können Sie den Dampfholdup vernachlässigen?

Die Stoffmenge des Dampfes ist verhältnismäßig deutlich kleiner als die der Flüssigkeit. Dies kann man gut annehmen bei Drücken $< 5\text{-}10\text{bar}$. *(Es war ihm sehr wichtig, von der Stoffmenge und nicht der Masse zu sprechen)*

4. Erläutern Sie die Vereinfachungen beim VLE.

Durch den geringen Systemdruck ($p < 10\text{ bar}$) sind die Fugazitätskoeffizienten ungefähr gleich groß. Und ich habe angenommen, dass die Differenz zwischen System- und Dampfdruck $< 10\text{ bar}$ ist, sodass ich die Poynting-Korrektur ungefähr zu eins setzen kann.

5. Wie können Sie den Sättigungsdampfdruck bestimmen?

Mittels Antoine-Gleichung.

6. Gibt es eine alternative Gleichung?

Mittels Clausius-Clapeyron-Gleichung. *(Das war eher geraten, da sich die Antoine-Gleichung meines Wissens daraus ableitet. Aber es schien nicht falsch zu sein.)*

7. Nennen Sie ein gE-Modell. (Er hat nicht gefragt, wie man den Aktivitätskoeffizienten genau bestimmt, weil ich dies bereits aufgeschrieben hatte.)

Porter, Wilson, NRTL...*(da hat er mich dann direkt unterbrochen).*

8. Zur Enthalpie: Was ist h_E ?

Die Exzessenthalpie.

9. Wieso haben Sie das auch beim Dampf aufgeschrieben? Haben Sie nicht angenommen, dass es sich um ein ideales Gas handelt?

Ich habe ja nur angenommen, dass die Fugazitätskoeffizienten gleich groß sind, nicht dass es sich um ein ideales Gas handelt. (Hätte man aber sicher zusätzlich annehmen können.)

10. Was haben Sie für ein Gleichungssystem?

Ein DAE.

11. Sie können dies mittels Diskretisierung im ersten Schritt lösen. Stellen Sie mal den impliziten Euler für die Komponentenstoffmengenbilanz auf.

Ich habe es hingeschrieben, ohne die Produktregel für den Speicherterm zu beachten. (Damit war er nicht ganz zufrieden und sagte, dass etwas nicht stimme. Ich verwies dann auf die Hilfsbeziehung für den Komponentenholdup. Er meinte, dass dies so nicht funktionieren würde. Dabei hatte ich diese Frage vorher sogar mit einem WiMi diskutiert. Dieser meinte, dass man durch die Hilfsbeziehung keine Produktregel bräuchte. Aber schreibt lieber die Produktregel hin, dann entsteht erst gar keine Diskussion. Insgesamt war dies aber scheinbar nicht schlimm. Denkt auch an die Indizierung aller Variablen mit k oder $k+1$.)

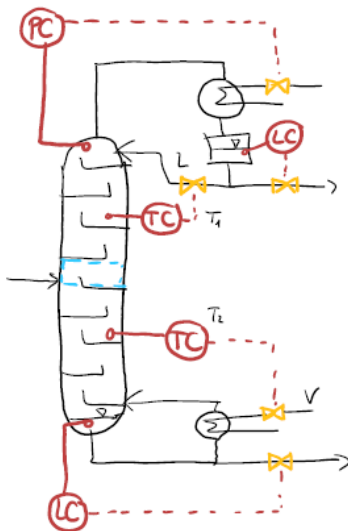
12. Wie müsste man beim expliziten Euler die Zeitschrittweite wählen?

Kleiner als die kleinste Zeitkonstante. Diese bekomme ich, indem ich die DGLen in Normalenform umstelle.

13. Und wenn Sie DGLen höherer Ordnung hätten?

Dann könnte man den Zusammenhang mit den Eigenwerten nutzen: $h < 1/\max(\text{Re}(\lambda_i))$. Es handelt sich im linearen Fall um die konstanten Eigenwerte der Systemmatrix A . Im nicht linearen Fall müsste man eigentlich für jeden Zeitschritt die DGLen linearisieren und dabei dann die Eigenwerte der Jacobi-Matrix auswerten. Somit kann sich die Zeitschrittweite im nicht linearen Fall je Zeitschritt ändern.

14. Wir sparen mal Papier und nehmen weiter die Kolonne. Ich zeichne Ihnen mal ein paar Ventile ein (orange im Bild). Es soll die Destillat- und Sumpffzusammensetzung geregelt werden. Wie können Sie die Kolonne betreiben? Zeichnen Sie Ihr Konzept ein.



15. Der Beisitzer schlägt vor, T1 mit V und T2 mit L zu regeln. Warum haben Sie sich für Ihre Kombination entschieden?

Weil man eine stärkere örtliche Nähe hat, wodurch man vermuten kann, dass die Stellgröße die Regelgröße schneller beeinflusst.

16. Was würden Sie machen, um herauszufinden, welche Kombination besser ist?

Die Relative Gain Analysis.

17. Wie bekommt man die RGA-Matrix, wenn ich Ihnen die Übertragungsfunktionsmatrix gebe?

$$\Lambda(s) = G(s) \cdot (G(s)^{-1})^T$$

18. Lambda_12 ist 0,85. Wer hat Recht?

Der Beisitzer, weil dann die Stellgröße stärker auf die Regelgröße wirkt.

19. Und wenn Lambda_12 negativ wäre, wer hat dann Recht?

Dann hätte ich Recht, weil die andere Kombination instabil wäre bzw. es so nicht regelbar ist.

$$\Lambda(s=0) = \begin{bmatrix} 0,15 & 0,85 \\ 0,85 & 0,15 \end{bmatrix} \quad \text{mit} \quad \begin{array}{c|c} \text{RG} & \text{SG} \\ \hline T_1 & L \\ T_2 & V \end{array}$$

$\hookrightarrow \begin{array}{l} T_1 - V \\ T_2 - L \end{array}$

$$\Lambda(s=0) = \begin{bmatrix} 1,85 & -0,85 \\ -0,85 & 1,85 \end{bmatrix}$$

$\hookrightarrow \begin{array}{l} T_1 - L \\ T_2 - V \end{array}$