



# Fachhochschule Aachen

## Campus Jülich

Fachbereich 10: Energietechnik

Electrical Engineering (AOS)  
Labor Netzbetrieb - SRDS

**Titel der Hausarbeit:** Auslegung einer Temperaturregelung für  
einen Wärmetauscher

Hausarbeit von	Zi Qian Lee	3305322
	Mohammad Pourmohsen	3292340
	Alp Cetin	3303020

Jülich, Januar, 2024

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>I</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>II</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>III</b>
<b>1    SYSTEM- UND PROBLEMBESCHREIBUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2    SYSTEMANALYSE .....</b>	<b>3</b>
2.1    WIRKUNGSPLAN UND GROBANALYSE .....	3
2.2    DIFFERENZIALGLEICHUNGEN UND LINEARISIERUNG.....	5
2.3    ZUSTANDSRAUMMODELL .....	6
2.4    POLSTELLEN UND SPRUNGANTWORTEN .....	8
<b>3    REGLERSTRUKTURFESTLEGUNG.....</b>	<b>9</b>
3.1    ZUSTANDSRAUMREGLER.....	9
3.2    BEOBACHTER .....	10
3.3    BERÜCKSICHTIGUNG DER STÖRGRÖßEN .....	12
3.4    REGLERAUSWAHL .....	14
<b>4    REGLERPARAMETERBERECHNUNG.....</b>	<b>15</b>
4.1    BESTIMMUNG DER MINIMALEN DÄMPFUNG UND MAXIMALEN ZEITKONSTANTE.....	15
4.2    POLPLATZIERUNG (POLE-PLACEMENT).....	17
4.3    MATRIX-RICCATI-REGLER.....	18
4.4    LUENBERGER-BEOBACHTER .....	20
4.5    KALMAN-BUCY-FILTER .....	22
<b>5    REGLERVERHALTENSBEWERTUNG UND FEINTUNING .....</b>	<b>24</b>
<b>ANHANG.....</b>	<b>27</b>
A.    MATLAB CODE .....	27
B.    SIMULINKMODELL MIT BESCHREIBUNG.....	39
C.    GANNT .....	55
D.    LOP.....	55

# Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: SYSTEMSKIZZE.....	1
ABBILDUNG 2: GROBANALYSE .....	3
ABBILDUNG 3: WIRKUNGSPLAN DES OHNE REGLER OFFENEN REGELKREISES .....	4
ABBILDUNG 4: DAS SYSTEM IN ZUSTANDSRAUM-DARSTELLUNG .....	7
ABBILDUNG 5: POL-NULLSTELLEN PLAN .....	8
ABBILDUNG 6: SPRUNGANTWORT .....	8
ABBILDUNG 7: SCHALTPLAN GRK MIT ZUSTANDSRAUMREGLER.....	9
ABBILDUNG 8: SYSTEMVERHALTEN MIT ZUSTANDSRAUMREGLER.....	9
ABBILDUNG 9: SCHALTPLAN GRK MIT BEOBACHTER.....	10
ABBILDUNG 10: DIFFERENZ DER ZUSTANDSGRÖßEN AUS REGELKREIS UND BEOBACHTERKREIS ( $x$ UND $\hat{x}$ ).....	11
ABBILDUNG 11: AUSGANGSGRÖßEN AUS REGELKREIS UND BEOBACHTERKREIS ( $y$ UND $\hat{y}$ ).....	11
ABBILDUNG 12: SCHALTPLAN GRK FÜR STÖRGRÖßENKOMPENSATION .....	12
ABBILDUNG 13: SCHALTPLAN GRK MIT PI-ZUSTANDSRAUMREGLER.....	13
ABBILDUNG 14: DIFFERENZ DER ZUSTANDSGRÖßEN AUS REGELKREIS UND BEOBACHTERKREIS ( $x$ UND $\hat{x}$ ) UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON STÖRGRÖßEN.....	14
ABBILDUNG 15: AUSGANGSGRÖßEN AUS REGELKREIS UND BEOBACHTERKREIS ( $y$ UND $\hat{y}$ ) MIT PI-REGLER ....	14
ABBILDUNG 16: BESTIMMUNG VON $D_{MIN}$ .....	15
ABBILDUNG 17: BESTIMMUNG VON $T_{MAX}$ .....	16
ABBILDUNG 18: RESULTIERENDE KURVE VON $T_{MAX}$ UND $D_{MIN}$ .....	16
ABBILDUNG 19: SCHALTPLAN POLPLATZIERUNG .....	17
ABBILDUNG 20: POLPLATZIERUNG MIT UNTERSCHIEDLICHEM BETRAG VON $D$ UND $T$ .....	18
ABBILDUNG 21: SCHALTPLAN MATRIX-RICCATI-REGLER .....	19
ABBILDUNG 22: MATRIX-RICCATI-REGLER MIT UNTERSCHIEDLICHER $Q$ -MATRIX .....	19
ABBILDUNG 23: SCHALTPLAN LUENBERGER-BEOBACHTER.....	20
ABBILDUNG 24: DIAGRAMM ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZ ZWISCHEN DEN ZUSTANDSGRÖßEN LUENBERGER-BEOBACHTER .....	21
ABBILDUNG 25: RÜCKFÜHR-SIGNAL FÜR DEN BEOBACHTER.....	21
ABBILDUNG 26: SCHALTPLAN KALMAN-BUCY-FILTER.....	22
ABBILDUNG 27: RÜCKFÜHR-SIGNAL FÜR DAS KALMAN-BUCY-FILTER .....	23
ABBILDUNG 28: VERLAUF DER REGELGRÖßE MIT KALMAN-BUCY .....	23
ABBILDUNG 29: SCHALTPLAN GRK MIT DEM NICHTLINEAREN SUBSYSTEM .....	24
ABBILDUNG 30: NICHTLINEARES SUBSYSTEM.....	24
ABBILDUNG 31: VERLAUF DER VERSCHIEDENEN ZUSTANDSGRÖßEN .....	25
ABBILDUNG 32: VERLAUF DER REGELGRÖßE NACH DEM FEINTUNING .....	26

# Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: SYSTEMPARAMETER.....	2
---------------------------------	---

# 1 System- und Problembeschreibung

Ein Wärmetauscher wird in diesem Praktikum untersucht. Das Ziel ist, dass die Austrittstemperatur  $\vartheta_a$  mithilfe von dem durch Heißdampf  $\dot{m}_D$  erhitzten Wasser mit dem Volumenstrom  $\dot{m}_W$  stabilisiert werden.  $\vartheta_a$  wird mittels eines Widerstandsthermometers Pt-100 mit Verzögerung erfasst. Der Widerstand des Pt-100 wird in eine entsprechende Spannung  $u_\vartheta$  umgewandelt und anschließend an die Vergleichsstelle übermittelt. Die Ausgangsspannung des ausgewählten Reglers  $u_y$  wird durch einen Spannungs-Druck-Wandler zeitverzögert in einen Druck  $p_y$  umgewandelt, der die Steuerung eines Pneumatikzylinders beeinflusst. Dieser Pneumatikzylinder bewegt einen Schieber um den Weg  $h$  in die Heißdampfleitung und reguliert dadurch die Zufuhr von Heißdampf durch Drosselung. Für eine detaillierte Darstellung ist das entsprechende Systemskizze hinzugefügt.

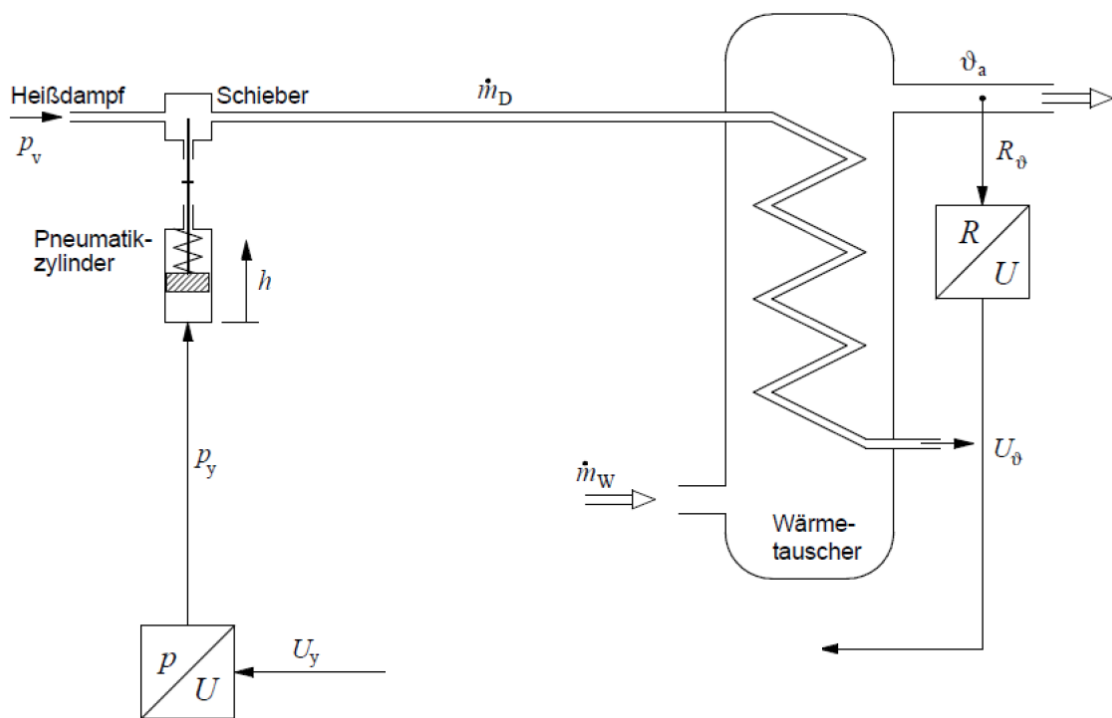


Abbildung 1: Systemskizze

$K_{R_\vartheta} = 1 \, \Omega/\text{K}$ $T_{R_\vartheta} = 1/250 \, \text{s}$	$K_R = 1/100 \, \text{V}/\Omega$	$K_y = 3/40 \, \text{bar}/\text{V}$ $T_y = 1/100 \, \text{s}$
$K_z = 2/100 \, \text{m}/\text{bar}$	$K_h = 1000 \, \text{m}^3/\text{min}/\text{m}$ $K_{p_v} = 1 \, \text{m}^3/\text{min}/\text{bar}$ $T_D = 1/2 \, \text{s}$	$K_D = 20 \, \text{K}/\text{m}^3/\text{min}$ $K_W = 1 \, \text{K}/1/\text{min}$ $T_{W_1} = 20 \, \text{s}$ $T_{W_2} = 50 \, \text{s}$

Tabelle 1: Systemparameter

## 2 Systemanalyse

### 2.1 Wirkungsplan und Grobanalyse

Um mit der Modellierung anzufangen, müssen die Ein- und Ausgangsgrößen des Systems bestimmt und dargestellt werden, die Grobanalyse ist das Mittel zur Erfüllung dieses Ziels.

