

# Regelung einer Luft-Temperatur-Regelstrecke



Abbildung 1: Versuchsaufbau

## 1 Einleitung

In diesem Versuch soll die Temperatur eines Heißluftgebläses geregelt werden. Da das System eine Totzeit besitzt, sollen zwei Regler entworfen werden, die diese Totzeit berücksichtigen. Es soll ein PID-Regler erweitert um einen Smith-Prädiktor entworfen werden. Alternativ wird ausserdem die Totzeit der Strecke durch einen Allpass (Padé-Approximation) approximiert und mittels Polvorgabe ein Regler entworfen. Es soll anschließend das Führungsverhalten beider Regler mit und ohne Unsicherheiten in der Totzeit verglichen werden.

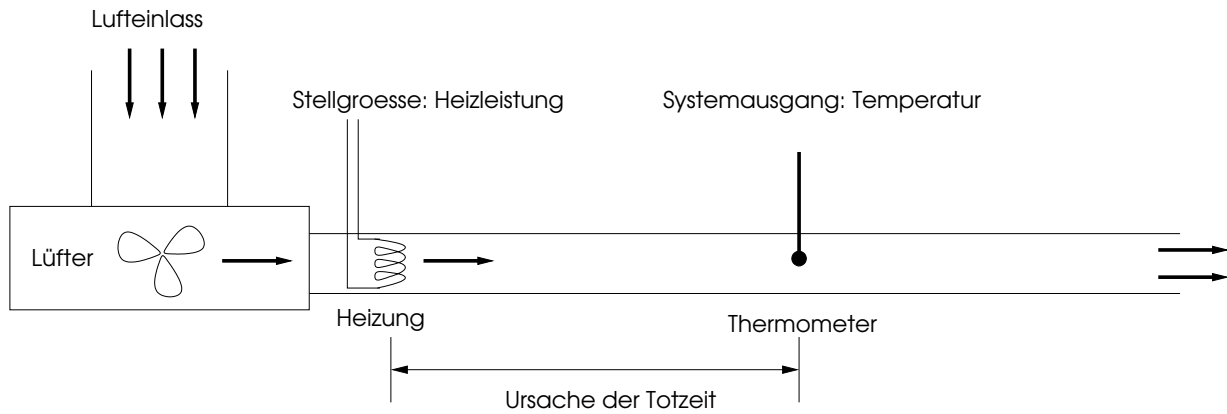


Abbildung 2: Versuchsaufbau

## 2 Grundlagen

Es soll eine Temperaturregelung für ein Heissluftgebläse entworfen werden (Siehe Abb 2), bei dem ein Lüfter auf einer konstanten Drehzahl läuft, sodass ein konstanter Luftstrom angenommen werden kann. Die Einstellung der Lufttemperatur erfolgt dabei durch eine als kontinuierlich anzunehmende Ansteuerung der Heizleistung. Die Regelgröße ist die Temperatur des Luftstroms an einer bestimmten Stelle des Gebläses. Als Rückführung wird hierfür ein Thermometer in den Luftstrom eingebracht, welches allerdings in einem größeren Abstand zur Heizung angebracht ist. Aufgrund der Laufzeit der Strömung kommt es hierbei zu einer zeitlichen Verzögerung zwischen Stell- und Ausgangssignal, welche beim Reglerentwurf berücksichtigt werden muss.

