

1 Prozess- und Anlagendynamik: Mündliche Prüfung bei Herrn Professor Jens-Uwe Repke

Allgemeine Information und Prüfungssituation

Prüfer: Professor Jens-Uwe Repke

Noten: 1.3 und 2.7

Datum: 12.2019

Dies ist ein kombiniertes Prüfungsprotokoll aus zwei verschiedenen Prüfungen, die inhaltlich aber fast gleich waren. Wir haben das Protokoll zusammen geschrieben, da wir uns so an mehr Fragen erinnern konnten und euch abgestimmte, hoffentlich richtige Antworten nennen können. Wie alle Prüfungsprotokolle soll euch das hier nur als Lernhilfe dienen, für die Richtigkeit der Antworten und die exakte Wiedergabe der Fragestellungen können wir natürlich nicht garantieren. Dennoch hoffen wir, dass es euch bei eurer Vorbereitung weiter hilft.

Zur Vorbereitung: Die lief bei uns etwas unterschiedlich, wodurch sich zum Teil auch der Notenunterschied ergibt. Eine wesentlich bessere Note ließ sich mit dem gründlichen Lesen und Zusammenfassen der –umständlich anmutenden– Vorlesungsfolien erreichen. Wichtig ist, sich bei der Vorlesung Notizen zu machen, da der Inhalt durch die Folien alleine unserer Auffassung nach nicht gut vermittelt wird. Die schlechtere Note resultiert zum Teil daraus, dass zur Vorbereitung hauptsächlich die Übungen und die Altprotokolle verwendet wurden. Besonders die Altprotokolle lassen vermuten, dass immer wieder derselbe Stoff abgefragt wird – **das war bei uns nicht der Fall!**

Die Prüfungsatmosphäre bei Herrn Repke war okay, der Professor hilft einem immer weiter und stellt Fragen falls etwas falsch aufgeschrieben wurde.

Generell ist es notentechnisch nicht sehr schlimm, wenn zunächst Fragen falsch beantwortet werden. Hauptsache man kommt bei den Nachfragen dann auf die richtigen Antworten. Wir hatten den Eindruck, als ob auch Sympathie die Note zum Teil entscheidet.

Die Prüfung

Eingangsfragen

Los ging es mit den Standardfragen:

R.: Was ist ein Prozess?

I.: Ein Prozess ist eine zweckgerichtete Verknüpfung von physikalischen, chemischen, biologischen und informationstechnischen Vorgängen.

R.: Was versteht man unter Prozessdynamik?

I.: Die Analyse des zeitabhängigen (dynamischen) Verhaltens von Zustandsgrößen mit dem Ziel der Automatisierung, der Optimierung und der Erhöhung der Anlagensicherheit.

R.: Was ist eine Prozesssynthese und eine Prozessanalyse?

I.: Prozesssynthese: Auswahl von Prozessschritten und Verbindungen zwischen Schritten (Konzeptionierung, bevor der Prozess existiert); Prozessanalyse: beurteilt die Performance jedes einzelnen Elements und die des Gesamtprozesses (meist durch Simulation, an einem existierenden Prozess).

R.: Was ist ein Modell?

I.: Ein Modell ist eine vereinfachte (abstrahierte) Abbildung eines betrachteten/interessierenden Objektes oder Gegenstandsbereiches, welcher nur in den als wichtig erachteten Aspekten wiedergegeben werden soll bzw. wird. Wir verwenden dafür mathematischen Modelle.

R.: Gibt es nur mathematische Modelle?

I.: Nein, es gibt auch verbale Modelle.

Bilanzierung einer Kolonne

R.: Gut. Dann machen wir heute Mal etwas anderes als sonst. Bitte fallen sie nicht gleich um. Sie schaffen das.

Er zeigte ein großes Fließbild eines Absorptionsprozesses. Es sollte Biogas (60% CH_4 und 40% CO_2) durch Absorption mit Wasser von CO_2 bei 12 bar gereinigt werden. Die genaue Feedkonzentration sollte aber schwanken und der Konzentrationsverlauf der Kolonne betrachtet werden. Wissen Sie was Absorption ist? Ist Ihnen der Prozess klar? Wie würden sie das denn Modellieren?

