

## Gedächtnisprotokoll mündliche Prüfung PAD

Datum: 16.12.2021

Prüfer: Prof. Repke

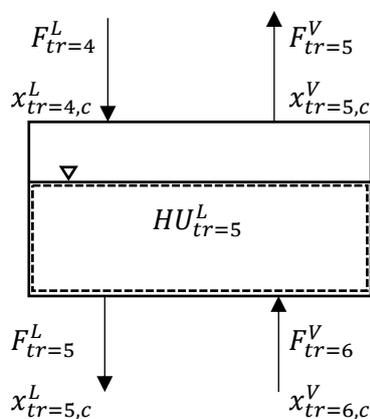
Note: 1.0

Es fängt an mit einigen Standardfragen zu Begrifflichkeiten der Thematik, ich soll beschreiben, was ein Prozess und was ein Modell ist. Die Definitionen befinden sich in den Folien der ersten Vorlesung, bei der Definition hat er noch gefragt, was die drei wichtigen Punkte eines Modells sind (representation, reduction, pragmatism) diese konnte ich nicht Wortgetreu wiedergeben, aber Punkte waren in meiner Beschreibung vorhanden. Es schien auch im Weiteren nicht schlimm gewesen zu sein.

Er zeigt mir das Fließschema einer Biogasaufreinigung. Darin soll das Biogas - CH<sub>4</sub> (1) und CO<sub>2</sub> (2) - mittels Gaswäsche von CO<sub>2</sub> befreit werden. Als Lösungsmittel wird Wasser (3) verwendet und das ganze findet bei 12 bar in einer Absorptionskolonne mit 10 Böden statt. Außerdem schwankt die Feedzusammensetzung und alle Mischungen müssen als nicht ideal betrachtet werden.

Ich soll den fünften Boden nach MESHI Systematik Bilanzieren.

Als erstes skizziere ich den Boden grob mit allen auftretenden Strömen und dem Holdup. 12 bar stellt einen Grenzfall dar, aber Repke sagt, ich darf den Hold up der Gasphase vernachlässigen. Hierbei ist noch wichtig, dass dafür in erster Linie wenig Gasphase vorhanden sein muss, bzw. wenige Gasmoleküle gegenüber den Flüssigkeitsmolekülen vorliegen. Das folgt natürlich aus der Annahme, dass die Flüssigkeitsdichte wesentlich größer, als die Dichte der Gasphase ist ( $\rho^L \gg \rho^V$ ), ihm war aber wichtig, dass es dabei eigentlich um die Menge bzw. die Anzahl der Teilchen geht.



**M:** (Komponentenmassenbilanz)

$$\frac{dHU_{tr=5,c}^L}{dt} = F_{tr=4}^L x_{tr=4,c}^L - F_{tr=5}^V x_{tr=5,c}^V - F_{tr=5}^L x_{tr=5,c}^L + F_{tr=6}^V x_{tr=6,c}^V$$

Hier am besten noch explizit sagen, was c ist. Also  $c = \{1,2,3\}$  mit 1: CH<sub>4</sub>; 2: CO<sub>2</sub> und 3: H<sub>2</sub>O, oder etwas Vergleichbares.

**E:**

Hier muss man beachten, dass es sich um einen Absorptionsprozess mit drei Komponenten handelt, zwei davon werden in der dritten absorbiert. Es liegen also zwei GLEs und ein VLE vor, daher braucht man zwei Mal das Henry und einmal das Raoult Gesetz.

$$H_1 \Pi_1 x_{tr=5,1}^L \gamma_1^* = p x_{tr=5,1}^V \varphi_1$$

Hierbei ist es wichtig, dass man den Index der Zusammensetzungen richtig wählt, in diesem Fall also  $tr=5$ . Außerdem sollte man kennzeichnen, dass der Aktivitätskoeffizient aus dem Henry Gesetz ein anderer, als aus dem Raoult ist, ich mache das mit einem Stern. Für Komponente zwei sieht das genauso aus, daher spare ich mir die Formel (habe ich in der Prüfung auch).

$$p_{0,3}^{LV} \varphi_{0,3}^{LV} x_{tr=5,3}^L \gamma_3 = p x_{tr=5,3}^V \varphi_3$$

Dann die Standardfrage wo man die Aktivitätskoeffizienten aus den GGW Beziehungen her bekommt. Über ein  $g^E$ -Modell (zB. Porter, NRTL, ...). Dann will er noch die genaue Formel für den Zusammenhang von  $\gamma$  und  $g^E$  haben.

$$\sum_c x_c^L RT \ln(\gamma_c) = g^E$$

Zuerst schreibe ich die Formel ohne Summenzeichen und  $x$  und den Index  $c$  am  $\gamma$ , er fragt dann aber noch explizit, was denn das für ein  $\gamma$  sei, weil ich in allen anderen Gleichungen ja immer einen Index hatte. Daraufhin ergänze ich den Kram und er scheint damit zufrieden.

