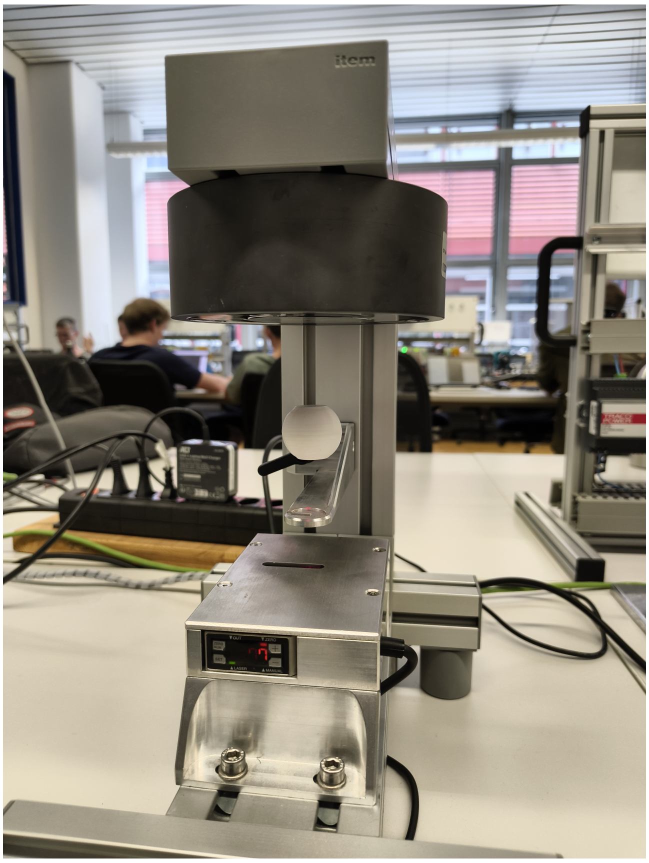
# Hochschule Luzern

Technik und Architektur



# RT+L

Magnetische Aufhängung

Laborbericht

Authoren:
Luzian Raphael Aufdenblatten & Julian Bischof

Luzern, 5. September 2025

# Inhaltsverzeichnis

**1 Problemstellung** **1**
1.1 Aufgabe 1 . . . . . 1
1.2 Aufgabe 2 . . . . . 1

**2 Modellierung** **2**
2.1 Aufgabe 3 . . . . . 2
2.2 Aufgabe 4 . . . . . 2
2.3 Aufgabe 5 . . . . . 3
2.4 Aufgabe 6 . . . . . 4
2.5 Aufgabe 7 . . . . . 4
2.6 Aufgabe 8 . . . . . 4
2.7 Aufgabe 9 . . . . . 5

# 1 | Problemstellung

## 1.1 Aufgabe 1

### Blockschaltbild des geregelten Systems

Das Blockschaltbild des geschlossenen Regelkreises ist in Abbildung 1.1 ersichtlich. Hierbei wird die Stecke wie auch das Stellglied in $P$ zusammengefasst. $S$ bezeichnet dabei die Totzeit und den Fehler der durch den Laserdistanzmesser in das System eingeführt wird.

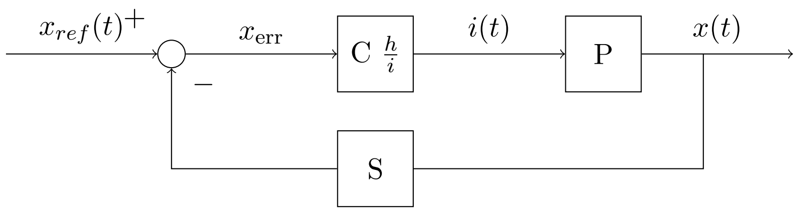



Abbildung 1.1: Geschlossener Regelkreis

## 1.2 Aufgabe 2

### Blockschaltbild des geregelten Systems mit Vorsteuerung

Das Blockschaltbild aus Abschnitt 1.1 wird in Abbildung 1.2 um eine Vorsteuerung $FF$ erweitert.

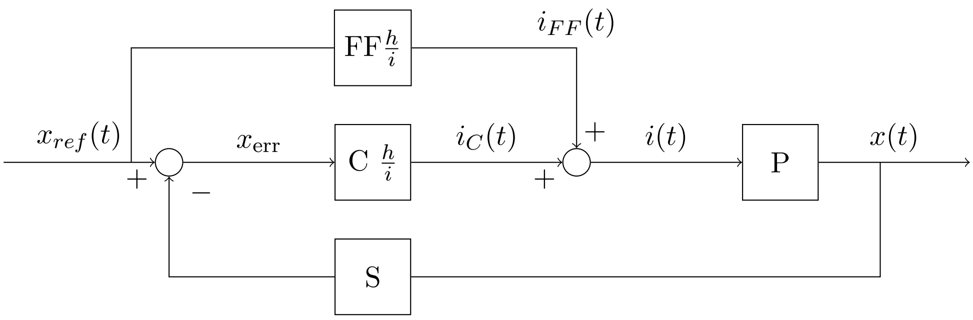



Abbildung 1.2: Geschlossener Regelkreis erweitert mit einer Vorsteuerung

# 2 | Modellierung

## 2.1 Aufgabe 3

### Bewegungsdifferentialgleichung

Aus der gegebenen Bewegungsdifferentialgleichung und der, mittels eines Polynoms dritten Grades approximierten, statischen Kennlinie $i_o(x) = a_i + b_i x + c_i x^2 + d_i x^3$ ergibt sich für die Bewegungsdifferentialgleichung 2.1.