I.: Ich habe mir willkürlich eine Trennstufe herausgesucht (Stufe 3) und diese dann Bilanziert (Abbildung 1.1).

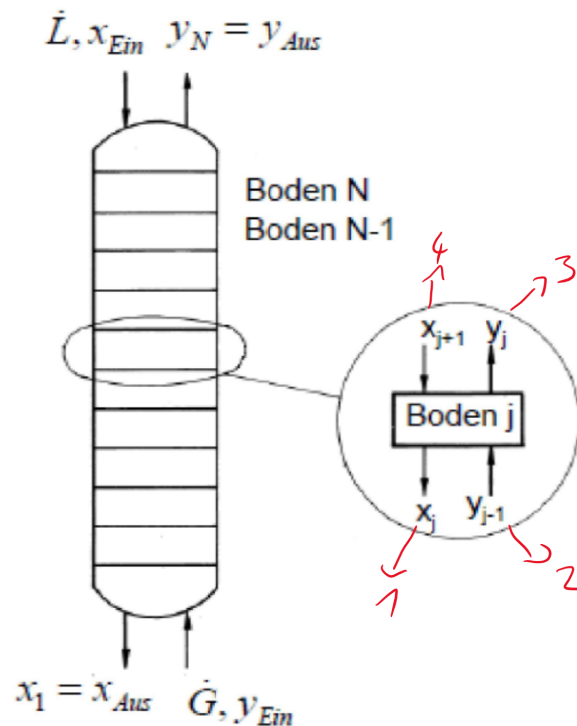


Abbildung 1.1: Bilanzierung eines Kolonnenbodens. Schwarz: Von Herrn Repke vorgegeben, Rot: in der Prüfung selbst eingefügt

I.: Es gibt 3 Komponenten: CH_4 (Stoff 1), CO_2 (Stoff 2) und H_2O (Stoff 3). Ich würde jetzt als erstes die Gleichungen nach der MESH Systematik aufstellen. Wir haben einen Druck von 12 bar. Dies ist ein Grenzfall zur Vernachlässigung des Holdups (HU) in der Dampf- bzw. Gasphase. Kann ich annehmen, dass wir den Holdup in der Dampf- bzw. Gasphase vernachlässigen?

R.: Warum und unter welchen Umständen können Sie den Holdup in der Dampf- bzw. Gasphase vernachlässigen?

I.: Bei geringen Drücken ist die Dichte und somit auch die Anzahl an Molekülen in der Dampf-, bzw. Gasphase wesentlich geringer als in der Flüssigphase, daher vernachlässigen wir den Holdup in der Dampf-, bzw. Gasphase bei geringen Drücken. Zwölf bar ist allerdings ein Grenzfall.

R.: Gut, sie können in diesem Fall den HU in der Dampf- bzw. Gasphase vernachlässigen. Fangen Sie dann mal an. *Anmerkung: Repke lässt oft nicht alle Gleichungen ausschreiben, er schaut ob man es verstanden hat und dann lässt er einen zum nächsten Gleichungssatz. Davon nicht irritieren lassen. Wir schreiben in diesen Protokoll die Gleichungen aber natürlich alle aus.*

I.: (M)

$$\frac{dHU^L}{dt} = -L_1 + G_2 - G_3 + L_4 \quad (1.1)$$

$$\frac{dHU^L x_{1,1}}{dt} = -L_1 x_{1,1} + G_2 y_{2,1} - G_3 y_{3,1} + L_4 x_{4,1} \quad (1.2)$$

$$\frac{dHU^L x_{1,2}}{dt} = -L_1 x_{1,2} + G_2 y_{2,2} - G_3 y_{3,2} + L_4 x_{4,2} \quad (1.3)$$

R.(*unterbricht*): Gut, wie viele Summenbeziehungen brauchen Sie jetzt?