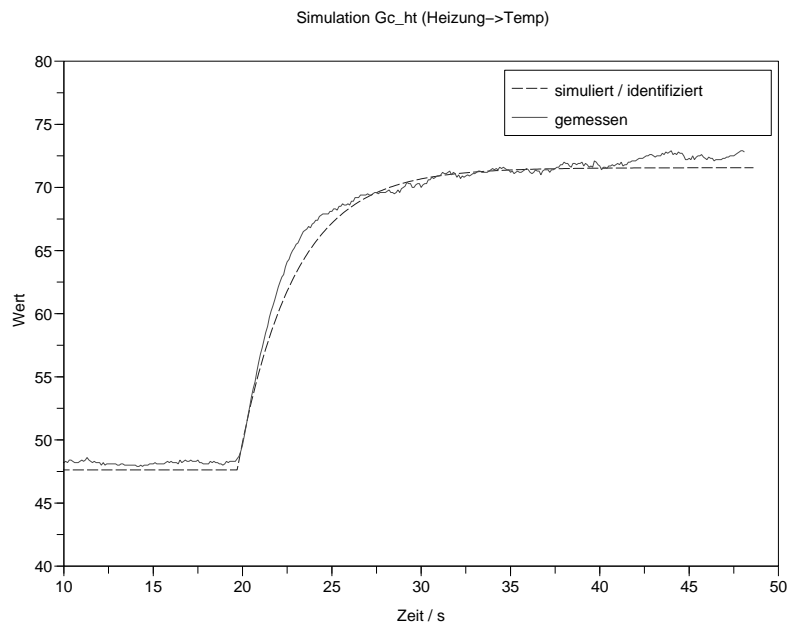


Abbildung 3: Identifikation durch Sprungantwort

Die Strecke soll in den Arbeitspunkt  $(u_0, y_0)$  gebracht werden, was bedeutet dass in der Ruhelage ein konstantes Signal auf die Heizung gegeben werden muss, sodass sich eine konstante Temperatur einstellt. Der Regler mit der vorgegebenen Referenz arbeitet dann mit den Abweichungen vom Arbeitspunkt. Die Dynamik des Systems wird als PT2-Glied angenommen, dessen Parameter durch Auswertung einer aufgenommenen Sprungantwort (Abb. 3) bestimmt werden können. Mit der Totzeit zusammen erhält man somit folgendes Modell der Strecke:

$$G(s) = \frac{\Delta y(s)}{\Delta u(s)} = \frac{V_0}{(s - s_{\infty 1})(s - s_{\infty 2})} e^{-sT_d}.$$

Des weiteren sind noch die Stellgrößenbeschränkungen zu beachten: Das Stellsignal (nicht Abweichung vom AP!) liegt hierbei im Bereich  $u \in [0..99]$ .

Da die Darstellung des Systems durch ein PT2-Glied nur approximativ ist, wird für zuverlässigere Simulationen ein Modell höherer Ordnung in Scicos verwendet. Dieses können Sie sich von der Webseite der Veranstaltung herunterladen.

Die Parameter des Systems lauten:

Konstanter Faktor	$V_0 = 2.259$
1. Polstelle	$s_{\infty} = -0.29 \frac{1}{s}$
2. Polstelle	$s_{\infty} = -3.12 \frac{1}{s}$
Totzeit	$T_d = 0.4s$
Arbeitspunkt Stellgröße	$u_0 = 10$
Arbeitspunkt Ausgang	$y_0 = 43^{\circ}C$

### 3 Reglerentwurf

#### 3.1 PID-Regler

Entwerfen Sie für das totzeitfreie System

$$\tilde{G}(s) = \frac{V_0}{(s - s_{\infty 1})(s - s_{\infty 2})}$$

einen (realen) PID-Regler  $K_{PID}$ , indem sie beide Polstellen der Strecke kürzen. Die übrigen Parameter sollen so bestimmt werden, dass die Dynamik des Führungsverhaltens des resultierenden Regelkreises mit dem des folgenden Polpaars übereinstimmt:

$$P(s) = \frac{1}{\frac{s^2}{\omega^2} + s\frac{2d}{\omega} + 1}, \quad \text{mit } d = 1 \text{ und } \omega = 2\pi \cdot 0.3\text{Hz}$$

Der Regelkreis soll also relativ schnell sein, jedoch ohne dass dabei Überschwingen auftritt.

### 3.2 Padé-Approximation

Approximieren Sie den Term  $e^{-sT_d}$ , welcher für die Totzeit verantwortlich ist, mithilfe einer Padé-Approximation erster Ordnung durch eine gebrochen-rationale Funktion und stellen Sie das approximierte Streckenmodell  $\hat{G}$  auf, indem Sie die Totzeit in  $G$  durch ihre Approximation ersetzen.

