Laborversuch: Füllstandsregelung

Zur Vorbereitung zu Hause:

- *Durcharbeiten des Dokuments „Kurzanleitung für MATLAB und SIMULINK“. Weiterhin können Sie auch die Dokumente „Einführung in MATLAB“ und „Einführung in SIMULINK“ für zusätzliche Informationen durchlesen.*
  Nicht alle benötigten Befehle sind in den hochgeladenen Dokumenten erklärt. Gegebenenfalls müssen Sie auf die MATLAB/SIMULINK-Hilfe zugreifen. Bisweilen hilft auch eine Internet-Suche z.B. über Google weiter ☺.

- *Auffrischen der theoretischen Grundlagen, siehe Vorlesung „Systemtheorie“(entweder bei Herrn Strohrmann oder bei mir gehört) und die parallel in diesem Semester stattfindende Vorlesung „Regelungstechnik“.*

- *Machen Sie sich mit der Aufgabenstellung vertraut. Planen Sie die wesentlichen Versuchsschritte und bereiten Sie ggf. die erforderlichen Diagramme vor.*

Allgemeine Hinweise:

- *Erstellen Sie zu jeder Aufgabe ein „.m-File“ mit allen erforderlichen Befehlen bzw. „.mdl-Files“ für die Simulink-Modelle.*

- *Dokumentieren Sie Ihre Arbeit während der Versuchsdurchführung in einem Protokoll, das Sie mit einem Textverarbeitungssystem Ihrer Wahl erstellen. Es sollte die verwendeten Befehle aus den .m-Files mit den zugehörigen MATLAB-Outputs und die Modelle aus den .mdl-Files mit den zugehörigen Diagrammen enthalten. Außerdem sollen Sie darin auch Ihre Antworten auf alle Fragen aus der Aufgabenstellung festhalten.*

- ***ACHTUNG:*** *MATLAB/SIMULINK arbeitet ohne Einheiten! Der Benutzer ist selbst für die richtigen Zahlenwerte verantwortlich.*
  Am besten ist es, alle Einheiten zunächst in die SI-Basiseinheiten (kg, m, s, A *) umzurechnen.*

Aufgabenstellung

Es wird eine Füllstandsregelung, bei der die Füllhöhe h geregelt werden soll, betrachtet. Der zylindrische Behälter hat die Querschnittsfläche A. Über einen Regler wird der Zufluss q_{zu} (Volumen pro Zeit mit der Einheit $\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$) eingestellt.

Die Regelung soll für zwei Fälle untersucht werden: zunächst ohne Abfluss (Abbildung 1) und danach mit Abfluss (Abbildung 2).

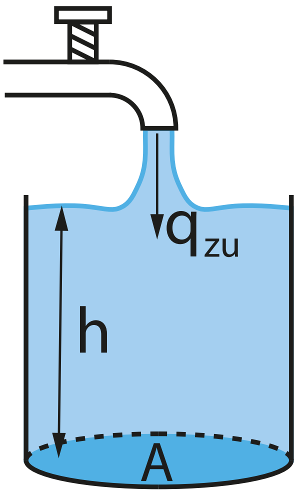

Abbildung 1: Behälter ohne Loch

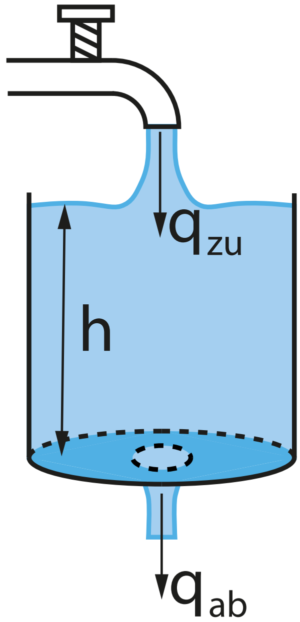

Abbildung 2: Behälter mit Loch

Zur Vorbereitung

1. Vertiefen Sie den Stoff der Vorlesung Systemtheorie. Für diesen Versuch müssen Sie insbesondere mit Übertragungsfunktionen im Laplace-Bereich vertraut sein.

2. Formulieren Sie den mathematischen Zusammenhang zwischen Zufluss $q_{zu}(t)$ und Füllhöhe $h(t)$ für den Behälter ohne Loch im Zeitbereich.

   Tipp: *Die Füllhöhe $h(t)$ steigt z.B. bei einem konstanten Zufluss $q_{zu}(t)$ linear mit der Zeit an. Bei einem Zufluss $q_{zu}(t) = 0$ bliebe die Füllhöhe $h(t)$ konstant, bei einem linear anschwellenden Zufluss nähme die Füllhöhe quadratisch mit der Zeit zu.*
   Die Geschwindigkeit, mit der die Füllhöhe h ansteigt, wird durch die Größe der Grundfläche A beeinflusst.

3. Wie lautet die Übertragungsfunktion, die $q_{zu}(t)$ (Eingangsgröße) mit $h(t)$ (Ausgangsgröße) verknüpft?

4. Zeichnen Sie das Blockschaltbild des Regelkreises mit einem P-Regler der Verstärkug K_R. Was ist die Stellgröße, was ist die Regelgröße?

5. Zum Zeitpunkt $t = 0$ sei der Behälter leer, und es wird ein Führungsgrößensprung $h_{soll}(t) = h_0 \cdot \sigma(t)$ mit $h_0 = const. > 0$ aufgeschaltet. Wird der Regelkreis mit P-Regler stationär genau sein, wenn $q_{ab} = 0$ ist (Behälter ohne Loch)? Begründen Sie Ihre Antwort.