I.: Kurz überlegt, wie in der Übung ist man versucht für jeden Strom eine Summenbeziehung aufzustellen. Dies ist aber nicht notwendig, da je ein Strom über die darüber bzw. die darunter liegende Trennstufe bilanziert wird. Es sind also nur zwei Summenbeziehungen notwendig. *Anmerkung: Es ist nicht schlimm, wenn man hier zunächst 4 Summenbeziehungen aufschreibt, hauptsache man kommt bei seinen Nachfragen drauf, dass nur 2 notwendig sind.*

(S)

$$1 = x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} \quad (1.4)$$

$$1 = y_{3,1} + y_{3,2} + y_{3,3} \quad (1.5)$$

(H)

$$\frac{dU^L}{dt} = -L_1 h_1 + G_2 h_2 - G_3 h_3 + L_4 h_4 \quad (1.6)$$

(E)

$$T_1 = T_3 \quad (1.7)$$

$$P_1 = P_3 \quad (1.8)$$

$$y_{3,1} \cdot \varphi_1 \cdot P = x_{1,1} \cdot \gamma_1 \cdot H_1 \cdot \Pi_1 \quad (1.9)$$

$$y_{3,2} \cdot \varphi_2 \cdot P = x_{1,2} \cdot \gamma_2 \cdot H_2 \cdot \Pi_2 \quad (1.10)$$

$$y_{3,3} \cdot \frac{\varphi_3}{\varphi_{03}} \cdot \frac{P}{P_{03}^{LV}} = x_{1,3} \cdot \gamma_3 \cdot \Pi_3 \quad (1.11)$$

Anmerkung: γ_1 und γ_2 können auf Nachfrage weggelassen werden, da von geringer Löslichkeit der Gase in der Flüssigkeit ausgegangen wird (obwohl dies ja eigentlich das Prozessziel ist). Bei Komponente 1 und 2 handelt es sich um ein GLE, bei Komponente 3 um ein VLE.

R.: Wie berechnet sich die Enthalpie für den Strom L_1 ?

I.:

$$h_1 = \sum_{i=1}^3 x_i \cdot h_{0i} + h^E \quad (1.12)$$

R.: Wie berechnet sich h_{0i} ? Zeigen Sie mir das bitte mal für Wasser und Methan.

I.:

$$h_{01} = h_{01}^+(T,P) + \int_{T^+}^{T^{LG}} cp_1^G dT + \Delta h^{LG} + \int_{T^{LG}}^T cp_1^L dT \quad (1.13)$$

$$h_{03} = h_{03}^+(T,P) + \int_{T^+}^T cp_3^L dT \quad (1.14)$$

I.: CH_4 ist ja ein Gas. Daher ist die Enthalpie Druckabhängig. Ich weiß aber nicht, wie ich das aufschreiben soll. Kann ich einen Term (z.B. $+f(\Delta P)$) anfügen? *Anmerkung: Bei einem von uns war es okay, bei dem anderen nicht, auf letztere Prüfungssituation beziehen sich die folgenden zwei Fragen.*

R.: Wie bezeichnen Sie denn $h_{01}^+(T,P)$?

I.: Das ist meine Standardbildungsenthalpie.

R.: Und wie wählen Sie diese?

I.: *Nun auf die richtige Antwort gekommen..* Bei 12 bar und 298K! Somit ist dort meine Druckabhängigkeit enthalten!

Anmerkung: Bei der Entalpieberechnung von CH_4 (Stoff 1, Gleichung 1.13) bin ich mir nicht mehr ganz sicher, ob ich cp_1^L und cp_1^G vertauscht hatte. Repke hatte mich gefragt wie das CH_4 bei meinen gewählten Standardbedingungen (298K, 11bar) vorliegt, was ich nicht genau wusste. Hab mich für gasförmig entschieden, wenn ihr flüssig sagt, müsst ihr die Verflüssigungsenthalpie meiner Ansicht nach nicht berücksichtigen. Wenn ihr davon ausgeht, dass das Methan sich gasförmig im Strom 1 befindet und der Standardzustand flüssig ist, müsst ihr natürlich von cp_1^L nach cp_1^G integrieren. Dann müsste aber auch wie bei dem ersten von uns die Druckabhängigkeit in einer Form wie $+f(\Delta P)$ angefügt werden. Ganz sicher bin ich/sind wir bei dieser Anmerkung nicht, am besten schaut ihr das nochmal nach.