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= g - g \cdot \frac{i^2}{i_0^2(x)} \\ \ddot{x} &= g - g \cdot \frac{i^2}{(a_i + b_i x + c_i x^2 + d_i x^3)^2} \end{aligned} \tag{2.1}$$

## 2.2 Aufgabe 4

### Linearisierung

Zur Linearisierung der Bewegungsdifferentialgleichung wird folgende Struktur der linearisierten Differentialgleichung eingesetzt:

$$\Delta\ddot{x} = k_x \Delta x + k_i \Delta i + k_s \Delta F_s \tag{2.2}$$

Die Faktoren $k_x$, $k_i$ und $k_s$ werden aus Gleichung 2.1 in einem Arbeitspunkt $x_o$ und $\bar{i}$ bestimmt. Dazu wird Gleichung 2.1 jeweils nach $\delta x$, $\delta i$ und $\delta F_s$ abgeleitet. Da für den Versuch die Störkraft $F_s = 0$ angenommen wird, muss $k_s$ nocht ermittelt werden.

$$\begin{aligned} k_x &= \frac{\delta}{\delta x}\left(g - g\frac{i^2}{(a_i + b_i x + c_i x^2 + d_i x^3)^2}\right)\Bigg|_{x_0,\bar{i}} \\ &= \frac{\delta}{\delta x}\frac{-gi^2}{(a_i + b_i x + c_i x^2 + d_i x^3)^2}\Bigg|_{x_0,\bar{i}} \\ &= \frac{2g\bar{i}^2(3d_i x_0^2 + 2c_i x_0 + b)}{(d_i x_0^3 + c_i x_0^2 + b_i x_0 + a)^3} \end{aligned} \tag{2.3}$$

$$
\begin{aligned}
k_i &= \frac{\delta}{\delta i}\left(g - g\frac{i^2}{(a_i + b_i x + c_i x^2 + d_i x^3)^2}\right)\Bigg|_{x_0,\bar{i}} \\
&= \frac{\delta}{\delta i}\frac{-gi^2}{(a_i + b_i x + c_i x^2 + d_i x^3)^2}\Bigg|_{x_0,\bar{i}} \\
&= \frac{-2g\bar{i}}{(a_i + b_i x_0 + c_i x_0^2 + d_i x_0^3)^2} \qquad (2.4)
\end{aligned}
$$

Werden nun Gleichung 2.3 und 2.4 in Gleichung 2.2 eingesetzt ergibt sich:

$$
\Delta\ddot{x} = \frac{2g\bar{i}^2(3d_i x_0^2 + 2c_i x_0 + b)}{(d_i x_0^3 + c_i x_0^2 + b_i x_0 + a)^3}\cdot\Delta x + \frac{-2g\bar{i}}{(a_i + b_i x_0 + c_i x_0^2 + d_i x_0^3)^2}\cdot\Delta i \qquad (2.5)
$$

## 2.3 Aufgabe 5

### Übertragungsfunktion $G_{\text{Strecke}}$

Um die Übertragungsfunktion der Prozesstrecke $G_{\text{Strecke}}$ zu finden, kann erneut Gleichung 2.2 bzw. Gleichung 2.5 genutzt werden.

$$
\begin{aligned}
\Delta\ddot{x} &= k_x\Delta x + k_i\Delta i \\
&\circ\!\!-\!\!\bullet \\
s^2\Delta X &= k_x\Delta X + k_i\Delta I \\
G_{\text{Strecke}}(s) &= \frac{\Delta X}{\Delta I} = \frac{k_i}{s^2 - kx} \\
G_{\text{Strecke}}(s) &= \frac{\frac{-2g\bar{i}}{(a_i+b_i x_0+c_i x_0^2+d_i x_0^3)^2}}{s^2 - \frac{2g\bar{i}^2(3d_i x_0^2+2c_i x_0+b)}{(d_i x_0^3+c_i x_0^2+b_i x_0+a)^3}} \qquad (2.6)
\end{aligned}
$$

## 2.4 Aufgabe 6

### Statische Vorsteuerung

Der Einsatz einer statischen Vorsteuerung besteht darin, dass kein Regelfehler $e(t)$ nötig ist und somit nicht auf die Rückmeldung des Sensors gewartet werden muss. Die Regelung wird schneller.

## 2.5 Aufgabe 7

### Statische Vorsteuerung

Die statischen Vorsteuerungen $V_{\mathrm{L}}$ und $V_{\mathrm{NL}}$ ergeben sich aus $G^{-1}_{\mathrm{Strecke}}(s)$ wie folgt:

$$\begin{aligned} V_{\mathrm{L}} &= G^{-1}_{\mathrm{Strecke}}(s)\Big|_{s=0} = \left.\frac{s^2 - kx}{k_i}\right|_{s=0} \\ V_{\mathrm{L}} &= \frac{-kx}{k_i} \end{aligned} \tag{2.7}$$

Für die non-lineare Vorsteuerung $V_{\mathrm{NL}}$ gilt kann das Polynom aus Abschnitt 2.1 genutzt werden.

## 2.6 Aufgabe 8

### Übertragungsfunktion $G_{\mathrm{Stell}}$

Mit der gegebenen Differentialgleichung des Stellglieds $u = Ri + L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ kann die Übertragungsfunktion des Stellglieds $G_{\mathrm{Stell}}$ wie folgt gefunden werden:

$$\begin{aligned} u &= Ri + L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \\ &\circ\!\!-\!\!\bullet \\ U &= RI + sLI \\ G_{\mathrm{Stell}}(s) = \frac{I}{U} &= \frac{1}{R + Ls} = \frac{1}{1 + \frac{L}{R}s} \end{aligned} \tag{2.8}$$

## 2.7 Aufgabe 9

**Nachstellzeit $T_i$ des Stellgliedreglers**