**S:**

$$0 = 1 - \sum_c x_{tr=5,c}^L$$

$$0 = 1 - \sum_c x_{tr=5,c}^V$$

Die Summenbeziehungen sind recht unaufregend, ich habe drei Komponentenmassenbilanzen ohne GMB, daher brauche ich zwei Summenbeziehungen, je eine pro austretendem Strom.

**H:**

$$\frac{dU_{tr=5}^L}{dt} = F_{tr=4}^L h_{tr=4}^L - F_{tr=5}^V h_{tr=5}^V - F_{tr=5}^L h_{tr=5}^L + F_{tr=6}^V h_{tr=6}^V$$

Hier will er dann wissen, wie ich auf die Enthalpien komme, am Beispiel einer flüssigen Enthalpie. Da ich in der Prüfungsvorbereitung immer mit der Standard Bildungsenthalpie gerechnet habe will ich diese hier auch als Referenzpunkt wählen, woraufhin er direkt meint, dass das zwar nicht unbedingt falsch, aber eher kompliziert ist. Wir reden dann noch kurz über den Referenzpunkt und bei welchem Druck dieser Bekannt ist. Seid euch hier einfach genau bewusst, welche Referenz ihr wählt und bei welchen Bedingungen diese vorliegt.

$$h_{tr=5}^L = \sum_{c=1}^2 x_{tr=5,c}^L \left( h_c^{0,f} + \int_{T_0}^{T^{LV}} c_{p,c}^V dT + \Delta h_c^{LV} + \int_{T^{LV}}^{T_{tr=5}} c_{p,c}^L dT \right) + x_{tr=5,3}^L \left( h_3^{0,f} + \int_{T_0}^{T^{LV}} c_{p,3}^L dT \right) + h^E$$

Hier vertue ich mich ein bisschen mit meinen Indizes und brauche einen Moment, um die Gleichung aufzustellen. Er sagt dann noch mal, dass das ja ein sehr komplizierter Weg sei („Wie von hier über Rom nach Erkner.“) und, dass man auch bei den Komponenten mit Gasförmigem Referenzzustand (bzw. den Absorbierten Komponenten) direkt auf Systemtemperatur integrieren könnte und dann die Absorptionswärme dazu addieren könnte. Damit spart man sich die Aufteilung in flüssigen und gasförmigen Zustand und muss einmal weniger integrieren. Sicherlich Sinnvoll, aber Absorption war

in PAD kaum Thema, daher kannte ich mich damit nicht so exakt aus. War auch glaube ich nicht weiter schlimm.

Die Impulsgleichungen haben wir nicht weiter besprochen.

### Numerik:

Die Standardfragen nach Art des Gleichungssystems (DAE) und, wie man das Lösen kann (Gradienten diskretisieren und dann GLS lösen) werden direkt übersprungen. Ich soll dann die Komponentenmassenbilanz aus dem Meshi mit dem impliziten Euler diskretisieren. Hier muss man natürlich aufpassen, dass man den Komponenten Holdup mittels Produktregel in Zusammensetzung und Holdup aufteilt. Hier einfach auf die Indizes achten, auch bei den Termen der Produktregel muss k+1 stehen:

$$\begin{aligned} \frac{dHU_{tr=5,c}^L}{dt} &= HU_{tr=5}^L \frac{dx_{tr=5,c}^L}{dt} + x_{tr=5,c}^L \frac{dHU_{tr=5}^L}{dt} \approx HU_{tr=5}^{L,k+1} \frac{x_{tr=5,c}^{L,k+1} - x_{tr=5,c}^{L,k}}{\Delta t} + x_{tr=5,c}^{L,k+1} \frac{HU_{tr=5}^{L,k+1} - x_{tr=5}^{L,k}}{\Delta t} \\ &= F_{tr=4}^{L,k+1} x_{tr=4,c}^{L,k+1} - F_{tr=5}^{V,k+1} x_{tr=5,c}^{V,k+1} - F_{tr=5}^{L,k+1} x_{tr=5,c}^{L,k+1} + F_{tr=6}^{V,k+1} x_{tr=6,c}^{V,k+1} \end{aligned}$$

Darauf folgt die Frage nach dem Zeitschritt und woher ich diesen bekommen, speziell für den expliziten Euler. Ich gebe die Standardantwort, dass ich den Zeitschritt kleiner, als die kleinste Zeitkonstante des Systems wählen muss. Er fragt woher ich diese Zeitkonstanten bekomme. Ich meine, wenn man die DGLs in Normalenform bringt, könne man die Zeitkonstanten gleich ablesen, woraufhin er sagt, dass das aber schwierig wird, bei unserem System, wenn man DGLs höherer Ordnung hat (das hat mich etwas verwirrt, weil ja nur DGLs erster Ordnung vorkommen). Auf jeden Fall ist er mit der Antwort nicht so ganz zufrieden und ich meine, man könnte noch Sprungveruche durchführen und somit auf die Konstanten kommen, was er aber zu kompliziert findet. Mir fällt daraufhin noch der Zusammenhang ein, dass die Zeitkonstanten die Inverse der Realteile der Eigenwerte der Matrix sind.

$$\Delta t \leq \frac{1}{\max_i |Re(\lambda_i)|}$$

Ich weiß allerdings nicht mehr genau welche Matrix hier verwendet wird. Zunächst meine ich die Jacobi Matrix des Systems, was Repke aber verneint. Hier stehe ich dann etwas auf dem Schlauch, weil ich nicht weiß welche Matrix noch gemeint sein könnte. Aus den Vorlesungsfolien geht auch nicht hervor, was das für eine Matrix, wenn nicht die Jacobi Matrix, sein sollte. Repke sagt, dass das aber auch eine schwerere Frage ist und schließt damit den Numerik Teil ab.