R.: Was ist in Gleichung 1.11 φ_3 und φ_{03} ?

I.: φ_3 ist der Fugazitätskoeffizient einer Mischung und φ_{03} ist der Fugazitätskoeffizient des Reinstoffs.

R.: Woher bekommt man den Fugazitätskoeffizienten?

I.: Aus Zustandsgleichungen.

R.: Nennen Sie mir bitte mal eine.

I.: Van der Waals, SRK, EOS,...

R.: Würden Sie zur Vereinfachung mit dem idealen Gasgesetz rechnen?

I.: Nur bei niedrigen Drücken! Bei 12 bar würde ich das sein lassen.

R.: Gut, ich auch. Was ist in Gleichung 1.11 γ_3 ?

I.: Das ist der Aktivitätskoeffizient.

R.: Woher bekommen sie diesen?

I.: $RT \ln(\gamma)$ ist eine partiell molare Größe von g^E . Also aus g^E Modellen wie zum Beispiel Porter, UNIFAC, Wilson, NRTL...

R. (*Nur zu dem von uns, der nicht schon erwähnt hat, dass γ bei geringer Löslichkeit von Gasen =1 ist: Welchen Wert hat γ bei gering löslichen Gasen?*)

I.: $\gamma = 1$ (er meinte dann noch irgendwas von wegen sonst unendlich aber da habe ich ihn nicht richtig verstanden).

R.: Woher bekommen Sie P_{03}^{LV} ?

I.: Antoine oder Clausius-Clapeyron.

R.: Antoine ungeeignet für Wasser aber okay.

Numerik

R.: Was haben wir für ein System?

I.: Ein DAE.

R.: Wie lösen Sie das?

I.: Als erstes würde ich die Differentialquotienten durch Differenzenquotienten approximieren.

R.: Wie?

I.: Bspw. Mit Euler. *Anmerkung: Einer von uns hatte mit Runge-Kutter geantwortet, da aus den alten Protokollen ersichtlich war, dass er dies oft hören wollte. Wenn ihr das macht, solltet ihr euch bestens in diesem Verfahren auskennen, da er einige Fragen dazu stellt (wie müssen die Gleichungen Aussehen die dem Runge-Kutter Verfahren zur Verfügung gestellt werden, was sind die Vorteile, was macht der Solver,...). Da dies weder Stoff der Vorlesung, noch der Übung war, hatte ich mich nicht auf solche Fragen vorbereitet und hab mich dementsprechend verhaspelt. Meine Empfehlung: Immer Euler nennen!*

R.: Dann tun Sie das mal für die Komponentenbilanz mit dem impliziten Euler.

I.: *Anmerkung: Achtung, da Komponentenbilanz: Produktregel beachten!*

Nach Gleichung 1.2:

$$\text{HU}_{k+1}^L \cdot \frac{x_{1,1}^{k+1} - x_{1,1}^k}{\Delta t} + x_{1,1}^{k+1} \cdot \frac{\text{HU}_{k+1}^L - \text{HU}_k^L}{\Delta t} = -L_1 x_{1,1}|_{k+1} + G_2 y_{2,1}|_{k+1} - G_3 y_{3,1}|_{k+1} + L_4 x_{4,1}|_{k+1} \quad (1.15)$$

R.: Wie groß wählen Sie Δt ?