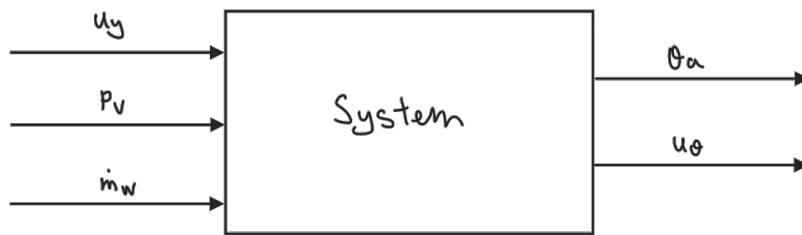


Abbildung 2: Grobanalyse

Dieses System hat 3 Eingangsgrößen, zwei davon sind hier als Störgrößen angenommen, nämlich Druck vom Heißdampf  $p_v$  und das Volumenstrom  $\dot{m}_w$ , die letzte Eingangsgröße des ohne Regler offenen Regelkreis ist  $U_y$  ist das Signal, das später in dem mit Regler geschlossenem Regelkreis vom Regler rauskommt.

Ziel ist die Temperatur dieses System zu regeln, deswegen ist es sinnvoll die erste Ausgangsgröße als  $\vartheta_a$  zu nehmen, in diesem Fall ist die Temperatur  $\vartheta_a$  auch die Regelgröße, die zweite Ausgangsgröße  $u_\vartheta$  dient zur Bereitstellung der Temperatur als einem Signal, das durch den Regler verarbeitet werden kann.

Der nächste Schritt ist der Wirkungsplan zu skizzieren, der Wirkungsplan wird zur graphischen Darstellung des Regelkreises genutzt, viele wichtige Informationen über das System sind durch den Wirkungsplan in Form von Verhältnisse des einzelnen Teils des System, die zugehörigen Zeitkonstanten und Verstärkungsfaktoren zur Verfügung.

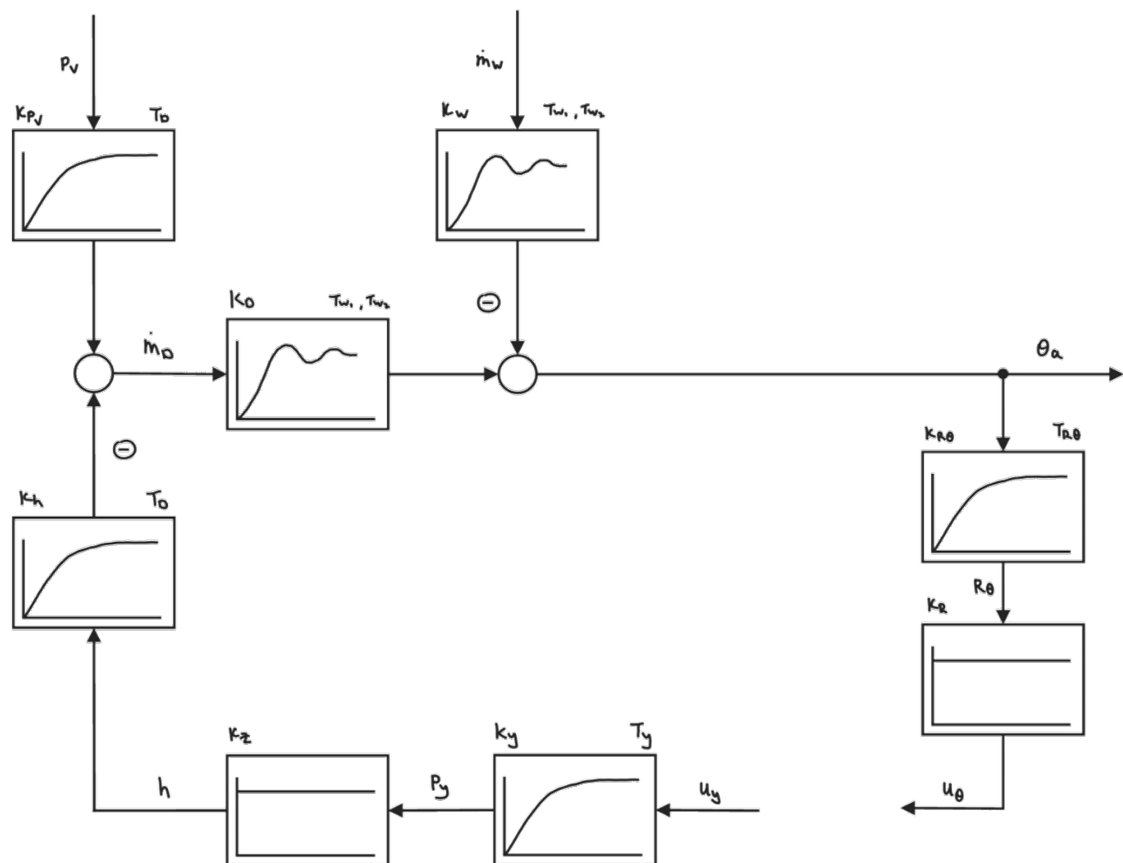


Abbildung 3: Wirkungsplan des ohne Regler offenen Regelkreises

Oben ist der Wirkungsplan des ohne Regler offenen Regelkreises dargestellt, später nach der Auswahl und Auslegung des Reglers wird dieser Regelkreis geschlossen.



## 2.2 Differenzialgleichungen und Linearisierung

Differenzialgleichungen ist die mathematische Sprache, um Verhältnisse des einzelnen Elements des Regelkreises zu erläutern.

**Spannung-Druck Wandler:**

$$T_y \cdot \dot{P}_y + P_y = K_y \cdot u_y$$

**Pneumatikzylinder:**

$$h = K_z \cdot P_y$$

**Heißdampfleitung und Schieber:**

$$T_D \cdot \dot{m}_D + \dot{m}_D = K_{PV} \cdot P_V - K_h \cdot h$$

**Wärmetauscher:**

$$T_{w_1} \cdot T_{w_2} \cdot \ddot{\vartheta}_a + (T_{w_1} + T_{w_2}) \cdot \dot{\vartheta}_a + \vartheta_a = K_D \cdot \dot{m}_D - K_w \cdot \dot{m}_w$$

**PT-100:**

$$T_{R_{\vartheta}} \cdot \dot{R}_{\vartheta} + R_{\vartheta} = K_{R_{\vartheta}} \cdot \vartheta_a$$

**Spannungsmessung:**

$$u_{\vartheta} = K_R \cdot R_{\vartheta}$$

## 2.3 Zustandsraummodell

Wegen der Komplexität des Regelkreises reicht das bisher genutzte Methoden zur Systemanalyse nicht aus, daher muss ein neues Modell benutzt werden, nämlich das Zustandsraummodell, dieses Modell basiert sich auf Vektoren und Matrizen.

Aus Umformung der Differenzialgleichungen in Form sind folgende Gleichungen aufgebaut, sie werden Zustandsgleichungen genannt:

$$\begin{aligned}\dot{P}_y &= \frac{K_y}{T_y} \cdot u_y - \frac{1}{T_y} \cdot P_y \\ \dot{m}_D &= -\frac{K_h}{T_D} \cdot h + \frac{K_{PV}}{T_D} \cdot P_V - \frac{1}{T_D} \cdot m_D \\ \dot{R}_\vartheta &= \frac{K_{R_\vartheta}}{T_{R_\vartheta}} \cdot \vartheta_a - \frac{1}{T_{R_\vartheta}} \cdot R_\vartheta\end{aligned}$$

Um aus den PT2 Verhalten zwei Zustandsgleichungen einzubilden, wird der Identitätsansatz verwendet:

$$\begin{aligned}\dot{\vartheta}_a &= \dot{\vartheta}_a \\ \ddot{\vartheta}_a &= -\frac{(T_{w_1} + T_{w_2})}{T_{w_1} \cdot T_{w_2}} \cdot \dot{\vartheta}_a - \frac{1}{T_{w_1} \cdot T_{w_2}} \cdot \vartheta_a + \frac{K_D}{T_{w_1} \cdot T_{w_2}} \cdot \dot{m}_D - \frac{K_w}{T_{w_1} \cdot T_{w_2}} \cdot \dot{m}_w\end{aligned}$$

Nun mit den umgeformten Differenzialgleichungen können die Ein- und Ausgangvektoren und Matrizen erstellt werden:

**Eingangsgleichung:**

$$\dot{x} = A \cdot x + B \cdot u$$

**Ausgangsgleichung:**

$$y = C \cdot x + D \cdot u$$

$$x = \begin{Bmatrix} P_y \\ \dot{m}_D \\ \vartheta_a \\ \dot{\vartheta}_a \\ R_\vartheta \end{Bmatrix} \quad \dot{x} = \begin{Bmatrix} \dot{P}_y \\ \dot{m}_D \\ \dot{\vartheta}_a \\ \ddot{\vartheta}_a \\ \dot{R}_\vartheta \end{Bmatrix} \quad u = \{u_y\} \quad z = \begin{Bmatrix} P_V \\ \dot{m}_w \end{Bmatrix} \quad y = \{\vartheta_a\} \quad y_R = \{u_\vartheta\}$$

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{1}{T_y} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{(K_h \cdot K_z)}{T_D} & -\frac{1}{T_D} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{K_D}{T_{w_1} \cdot T_{w_2}} & -\frac{1}{T_{w_1} \cdot T_{w_2}} & -\frac{(T_{w_1} + T_{w_2})}{T_{w_1} \cdot T_{w_2}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_{R\vartheta}}{T_{R\vartheta}} & 0 & -\frac{1}{T_{R\vartheta}} \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} \frac{K_y}{T_y} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$C = (0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad K_R)$$

$$D = 0$$

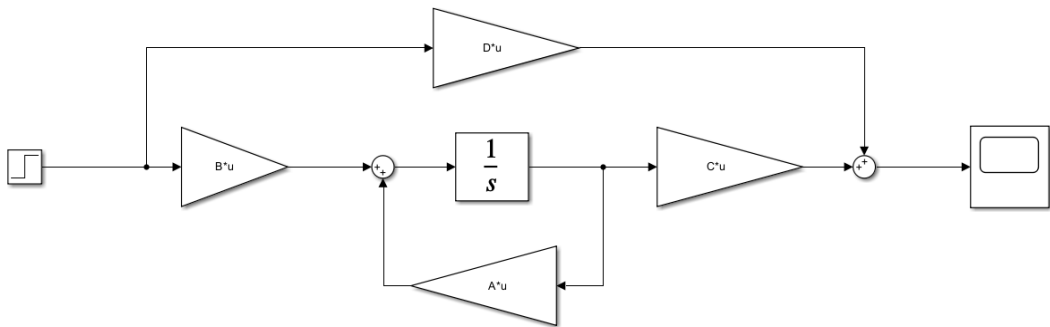


Abbildung 4: Das System in Zustandsraum-Darstellung

## 2.4 Polstellen und Sprungantworten

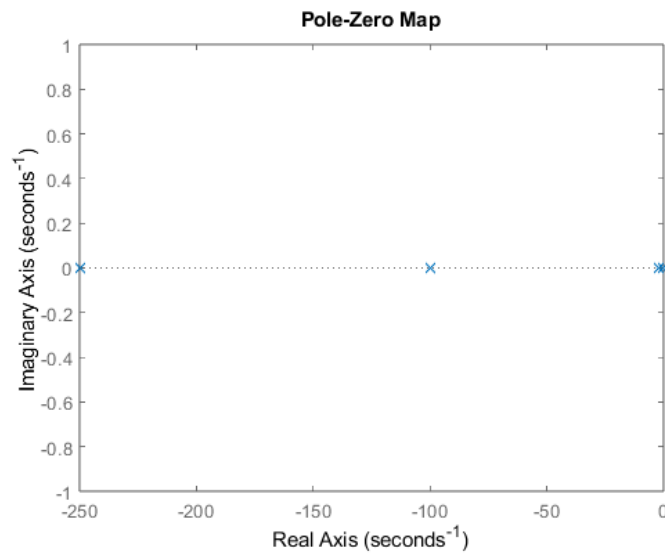


Abbildung 5: Pol-Nullstellen Plan

Alle Polstellen liegen links von der realen Achse. Das heißt, dass das System schon stabil ist. Im Vergleich mit den Eigenwerten sind die Polstellen gültig.