### Regelungstechnik:

Der Regelungstechnik Teil ist sehr ähnlich zu anderen Protokollen. Ich bekomme das Fließbild einer normalen Destillationskolonne und soll zunächst sagen, was ich alles Regeln würde und womit. Druck geregelt über den Kühlwassermassenstrom und Temperaturen ( $T_i$ ,  $T_j$ , stellvertretend für die Destillat- und Sumpf Zusammensetzung) mittels zurückgeführten Destillats und Heizdampfstrom, für die Anlagensicherheit. Außerdem werden noch der Holdup im Kondensator über dem abgeführten Destillatstrom und der Holdup im Sumpf über den Sumpfstrom geregelt, da diese nicht selbstregulierend sind (I-Verhalten). Diese Regler Kombinationen sollte ich in das Fließbild einzeichnen.

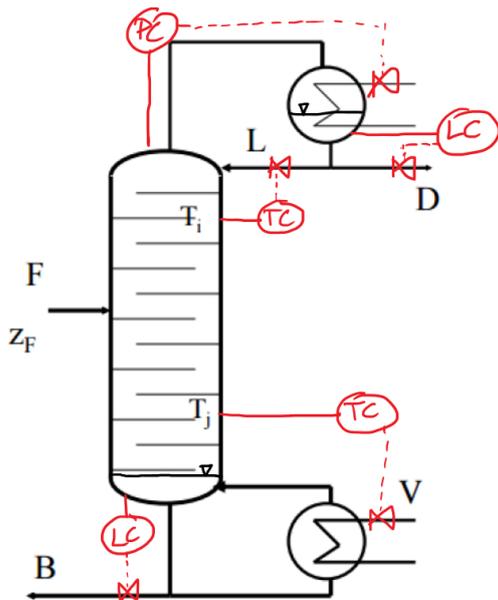


Abbildung 1 Destillationskolonne mit selbst eingezeichneten Reglerpairings (rot)

Wichtig ist ihm hier, dass die Verbindungen von der Messstelle zum Regler eine durchgezogene Linie und die Verbindung vom Regler zum Ventil eine gestrichelte Linie sein müssen. Repke fragt außerdem noch an welcher Stelle der Druck am besten gemessen werden sollte. Wenn er über den Kühlwassermassenstrom geregelt wird, sollte er möglichst weit oben gemessen werden, damit Stell- und Regelgröße dicht beieinander liegen und nicht von mehreren Böden getrennt werden. Der Sensor sollte dabei ganz oben platziert werden, da dort nur Dampf vorliegt und er so nicht von aufsprudelnder Flüssigkeit beschädigt werden kann.

Danach soll ich noch mal separat  $T_i$  und  $T_j$  als Regelgrößen und  $L$  und  $V$  als Stellgrößen betrachten und argumentieren, warum ich diese in der Abbildung so miteinander verbunden habe. Mathematisch kann man das gut mit einer RGA machen und ich soll das Element  $\lambda_{12}$  der RGA Matrix aufstellen.

$$\lambda_{12} = \frac{\left. \frac{T_i}{V} \right|_{L=const.}}{\left. \frac{T_j}{V} \right|_{T_i=const.}}$$

Welchen Wert sollte dieser Eintrag der Matrix am besten haben? → Im Idealfall 0, da die beiden Größen dann vollständig entkoppelt sind.

Daraufhin fragt er noch, ob es denn ginge, dass der Eintrag zB. -100 wäre. Ich sage, dass es zwar mathematisch möglich wäre, aber dann kein günstiges Pairing wäre, direkt begründen kann ich es aber nicht. Mit etwas Hilfe komme ich dann darauf, dass ein stark negativer Wert  $\lambda_{12}$  zur Folge hätte, dass  $\lambda_{11}$  und  $\lambda_{22}$  stark positiv wären, da die Zeilen- und Spaltensummen der RGA Matrix immer 1 ergeben. Die Stellgrößen würden dann alle Regelgrößen fast gleichermaßen beeinflussen und der gewünschte Einfluss von  $L$  auf  $T_i$  (bzw.  $V$  auf  $T_j$ ) verschwindend gering wird.

Ich hatte nicht erwartet, dass die Note so gut wird, da ich doch ab und zu etwas gerätselt habe und nicht sofort alle Antworten wusste. Aber seine Ansprüche sind da wohl noch ganz human, es ist also nicht unmöglich :)

Viel Erfolg!