I.: Kann ich selbst wählen. Sollte aber kleiner als die Zeitkonstante des System sein. *Anmerkung: Einer von uns hatte hier noch mit Steifigkeit argumentiert:*

I.: ...Kleiner als Systemzeitkonstante, um keine Probleme mit der Steifigkeit des GLS zu bekommen. → Notwendig bei impl. Euler?? → Eigentlich nur bei explizitem Euler, er war aber mit der Argumentation, 'kleiner als die Systemzeitkonstante' zufrieden.

R.: Steifigkeit sagen Sie? Was hat das mit Deltat zu tun?

I.: Handelt es sich um ein steifes DGL-System, bestimmen nicht die Genauigkeitsanforderungen die Schrittgröße, sondern Stabilitätsanforderungen. (Ging er nicht wirklich drauf ein. Er sagte nur, dass man ja nicht weiß ob das vorliegende GLS steif wäre. Gab ich ihm recht, blieb aber dabei, dass man dies beachten müsse. Beließ er dabei.)

R.: Sie sagten Zeitkonstante. Hat Ihr System nur eine?

I.: Nein, mehrere, da es mehrere zeitabhängige Größen gibt. (Gab er sich mit zufrieden).

R.: Wie kommen Sie auf die Werte des HU^L zu Beginn?

I.: Wir sollten wissen, wie viel wir am Anfang eingefüllt haben. Das sind unsere Startwerte.

R.: Was tun Sie dann?

I.: Das nicht lineare GLS lösen. Bspw. Mit Newton-Raphson.

Regelung

R.: *Legt neues Bild vor (Abbildung 1.2): 'gewöhnliche' Rektifikationskolonne bei 12 bar. Er erklärte, dass sowohl die Kopfkonzentration, als auch die Sumpfkonzentration wichtig wäre.*

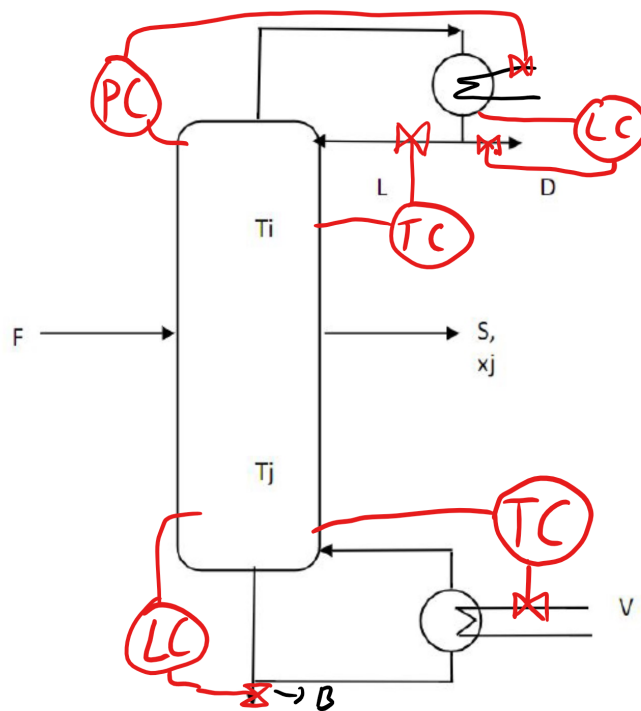


Abbildung 1.2: Abbildung eines Regelkonzeptes einer Kolonne. Schwarz: Von Herrn Repke vorgegeben, Rot: in der Prüfung selbst eingefügt.

Was würden sie Regeln?

I.: T_i und T_j stellvertretend für x_D und x_B , und die Holdups.

R.: Warum die Holdups?

I.: Weil die sich nicht selbst regulieren.

R.: Wie sagt man das in ‚Regelungstechniksprache‘?

I.: Der Holdup zeigt I-Verhalten und ist somit grenzstabil.

R.: Was müssen sie noch regeln?

I.: Den Druck.

R.: Welche Stellgrößen würden Sie wählen und was sind die zwei wichtigsten Pairing Regeln?

I.: Starke Verstärkung bzgl. Regelgröße und schnelle Reaktion. Ich würde T_i mit L , den Holdup im Kondensator mit D , T_j mit V und den Holdup im Boden mit B regeln (Siehe auch Abbildung 1.2).