$$eig(A) = \begin{pmatrix} -250 \\ -0,05 \\ -0,02 \\ -2 \\ -100 \end{pmatrix}$$

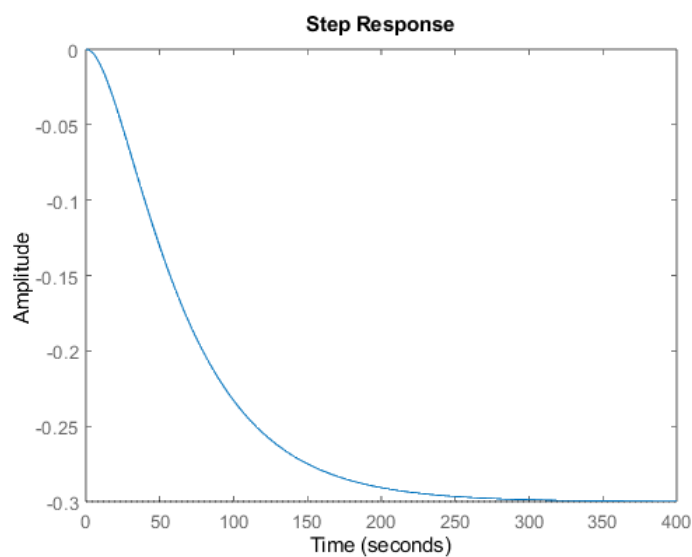


Abbildung 6: Sprungantwort

Da die Polstellen negativ sind, ist hier ein stabiles Verhalten von dem System erwartet.

## 3 Reglerstrukturfestlegung

### 3.1 Zustandsraumregler

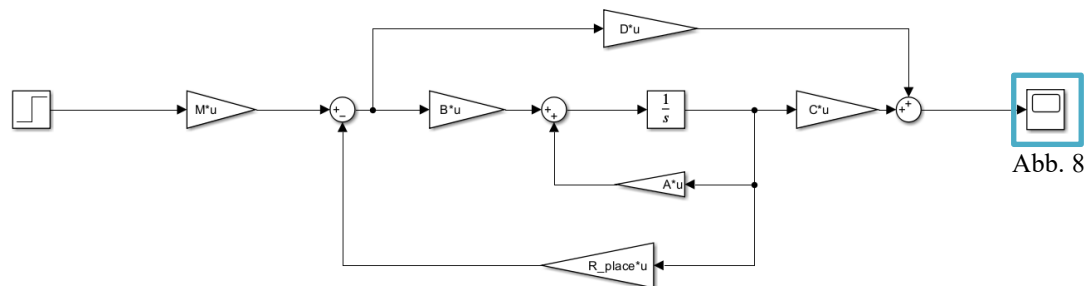


Abbildung 7: Schaltplan GRK mit Zustandsraumregler

Wegen der Verbindung von einem Regler in dem geschlossenen Regelkreis gibt es eine neue Systemmatrix  $\tilde{A} = A - BR$ , wenn  $u = -R \cdot x$ .

Reglermatrix  $R$  ist wie folgt in MATLAB berechnet:  $R\_place = place(A, B, P\_set)$ , wo  $P\_set$  hier die Sollpole sind. (hier  $P\_set = eig(A) - 1$ )

Vorfiltermatrix:  $M = (C \cdot (B \cdot R - A)^{-1} \cdot B)^{-1}$

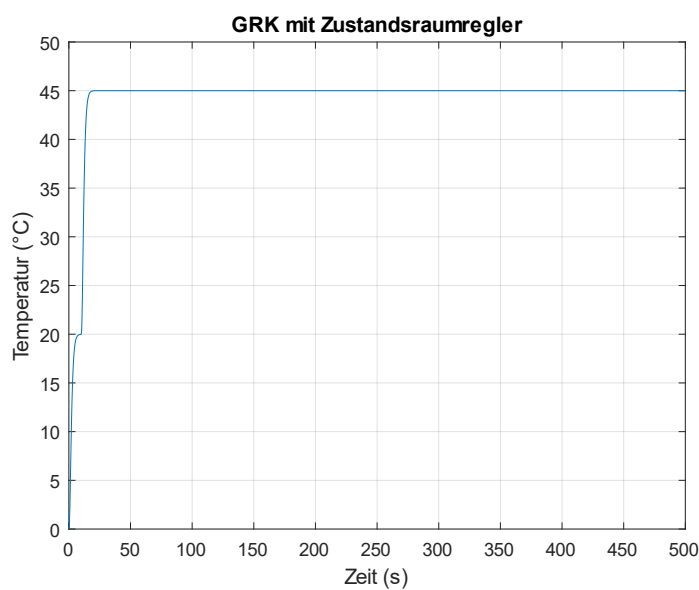


Abbildung 8: Systemverhalten mit Zustandsraumregler



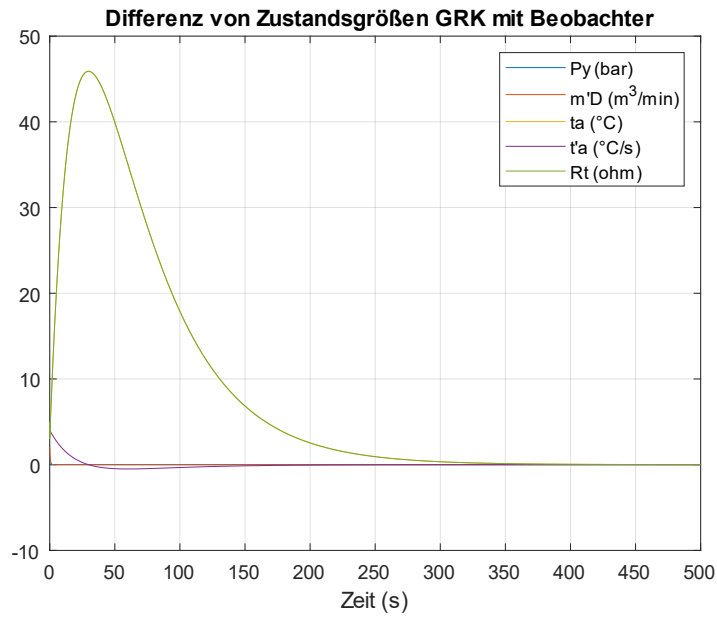


Abbildung 10: Differenz der Zustandsgrößen aus Regelkreis und Beobachterkreis ( $x$  und  $\hat{x}$ )

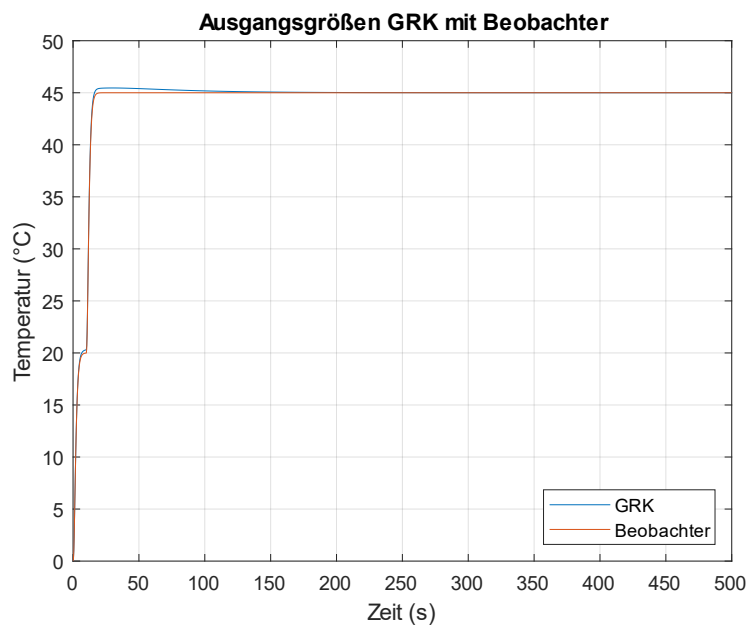


Abbildung 11: Ausgangsgrößen aus Regelkreis und Beobachterkreis ( $y$  und  $\hat{y}$ )

Alle Zustandsgrößen gehen zu null gegen unendlich und die Ausgangsgrößen sehen ähnlich aus. Die Auswirkung von dem Beobachter ist effektiv

### 3.3 Berücksichtigung der Störgrößen

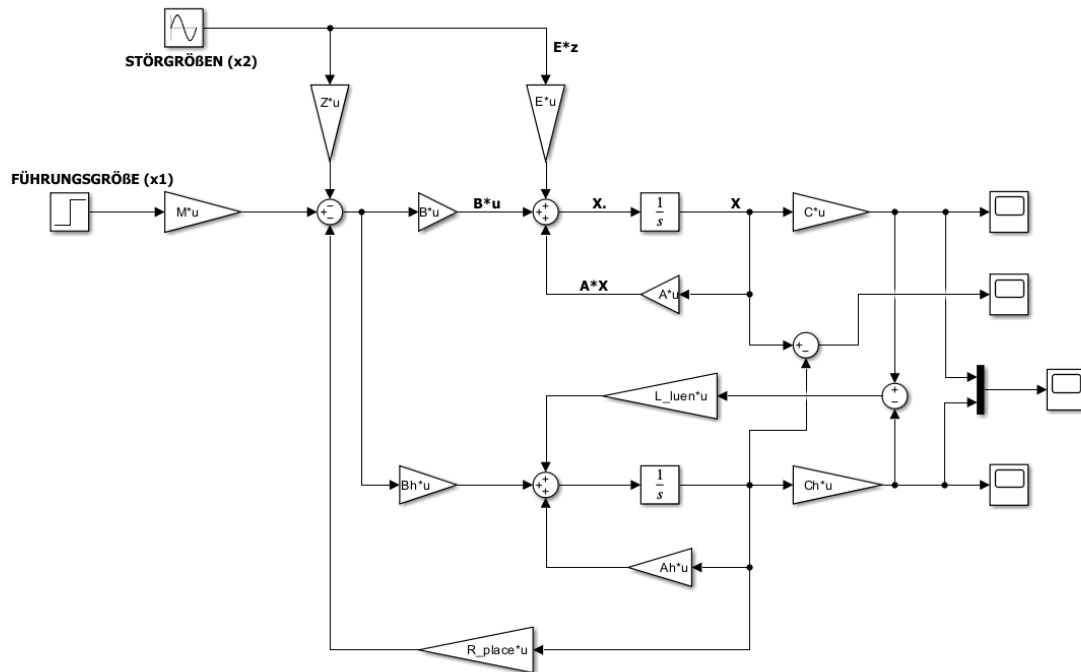


Abbildung 12: Schaltplan GRK für Störgrößenkompensation

Die Störgrößenmatrizen E und F lauten:

$$E = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ K_{pv} & 0 \\ T_D & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -\frac{K_W}{(T_{W1} \cdot T_{W2})} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$F = (0 \quad 0)$$

Bei Störgrößenkompensation ist die Matrix Z berechnet:  $Z = (B' \cdot B)^{-1} \cdot B' \cdot E$

Hier ergibt sich  $Z=0$ , d.h. Störgrößen keine direkte Auswirkung auf den Eingang haben und eine alternative Möglichkeit genutzt werden muss.