### 3.3 Reglerentwurf für die Strecke $\hat{G}$

Es soll ein Regler für das approximierte Streckenmodell  $\hat{G}$  mittels Polvorgabe entworfen werden, der folgende Eigenschaften des geschlossenen Kreises ermöglicht:

- kein Überschwingen der Regelgröße bei sprungförmigen Führungs- oder Störsignalen
  - ungefähr gleiche Anstiegszeit der Regelgröße wie bei der Verwendung des PID-Regler aus 3.1
  - Regelfehler  $\rightarrow 0$  für  $t \rightarrow \infty$  unter sprungförmigen Referenzen
1. Stellen Sie den Regleransatz mit kleinstmöglicher Nennerordnung und Integratoranteil auf. Wie viele Pole müssen Sie vorgeben?
  2. Stellen Sie das Sollpolpolynom auf; verwenden sie hierzu die Pole des Polpaares aus Aufgabe 3.1 und die Pole der Strecke  $\hat{G}$ , wählen sie einen weiteren Pol bei ( $s_\infty = -2$ ).
  3. Stellen Sie die Sylvester Matrix durch Koeffizientenvergleich des Polpolynoms des geschlossenen Kreises mit Ihrem Sollpolpolynom auf und berechnen sie die Reglerparameter mithilfe von Scilab.

Hinweis: Verwenden sie den Regleransatz  $K(s) = \frac{\beta_0 + \beta_1 s + \beta_2 s^2 + \beta_3 s^3}{s(\alpha_0 + \alpha_1 s + s^2)}$ .

### 3.4 Smith-Prädiktor

Entwerfen Sie für die totzeitbehaftete Strecke einen Smith-Prädiktor unter Verwendung des Reglers aus 3.1.

Hinweis: Verwenden Sie (unter anderem) den Block „Continuous fix delay“! Nähern Sie die Totzeit in der Rückführung des Smith-Prädiktors nicht durch eine Padé-Approximation an!

## 4 Simulation

1. Simulieren Sie den PID Regler zunächst ohne Totzeit mit einem Führungssprung der Amplitude  $+30^{\circ}\text{C}$  mit dem idealen PT2-Modell! Fügen Sie dem Modell solange größer werdende Totzeiten ( $T_d = 0.4, 0.8, \dots$ ) hinzu, bis der Regelkreis instabil wird! Beschreiben Sie kurz, welchen Einfluss die Totzeit auf das Regelkreisverhalten hat!
2. Simulieren Sie den Regelkreis mit PID-Regler (ab hier immer mit Totzeit und dem vorgegebenen Scicos-Modell von der Webseite) unter einer sprungförmigen Referenz der Amplitude  $+30^{\circ}\text{C}$ ! Kommentieren Sie kurz Ihre Beobachtungen!
3. Implementieren Sie ihren Smith-Prädiktor und simulieren Sie erneut! Was ändert sich, was bleibt gleich?
4. Implementieren Sie nun auch den Regler auf Basis der Padé-Approximation und simulieren Sie einen Führungssprung  $+30^{\circ}\text{C}$ ! Wie ist die Regelgüte im Vergleich zum PID-Regler mit Smith-Prädiktor?
5. Erproben sie nun einen Störfall: Erhöhen Sie die Totzeit (nur die des Modells, die Regler bleiben die gleichen) auf  $T_d = 0.7\text{s}$  und simulieren Sie erneut das Führungsverhalten beider Regelkreise! Kommentieren Sie kurz das Ergebnis!

## 5 Durchführung

1. Ermitteln Sie die Temperatur, die sich bei einer Heizleistung von 10 einstellt und verwenden Sie diese als Arbeitspunkttemperatur!
2. Implementieren Sie den PID-Regler (zunächst ohne Smith-Prädiktor) am Versuchsstand und führen Sie einen Führungssprung um  $+30^{\circ}\text{C}$  aus! Die Stellgrößen als auch die Temperatur sind jeweils für jeden Versuch aufzuzeichnen.
3. Fügen Sie nun den Smith-Prädiktor hinzu und starten Sie wiederum das Experiment!
4. Erproben Sie ebenfalls den Regler auf Approximationsbasis!
5. Vergleichen Sie ihre Messergebnisse untereinander und mit den Simulationen!