R.: Wie würden Sie den Druck regeln?

I.: *Hier gab es bei uns widersprüchliche Aussagen. Er akzeptierte von uns den Kühlwasserstrom im Kondensator, sagte aber zu einem von uns, er akzeptiert von Studenten auch ein Ventil in die Kolonne einzuzeichnen. Dies wurde jedoch vom anderen Vorgeschlagen und Repke gab sich trotz seiner anderen Aussage damit nicht zufrieden!*

R.: Bitte tragen Sie Ihr Pairing in das Fließbild ein (RI).

I.: Siehe Abbildung 1.2.

R.: Wo messen sie P?

I.: Wollte es im Kondensator messen, er wollte aber in der Kolonne. Habe es dann ganz oben eingezeichnet. Ihm war egal ob ganz oben oder ganz unten, Hauptsache nicht irgendwo in der

Mitte.

R.: Wo messen Sie die Temperatur?

I.: Im Boden mit der höchsten Sensitivität.

R.: Wie finden Sie diesen Boden?

I.: Durch eine Sensitivitätsanalyse.

R.: Wie wird die durchgeführt?

I.: Es werden drei Versuche gefahren und dabei auf jedem Boden die Temperatur gemessen. Ein Versuch wird am Arbeitspunkt durchgeführt, der andere mit etwas höherer und etwas niedrigerer Temperatur, also mit etwas höheren bzw. niedrigeren V und D . Dann wird der Temperaturunterschied (ΔT) auf jedem Boden zwischen den unterschiedlichen Versuchen verglichen. Der Boden mit dem höchsten Temperaturunterschied ist der sensitivste, auf dem ich dann später im Betrieb die Temperatur messen würde.

R.: Welche Temperaturen vergleichen Sie? Die zwischen den Böden?

I.: Nein, die der verschiedenen Versuche aber immer auf den selben Boden (*dies schien ihm wichtig, hatte es vielleicht etwas ungenau erklärt*).

R.: Wie viel würden Sie ihre Stellgröße zwischen den Versuchen ändern?

I.: Nicht so groß, dass es die Prozesssicherheit gefährden würde, aber groß genug, damit man Auswirkungen sieht.

R.: Nennen Sie mir eine Zahl.

I.: Naja, das ist ist Prozessabhängig, eine genaue Zahl ist da meiner Ansicht nach schwierig *Ich wusste keine genaue Zahl, er wollte aber unbedingt eine hören. Hab dann $\pm 5\%$ gesagt, damit schien er zufrieden.*

R.: Regelgrößen: P, T_i, T_j ; Stellgrößen: M_{Kw}, L, B . Wie würde sie die RGA Matrix berechnen, wenn ich Ihnen $G(s)$ gebe? Und welche Dimension hätte diese?

I.:

$$\Lambda = G(s) \otimes (G(s)^{-1})^T \quad (1.16)$$

Dimension: 3×3 .

R.: $G(s)$ ist vielleicht noch nicht bekannt. Wie kann ich sonst noch beispielsweise $\Lambda_{1,3}$ einzeln berechnen?

I.:

$$\Lambda_{1,3} = \frac{\frac{\Delta P}{\Delta B} |_{\Delta M_{Kw} = \Delta L = 0}}{\frac{\Delta P}{\Delta B} |_{\Delta T_i = \Delta T_j = 0}} \quad (1.17)$$

R.: Welchen Wert sollte der Wert von $\Lambda_{1,3}$ annehmen und warum?

I.: Null, da wir die Regelgröße P nicht mit der Stellgröße B regeln wollen und sie entkoppelt sind, wenn $\Lambda_{1,3}$ den Wert Null annimmt.

So, das war alles, an das wir uns erinnern konnten. Wir hoffen, dass wir alles entsprechend wiedergeben konnten, euch das Protokoll hilft und wünschen euch viel Erfolg bei der Prüfungsvorbereitung und natürlich bei der Prüfung selbst.