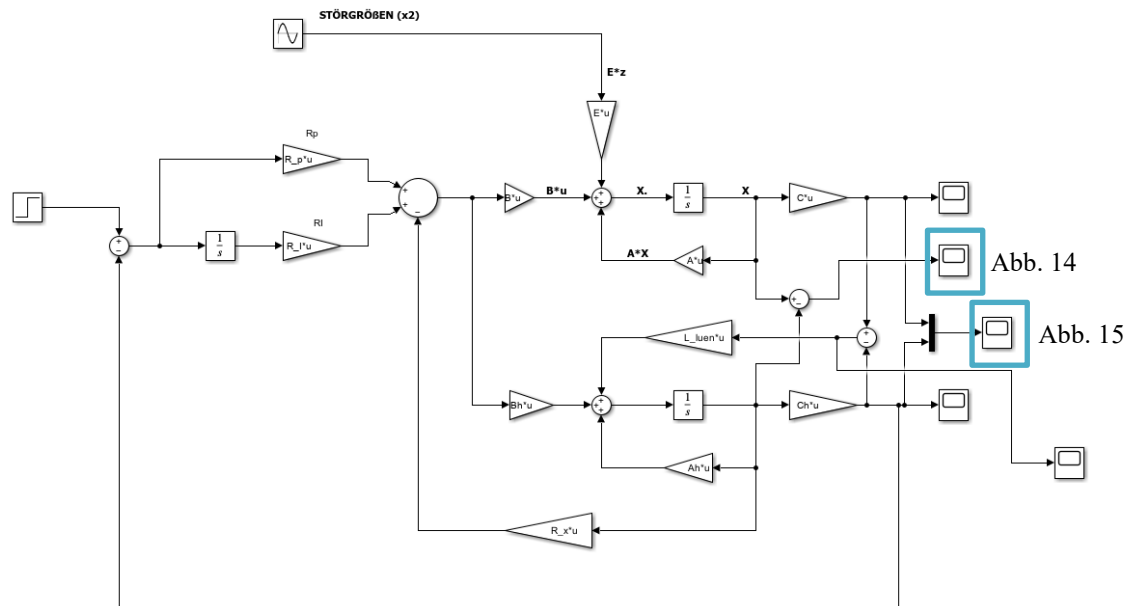


Abbildung 13: Schaltplan GRK mit PI-Zustandsraumregler

Ein PI-Zustandsregler wird hier verwendet. Der I-Anteil hier sorgt für bessere Stabilität des Systemverhaltens, auch unter dem Einfluss von Störgrößen.

Hier der Befehl zur Berechnung der Parameter für PI-Zustandsregler in MATLAB:

```
A_PI_real = [A zeros(5,1); -C_R 0];
B_PI_real = [B; 0];

P_set_PI = eig(A_PI_real) - 10;
R_place_PI = place(A_PI_real, B_PI_real, P_set_PI);

R_I = -R_place_PI(:, 6);
R_p = -(C_R * A_PI_real^(-1) * B_PI_real)^(-1);
R_x = R_place_PI(:, 1:5) - R_p * C_R;
```

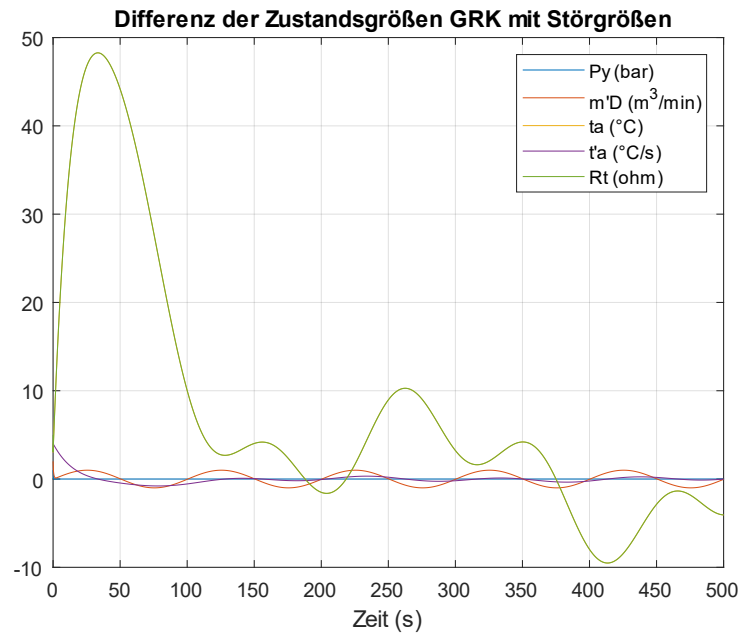


Abbildung 14: Differenz der Zustandsgrößen aus Regelkreis und Beobachterkreis ( $x$  und  $\hat{x}$ ) unter Berücksichtigung von Störgrößen

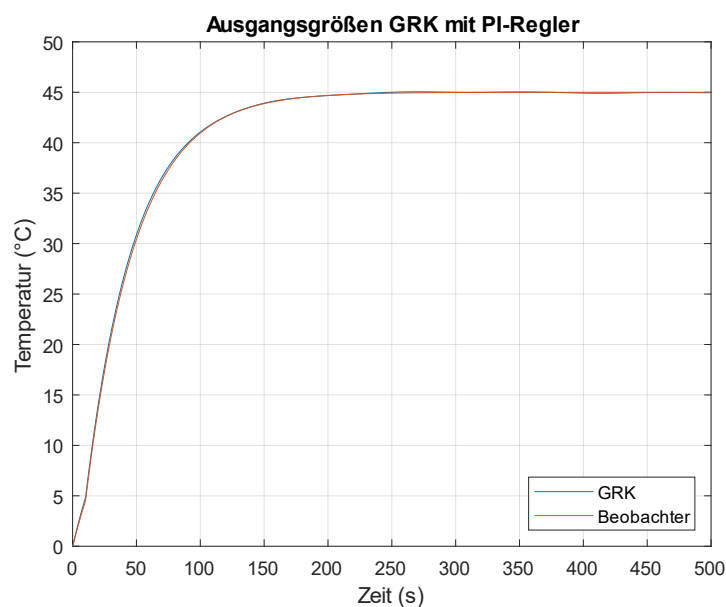


Abbildung 15: Ausgangsgrößen aus Regelkreis und Beobachterkreis ( $y$  und  $\hat{y}$ ) mit PI-Regler

### 3.4 Reglerauswahl

Nach vielen Versuchen mit verschiedenem Regler, für dieses System passt der PI-Zustandsregler am besten. Da trotzdem unter dem Einfluss von Störgrößen ein wünschenswertes Ergebnis ausgegeben wird.

## 4 Reglerparameterberechnung

### 4.1 Bestimmung der minimalen Dämpfung und maximalen Zeitkonstante

Für die Bestimmung der minimalen Dämpfung und maximalen Zeitkonstante ist das Verhalten des Systems zu einem PT2 mit  $K=50$  und  $T=2$  und angenähert worden.

Auf Basis der An- und Ausregelzeit:

$$T_{an} < 30 \text{ s}$$

$$T_{aus} < 50 \text{ s}$$

und das Toleranzband und maximale Überschwingung:

$$\delta = \pm 2 \text{ K}$$

$$x_{\ddot{u},\max} < 5 \text{ K}$$

wobei der Sollwert  $50^\circ\text{C}$  hier angenommen ist, wurden verschiedene Paare aus Dämpfungen und Zeitkonstanten probiert, um die optimale Dämpfung und Zeitkonstante zu finden:

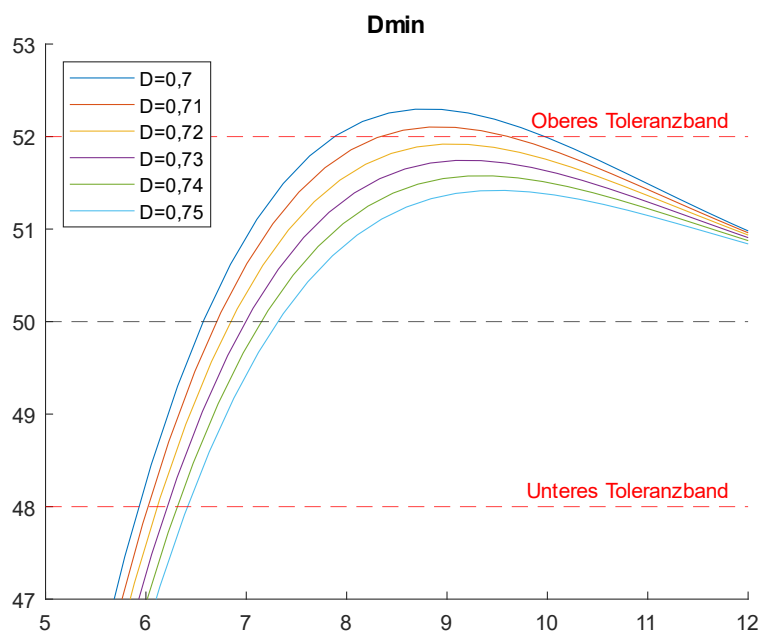


Abbildung 16: Bestimmung von  $D_{min}$

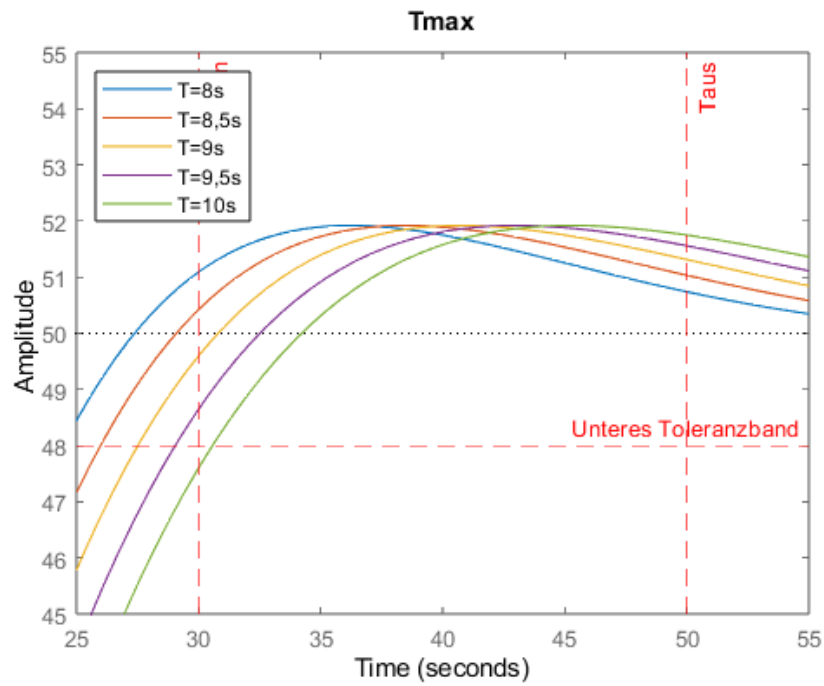


Abbildung 17: Bestimmung von Tmax

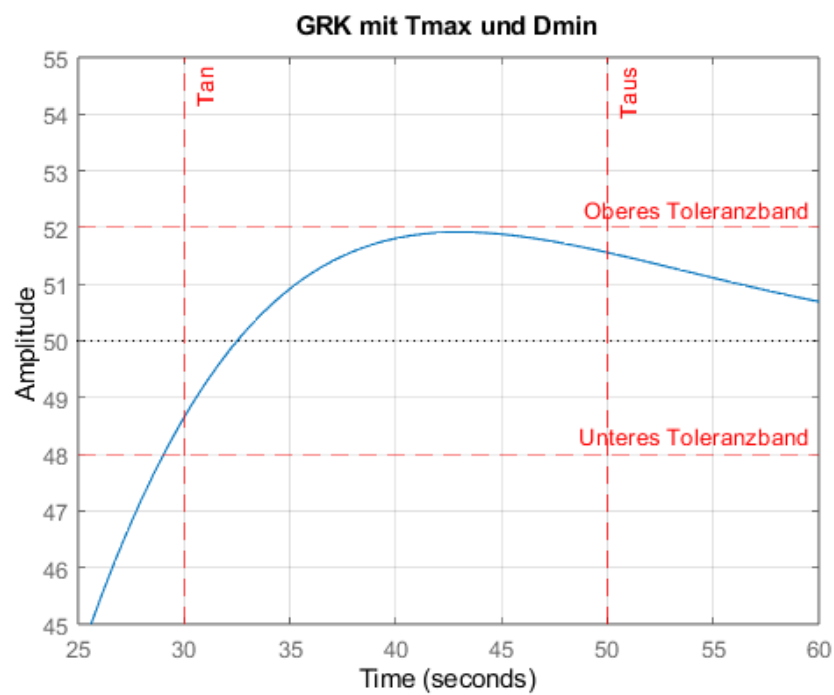


Abbildung 18: Resultierende Kurve von Tmax und Dmin

Hier erfüllt die Kurve ( $D_{Min} = 0,72$  &  $T_{Max} = 9,5$  s) die Gutekriterien am besten.

## 4.2 Polplatzierung (Pole-Placement)

Diese Methode zur Parameterberechnung basiert sich auf Einstellung der Sollpolen des Systems, diese Pole sollen in dem Stablen Bereich liegen, diesen Bereich wird unter der Berücksichtigung der Dämpfung, Ansprechverhalten, Aktuatorleistung und numerische Grenzen definiert.

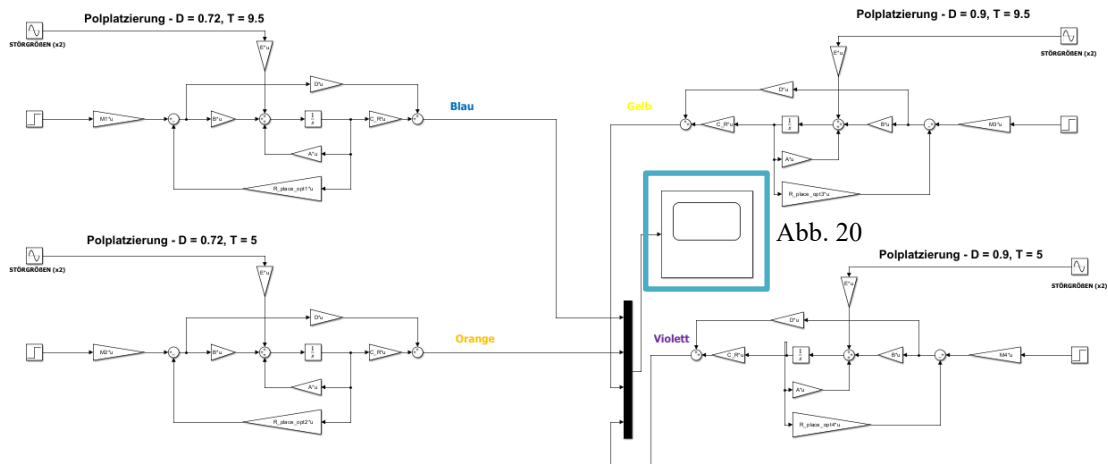


Abbildung 19: Schaltplan Polplatzierung

In MATLAB lautet der Befehl dieser Methode:

```
R_place = place(A,B,P_set)
```

Und Zum Berechnung der Parameter für den Vorfilter:

```
P1 = -1/T*(cos(acos(D_set)) + j*sin(acos(D_set)));
```

```
P2 = -1/T*(cos(acos(D_set)) - j*sin(acos(D_set)));
```

```
P_set_min = [-251; P1 ; P2 ;-3; -101];
```

```
R_place_opt = place(A,B,P_set_min);
```

```
M = (C_R*(B*R_place_opt-A)^(-1)*B)^(-1);
```

Durch Einstellung von  $P_{\text{set\_min}}$  basiert auf die Paare aus Dämpfungen und Zeitkonstanten können verschiedene Fälle untersucht werden:

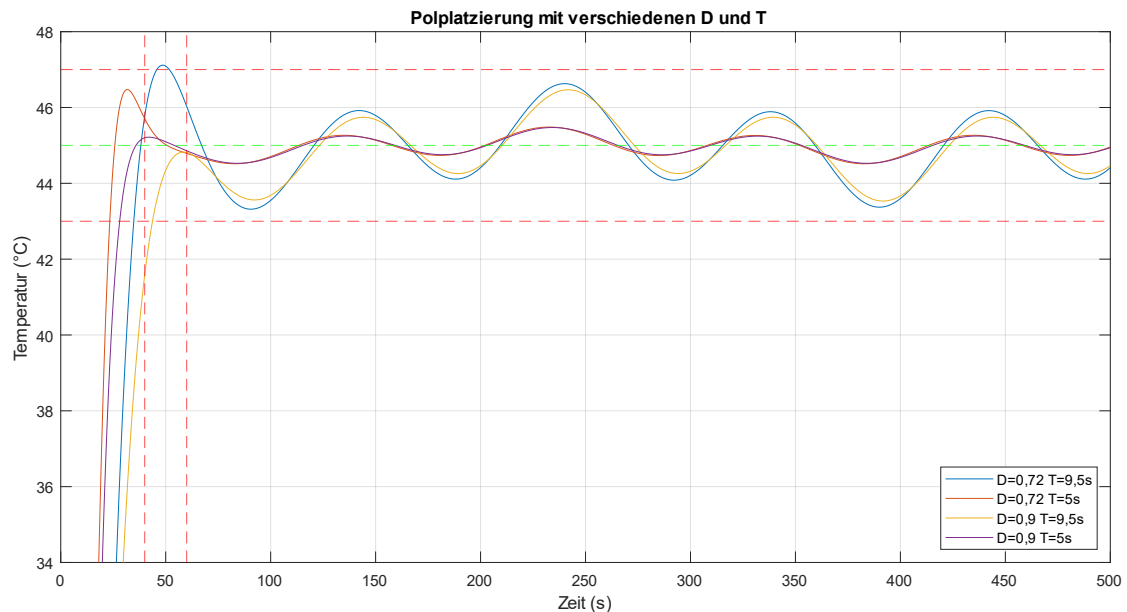


Abbildung 20: Polplatzierung mit unterschiedlichem Betrag von D und T

In diesem Fall erfüllt die violette Kurve ( $D=0,9$  &  $T=5$  s) die Kriterien am besten.

### 4.3 Matrix-Riccati-Regler

Die zweite Methode zur Reglerparameterberechnung ist der Matrix-Ricatti Regler (Linear quadratic Regulator), die Grundidee dieser Methode ist die Minimierung einer Kostenfunktion.

Der Befehl zur Durchführung dieser Methode lautet:

```
R_place_lqr = lqr(A,B,Q,R)
```

Um fortzufahren, sind Gewichtungsmatrizen Q anzupassen,

Die Methode wurde hier mit vier unterschiedliche Q untersucht:

```
Q1 = diag([10^0 10^0 10^0 10^0 10^0]);
Q2 = diag([10^0 10^0 10^1 10^4 10^5]);
Q3 = diag([10^0 10^0 10^1 10^2 10^2]);
Q4 = diag([10^0 10^1 10^-1 10^0 10^0]);
```

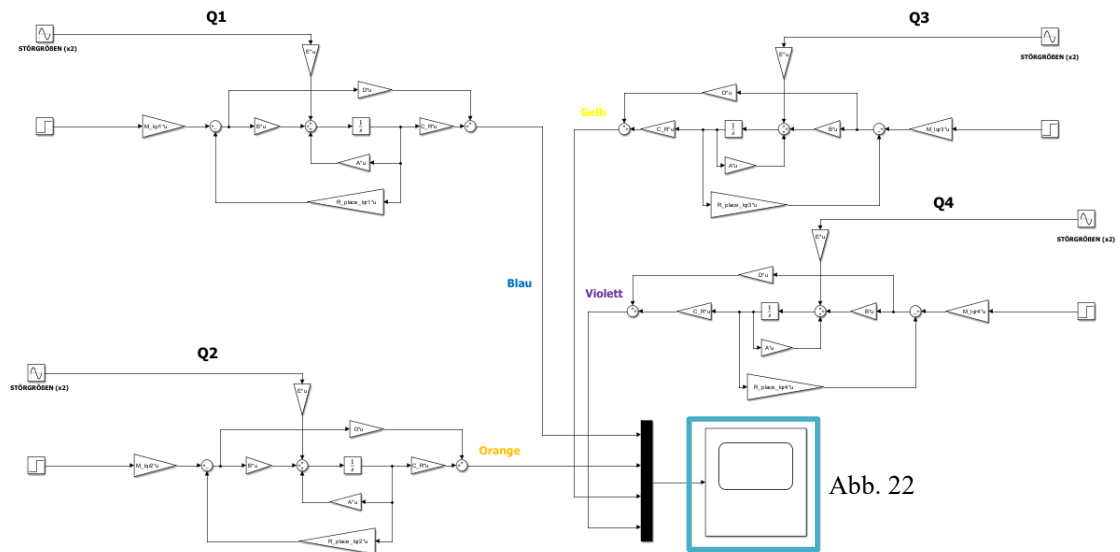
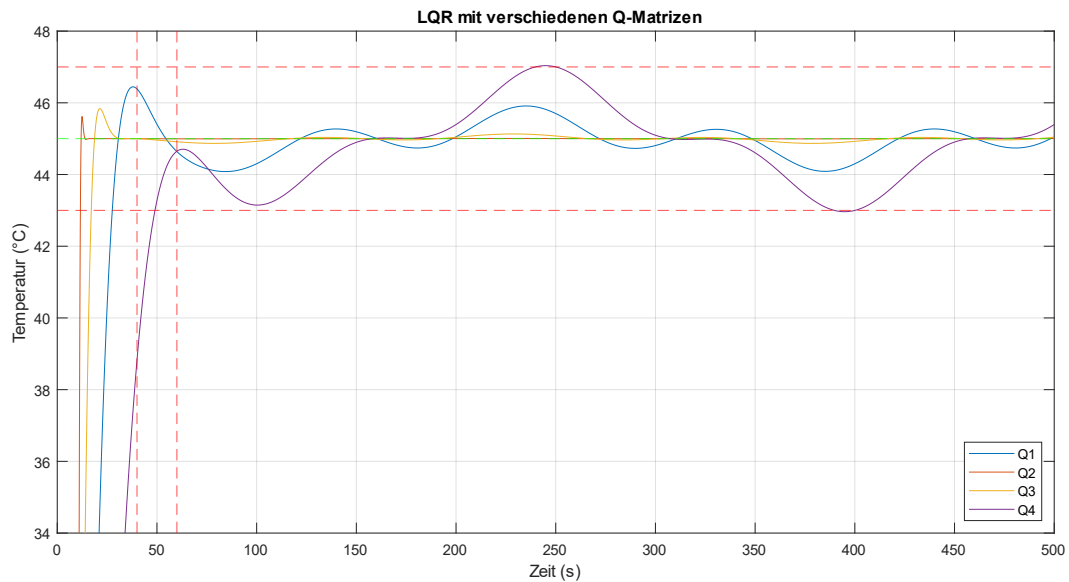


Abbildung 21: Schaltplan Matrix-Riccati-Regler



#### 4.4 Luenberger-Beobachter

Im nächsten Schritt sollen die Parameter der Rückführmatrix  $L$  berechnet werden, es gibt in der Regel zwei Ideen für den Beobachter, die zum Einsatz kommen. Und beide dienen zur Lösung von einem Problem, Die erste Idee ist, die Idee von Luenberger, welche löst das Problem, wobei die Anfangswerte des Systems  $x_0$  nicht dieselbe wie die von der Beobachtermatrix entsprechen, dies wurde durch die Änderung der Position von den Polen des Beobachters, sodass die Anfangswertdifferenz ausgeglichen wird.