   Hinweis: *„Stationär genau" bedeutet, dass für die Regeldifferenz gilt:*

   $$\lim_{t\to\infty} (h_{soll}(t) - h(t)) = 0$$

6. Zum Zeitpunkt $t = 0$ sei der Behälter leer, und es wird ein Führungsgrößensprung $h_{soll}(t) = h_0 \cdot \sigma(t)$ mit $h_0 = const. > 0$ aufgeschaltet. Wird der Regelkreis mit P-Regler stationär genau sein, wenn $q_{ab} > 0$ ist (Behälter mit Loch)? Begründen Sie auch hierfür Ihre Antwort.

Laborversuche

Der Behälter soll bei allen folgenden Aufgaben eine kreisförmige Querschnittsfläche A mit einem Durchmesser von 17 cm haben.

Aufgabe 1 - Behälter ohne Wasserablauf

a) (1) Erstellen Sie ein Simulink-Modell der Regelstrecke, wenn $q_{ab} = 0$ ist (Behälter ohne Loch).

   (2) Modellieren Sie den geschlossenen Regelkreis mit einem P-Regler. Die Reglerverstärkung wird im Folgenden mit K_R bezeichnet.

b) (1) Geben Sie einen Führungsgrößensprung von 0 auf 10 cm vor und studieren Sie das Verhalten des geschlossenen Regelkreises für 5 verschiedene Reglerverstärkungen.
   Nehmen Sie dabei realistische Reglerverstärkungen an, so dass der Zufluss q_{zu} niemals größer als $1{,}0\,\frac{\text{l}}{\text{s}}$ (eins Komma null Liter pro Sekunde) wird.
   Sie müssten beim Zusammenhang zwischen Führungs- und Regelgröße das Verhalten eines Tiefpasses erster Ordnung feststellen können.

   (2) Stellen Sie pro Reglerverstärkung die Führungs-, Regel- und Stellgröße in <u>einem</u> Diagramm dar.
   Wählen Sie die Achsenskalierung so, dass alle Kurvenverläufe gut ablesbar sind.

Wählen Sie darüber hinaus das Zeitintervall so, dass die Zeitkonstante T jeweils gut abgelesen werden kann.

(3) Geben Sie zu den 5 von Ihnen gewählten Werten der Reglerverstärkung die jeweilige Zeitkonstante des geschlossenen Regelkreises in Tabellenform an.

Aufgabe 2 - Behälter mit Wasserablauf

Nun wird der Fall des Behälter mit Loch betrachtet. Vereinfachend soll zunächst angenommen werden, dass der Abfluss proportional zur Füllhöhe ist, also:

$$q_{ab}(t) = c \cdot h(t) \qquad \text{mit } c = 3{,}0\,\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{s\,m}}$$

a) (1) Modellieren Sie den geschlossenen Regelkreis wiederum mit einem P-Regler und nehmen Sie die gleichen Verstärkungen wie in Aufgabe 1b).

Tipp: *Der Regelkreis bzw. die Regelstrecke aus Aufgabe 1 - Behälter ohne Wasserablauf muss nur um 2 Blöcke erweitert werden.*

(2) Geben Sie zu den von Ihnen gewählten Werten der Reglerverstärkung K_R die jeweilige stationäre Regelabweichung in % wiederum in Tabellenform an.

b) Stationäre Genauigkeit erhält man durch Einsatz eines PI-Reglers.

Der PI-Regler wurde in der Vorlesung noch nicht behandelt, daher der folgende

Hinweis: *Ein PI-Regler wird allgemein durch folgende Gleichung beschrieben:*

$$u(t) = K_R \cdot \left(e(t) + \frac{1}{T_N} \int e(t)dt \right).$$

Infos bezüglich der Bedeutung der Größen u und e finden Sie im Regelungstechnik-Skript von Prof. Dr. Keller im Unterkapitel „Regelung“.
Neben der Reglerverstärkung K_R gibt es nun einen zweiten Parameter T_N (genannt: „Nachstellzeit“), der das Gewicht des I-Anteils bestimmt. Beachten Sie, dass dieses Gewicht (also der Faktor $\frac{1}{T_N}$ vor dem Integral) umso größer wird, je kleiner T_N ist. T_N ist genau wie K_R niemals negativ.

(1) Wählen Sie nun aus Ihrer Liste der K_R-Werte einen festen Wert aus.

(2) Fügen Sie dann den I-Anteil im Regler dazu und variieren Sie die Nachstellzeit.

(3) Für welche Werte der Nachstellzeit T_N gibt es einen Überschwinger in der Sprungantwort des Regelkreises? Bitte ermitteln Sie das Werteintervall möglichst exakt.

c) Die Beziehung $q_{ab}(t) = c \cdot h(t)$ beschreibt die physikalische Wirklichkeit nicht exakt. Eine genauere Modellierung erfolgt mit dem Ausflussgesetz von Torricelli, wonach folgender Zusammenhang gilt:

$$q_{ab}(t) = k \cdot \sqrt{h(t)}$$

(1) Bestimmen Sie die Konstante k so, dass sich für eine Füllhöhe von 5 cm ein Abfluss von $q_{ab} = 0{,}3\,\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{s}}$ ergibt.

(2) Modifizieren Sie den Regelkreis, indem Sie die Formel von Torricelli einbauen. Verwenden Sie für k Ihren in Aufgabenteil (1) errechneten Wert.

(3) Simulieren Sie den Regelkreis mit den Reglerparametern des zuletzt eingestellten PI-Reglers; d.h. T_N sollte so wie in Aufgabenteil b) eingestellt sein, dass es gerade keine Überschwinger gab.

(4) Was beobachten Sie nun hinsichtlich stationärer Genauigkeit, Dynamik und Überschwingern?