Der Luenberger-Beobachter wird mit Hilfe von Polplatzierung im MATLAB durchgeführt. Erstens werden durch die berechnete Dämpfung und Zeitkonstante  $P1$  und  $P2$  bestimmt:

$$P1 = -1/5*(\cos(\arccos(0.9)) + j*\sin(\arccos(0.9)));$$

$$P2 = -1/5*(\cos(\arccos(0.9)) - j*\sin(\arccos(0.9)));$$

Dann Anhand von  $P1$  und  $P2$  werden die Position der Polen bestimmt:

$$P\_set\_L1 = [-250; P1; P2; -2; -100];$$

Zunächst werden die Controllermatrix und die Vorfiltermatrix ermittelt

$$RL = \text{place}(A,B,P\_set\_L1);$$

$$ML = (C*(B*RL-A)^{-1}*B)^{-1};$$

$$PsollL = [P\_set\_L1 - 0.0005];$$

$$LT = \text{place}(A^h',Ch',PsollL);$$

$$L=LT';$$

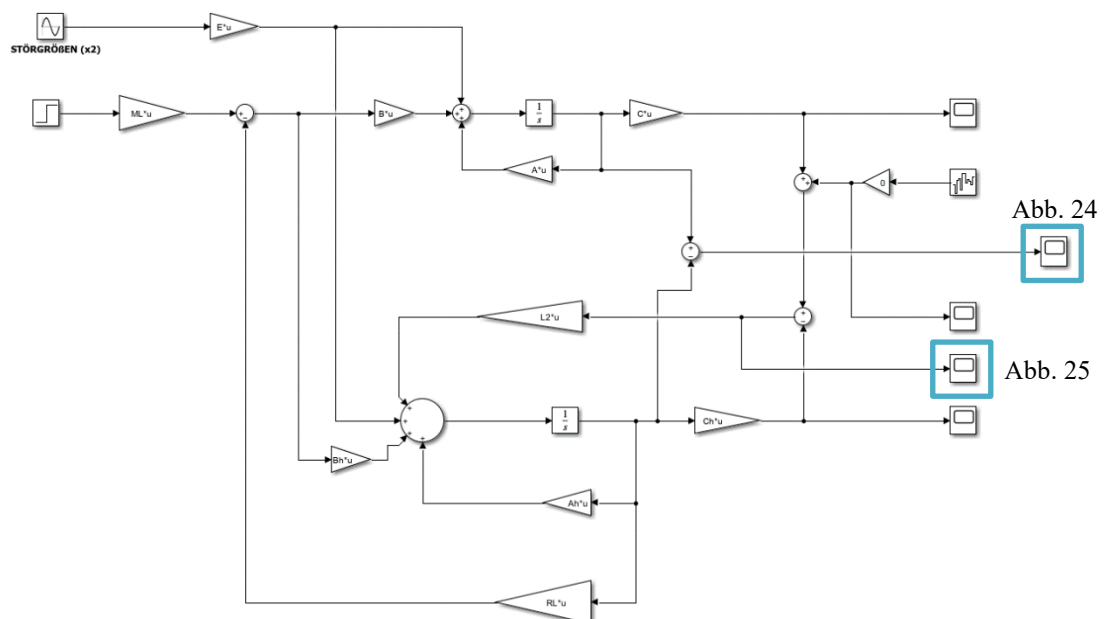


Abbildung 23: Schaltplan Luenberger-Beobachter



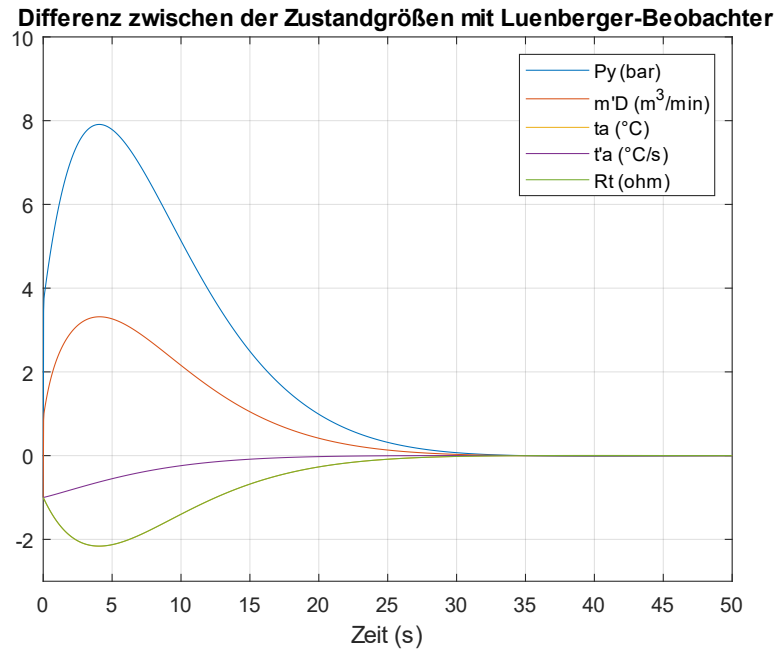


Abbildung 24: Diagramm zur Darstellung der Differenz zwischen den Zustandsgrößen Luenberger-Beobachter

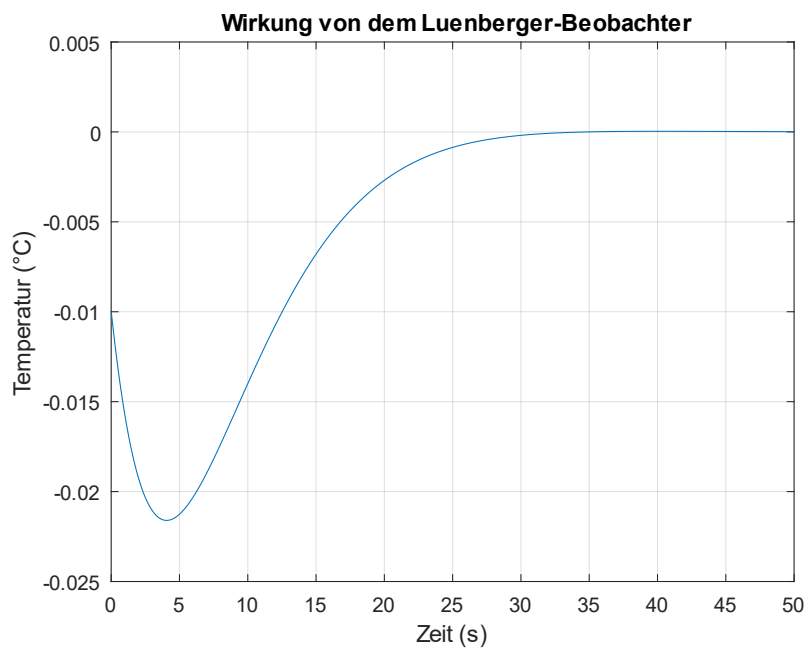


Abbildung 25: Rückführsignal für den Beobachter

In die zwei obigen Verläufe sind die Wirkung des Luenberger-Beobachters dargestellt, wobei ist nun der Differenz zwischen die Signale der oberen (Strecke) und der unteren (Beobachter)

Teil des Systems gleich null, das heißt, dass das Ziel des Beobachters erfüllt ist.

## 4.5 Kalman-Bucy-Filter

Das zweite Problem ist die Wirkung vom Rauschen, um diese Wirkung soweit wie möglich zu verringern, kommt die Idee von Kalman-Bucky vor.

Hier wurde mit der Matrix-Ricatti-Regler benutzt, und wie bevor die Kostengleichung minimiert, es wurden 5 Gewichtungsmatrizen ausprobiert:

$Qk1 = 10^0 \cdot \text{diag}([10^0 \ 10^0 \ 10^0 \ 10^0 \ 10^0]);$

$Qk2 = 10^1 \cdot \text{diag}([10^0 \ 10^0 \ 10^0 \ 10^0 \ 10^0]);$

$Qk3 = 10^2 \cdot \text{diag}([10^0 \ 10^0 \ 10^0 \ 10^0 \ 10^0]);$

$Qk4 = 10^3 \cdot \text{diag}([10^0 \ 10^0 \ 10^0 \ 10^0 \ 10^0]);$

$Qk5 = 10^4 \cdot \text{diag}([10^0 \ 10^0 \ 10^0 \ 10^0 \ 10^0]);$

$Rk = 1;$

Qk5 passt am besten:

$[L\_Kalman \ S0 \ Eig\_beo] = \text{lqr}(Ah', Ch', Qk5, Rk);$

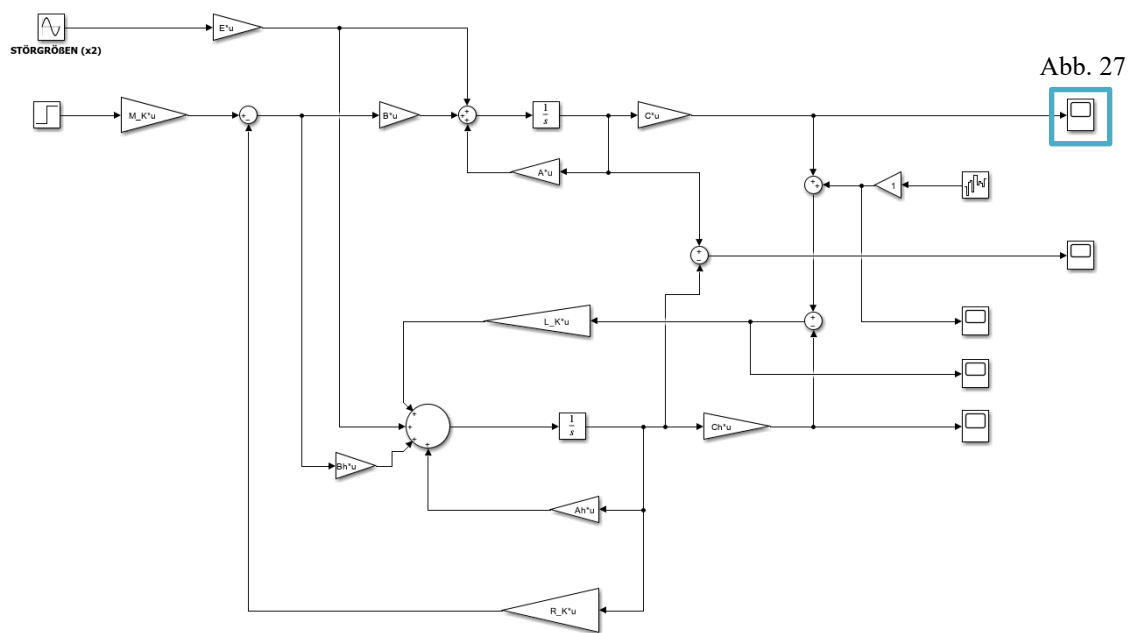


Abbildung 26: Schaltplan Kalman-Bucy-Filter

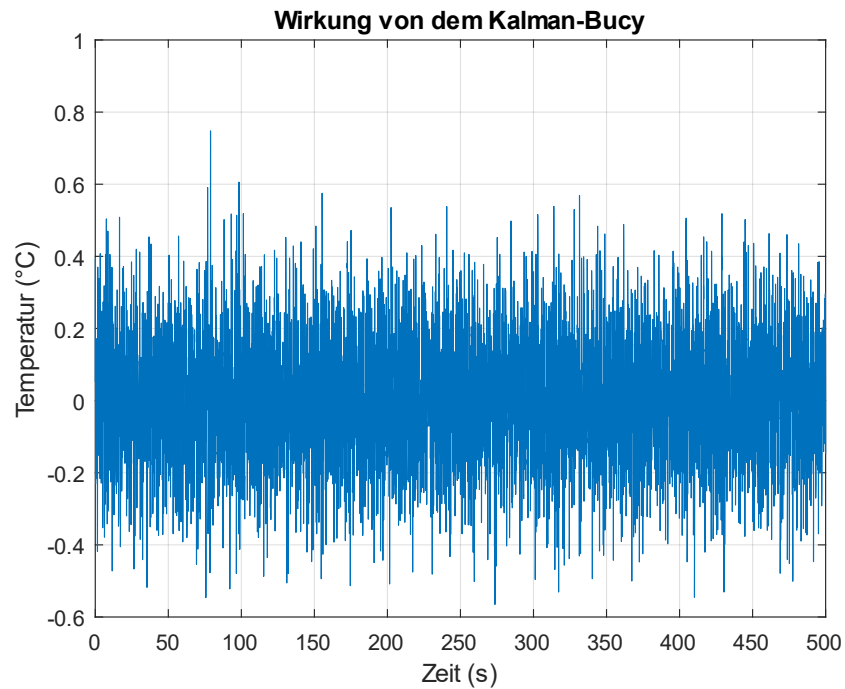


Abbildung 27: Rückführsignal für das Kalman-Bucy-Filter

Mit der Addition der Kalman-Bucy-Filter ist der Differenz zwischen den Signalen aus der Strecke nahezu gleich null geworden.

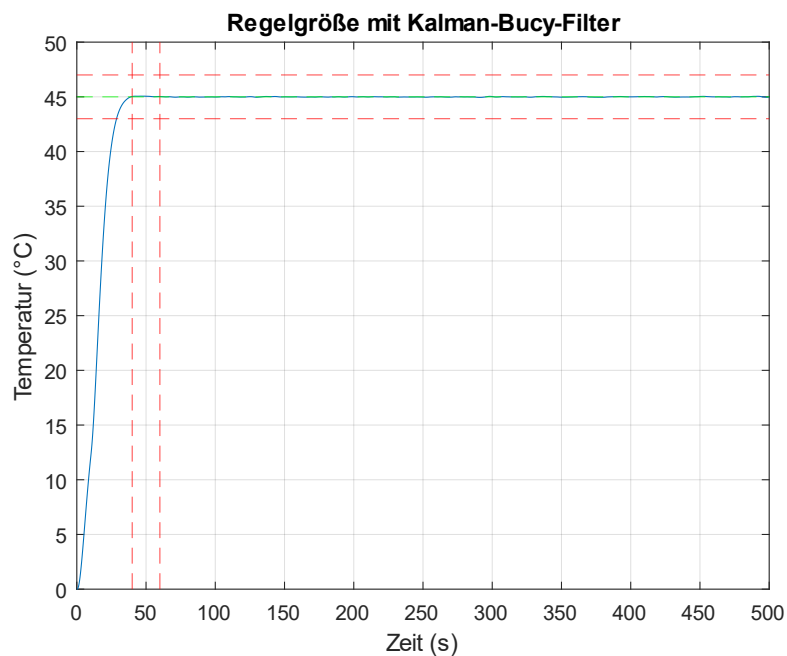


Abbildung 28: Verlauf der Regelgröße mit Kalman-Bucy

Und somit ist auch der Verlauf der Regelgröße mit Berücksichtigung der Gütekriterien geregelt.

## 5 Reglerverhaltensbewertung und Feintuning

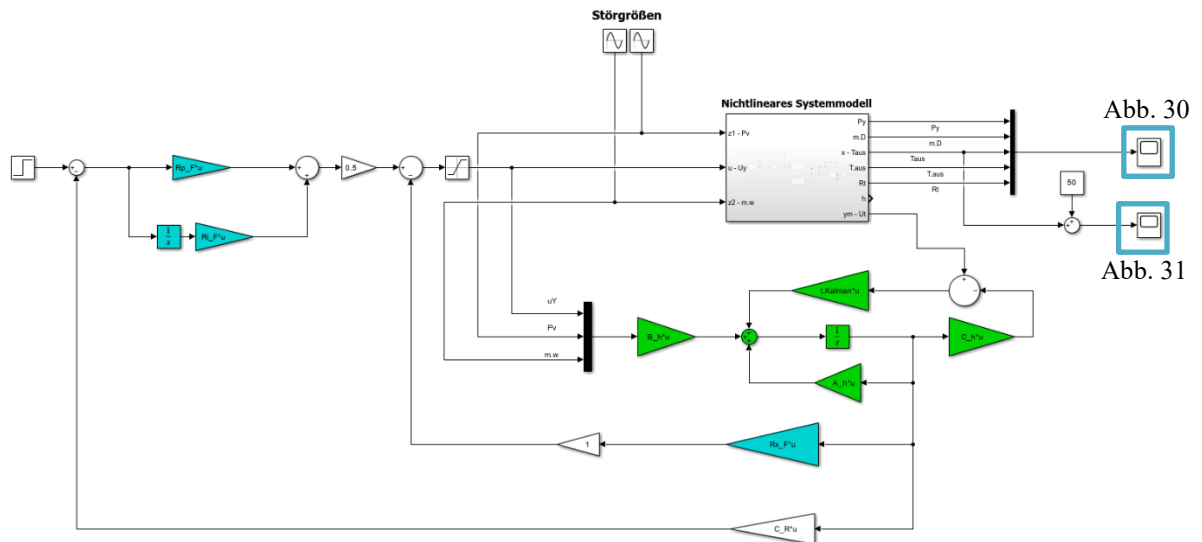


Abbildung 29: Schaltplan GRK mit dem nichtlinearen Subsystem

Nach der Festlegung der Struktur und Berechnung der Parameter, sollen die Ergebnisse in einer nichtlinearen Situation untersucht werden, da in der realen Welt meistens verschiedene Nichtlinearitäten in der Strecke auftauchen können.

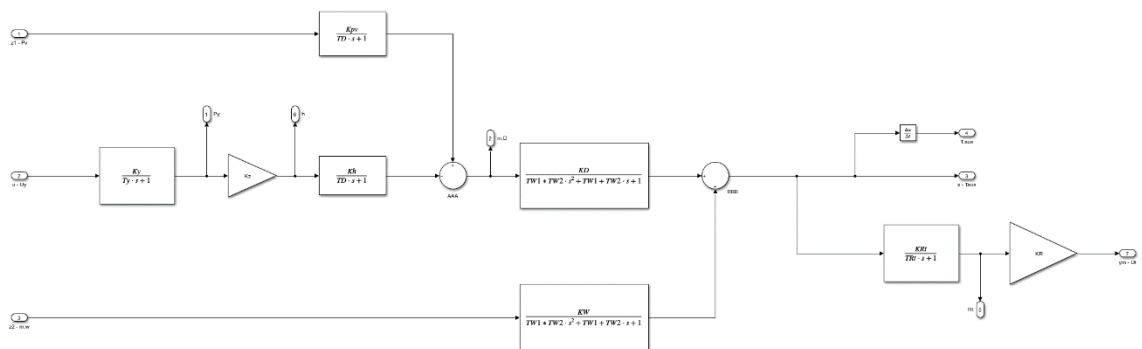


Abbildung 30: Nichtlineares Subsystem

Das nichtlineare Strecke wird in Form von einem Subsystem in Simulink aufgebaut, und dann wird das gesamte System mit den gerechneten Werten simuliert, es wurde festgestellt, dass die Werte noch angepasst werden müssen, sodass die gewünschte Kurve für die Regelgröße erreicht wird.

**Werte nach der Anpassung:**

```
Q_Kalman = 10^4*diag([10^0 10^0 10^5 10^0 10^5]);
R_Kalman = 1;
```

```
QLQR_F = diag([10^0 10^0 10^0 10^0 10^0 10^0]);
RLQR_F = 1;
```

**LQR Parameter Berechnung:**

```
[R_PI_F, S, E_LQR] = lqr(A_PI, B_PI, QLQR_F, RLQR_F);
```

**Reglerparameter für den PI-Regler:**

```
Ri_F = -R_PI_F(1,6);
Rp_F = -(C_R*A^(-1)*B(:,1))^(-1);
Rx_F = R_PI_F(1,1:5)-Rp_F*C_R;
```

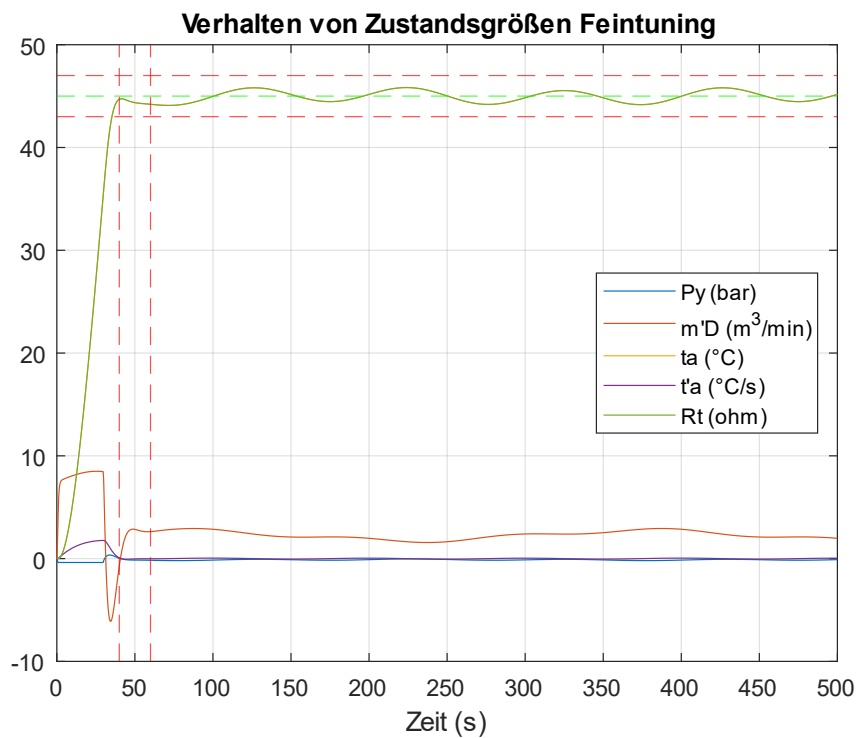


Abbildung 31: Verlauf der verschiedenen Zustandsgrößen

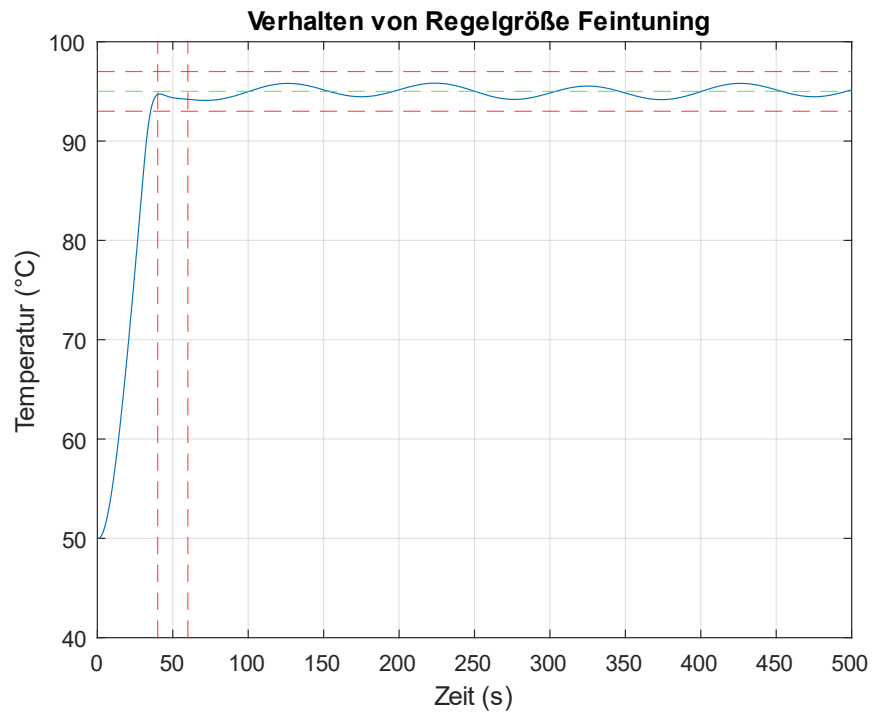


Abbildung 32: Verlauf der Regelgröße nach dem Feintuning

Nun ist der Verlauf der Temperatur nach der Berücksichtigung von den nichtlinearen Elementen des Regelkreises durch Anpassung des Beobachters korrigiert, und somit ist das Ziel der Regelung erreicht.

# Anhang

## A. Matlab Code

```

clear all
clc

%Parameter%
KRt=1; %ohm/K
TRt=1/250; %s
KR=1/100; %V/ohm
Ky=3/40; %bar/V
Ty=1/100; %s
Kz=2/100; %m/bar
Kh=1000; %(m^3/min)/m
Kpv=1; %(m^3/min)/bar
TD=1/2; %s
KD=20; %K/(m^3/min)
KW=1; %K/(1/min)
TW1=20; %s
TW2=50; %s
Tpv = 100; %s
Tmw = 300; %s
Tan = 30; %s
Taus = 50; %s

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% SYSTEMANALYSE %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Zustandsraummodell%

%x=Py,m.D,ta,t.a,Rt
A=[-1/Ty 0 0 0 0;
    -(Kh*Kz)/TD -1/TD 0 0 0;
    0 0 0 1 0;
    0 KD/(TW1*TW2) -1/(TW1*TW2) -(TW1+TW2)/(TW1*TW2) 0;
    0 0 KRt/TRt 0 -1/TRt];

Api = [-1/Ty 0 0 0 0;
        -(Kh*Kz)/TD -1/TD 0 0 0;
        0 0 0 1 0;
        0 KD/(TW1*TW2) -1/(TW1*TW2) -(TW1+TW2)/(TW1*TW2) 0;
        0 0 KRt/TRt 0 -1/TRt]; %it is the same as A, because in our case,
%workaround method was not possible, since the system included no
%I0 strecke.

%u=uy
B=[Ky/Ty;
    0;
    0;
    0;
    0];

Bpi = [Ky/Ty;
        0;
        0;
        0;
        0]; %it is the same as B, because in our case,
%workaround method was not possible, since the system included no
%I0 strecke.

```

```

%x=Py,m.D,ta,t.a,Rt
C = [0 0 0 0 KR];

C_R = [0 0 1 0 0];

Ch_R = C_R;

%u=uy
D = [0];

%z=Pv,m.w
E=[0 0;
    Kpv/TD 0;
    0 0;
    0 -KW/(TW1*TW2);
    0 0];

%z=Pv,m.w
F=[0 0];

sysORORK=ss(A,B,C,D);

%pzmap%
figure(1)
pzmap(sysORORK)

%step%
figure(2)
step(sysORORK)

%%%%%%%%%% REGLERSTRUKTURFESTLEGUNG %%%%%%%%%%%

%%%%%%%%% CONTROLLABILITY %%%%%%%%%%

Qs = ctrb(A,B); %ctrb computes a controllability matrix from state
% matrices or from a state-space model. One can use this matrix
% to determine controllability.

r = rank(Qs); %The rank function provides an estimate of the
% number of linearly independent rows or columns of a matrix.

% Check if the system is fully controllable
if rank(Qs) == length(A)
    disp('The system is fully controllable.');
```

```

else
    disp('The system is not fully controllable.');
```

```

end

%%%%%%%%%% OBSERVABILITY %%%%%%%%%%

Qb = obsv(A,C); %obsv computes an observability matrix from
%the state matrices.

rb = rank(Qb);

l = length(A);

% Check if the system is observable

```



```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Zustandsraumregelung %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%% Determination of the state space feedback R %%  
  
eig_A = eig(A); %eigenvalues are calculated (they are the poles)  
  
P_set = eig_A-1; %since some pole zeroes were too close to the  
% y axis, P_set = eig_A-1 was deemed necessary.  
  
R_place = place(A,B,P_set); % Calculates the controller matrix R.  
  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Determination of Vorfilter Matrix M %%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
M = (C*(B*R_place-A)^(-1)*B)^(-1);  
  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Zustandraumregelung mit Beobachter %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
%% Determination of the matrixes %%  
  
Ah = A;  
Bh = B;  
Ch = C;  
  
%% Observability Matrix L %%  
  
P_set_obs = eig_A;  
  
L_luen_T = place(Ah',Ch',P_set_obs); % L (observability matrix)  
% is calculated but transposed.  
  
L_luen = L_luen_T'; % L = L transposed transposed.  
  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Zustandraumregelung mit Beobachter und Störgrößen %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
%% Determination of Störgrößenmatrix Z %%%%%%%  
  
Z = ((B')*B)^(-1)*(B')*E;  
  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PI ZUSTANDSGRÖßENREGLER %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
A_PI_real = [A zeros(5,1);  
             -C_R 0];  
  
B_PI_real = [B;  
            0];  
  
P_set_PI = eig(A_PI_real)-10;  
R_place_PI = place(A_PI_real,B_PI_real,P_set_PI);  
  
R_I = -R_place_PI(:,6);  
R_p = -(C_R*A_pi^-1*B_pi)^-1;  
R_x = R_place_PI(:,1:5)-R_p*C_R;
```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Controller parameter calculation
R = diag(1); % R is the control cost matrix (an Einheitsmatrix), Matrix
% R should be square and have the same number of rows as matrix B

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Minimum Damping Maximum Time Constant %%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Determination of D %%%%%%%%%%%%%%%
K = 50;
T = 2;
D_var=[0.7:0.01:0.75];
for n=1:1:length(D_var)
    PT2_varD = tf([K],[T^2 2*D_var(n)*T 1]);
    [yD_varD{n},tOutD_varD{n}] = step(PT2_varD, 500);
end

figure(3)
hold on
for n=1:1:length(yD_varD)
    plot(tOutD_varD{n},yD_varD{n})
end
legend('D=0,7','D=0,71','D=0,72','D=0,73','D=0,74','D=0,75','Location','northwest')

% Toleranzband
yline(52, '--r', 'Oberes Toleranzband','HandleVisibility','off');
yline(48, '--r', 'Unteres Toleranzband','HandleVisibility','off');
yline(50, '--p', 'HandleVisibility','off');
xlim([5, 12]);
ylim([47, 53]);

title("Dmin");

hold off

Dmin = 0.72;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Determination of T %%%%%%%%%%%%%%%

T_var = [8:0.5:10];

figure(4)
hold on
for n=1:1:length(T_var)
    T_max = T_var(n);
    PT2_varT = tf([K],[T_max^2 2*Dmin*T_max 1]);
    step(PT2_varT);
end
legend('T=8s','T=8,5s','T=9s','T=9,5s','T=10s','Location','northwest')

% Tan und Taus

xline(30, '--r', 'Tan','HandleVisibility','off');
xline(50, '--r', 'Taus','HandleVisibility','off');
yline(48, '--r', 'Unteres Toleranzband','HandleVisibility','off');
ylim([45, 55]);
xlim([25, 55]);
title("Tmax");
hold off

```

```

Tmax = 9.5;

%%%%%%%%% GRK %%%%%%%%%%

figure(5)
hold on
GRK1 = tf([K],[Tmax^2 2*Dmin*Tmax 1]);
step(GRK1)
grid on
xline(30, '--r', 'Tan');
xline(50, '--r', 'Taus');
yline(52, '--r', 'Oberes Toleranzband');
yline(48, '--r', 'Unteres Toleranzband');
ylim([45, 55]);
xlim([25, 60]);
title("GRK mit Tmax und Dmin");

%%%%%%%%%%%% Polplatzierung %%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%% D = 0.72, T = 9.5 %%%%%%%%%%%%%%

D_set1 = Dmin;
P11 = -1/Tmax*(cos(acos(D_set1)) + j*sin(acos(D_set1)));
P21 = -1/Tmax*(cos(acos(D_set1)) - j*sin(acos(D_set1)));

P_set_min1 = [-251; P11 ; P21 ;-3; -101];
R_place_opt1 = place(A,B,P_set_min1);
M1 = (C_R*(B*R_place_opt1-A)^(-1)*B)^(-1);

%%%%%%%%%%%% D = 0.72, T = 5 %%%%%%%%%%%%%%

D_set2 = Dmin;
P12 = -1/5*(cos(acos(D_set2)) + j*sin(acos(D_set2)));
P22 = -1/5*(cos(acos(D_set2)) - j*sin(acos(D_set2)));

P_set_min2 = [-251; P12 ; P22 ;-3; -101];
R_place_opt2 = place(A,B,P_set_min2);
M2 = (C_R*(B*R_place_opt2-A)^(-1)*B)^(-1);

%%%%%%%%%%%% D = 0.9, T = 9.5 %%%%%%%%%%%%%%

D_set3 = 0.9;
P13 = -1/Tmax*(cos(acos(D_set3)) + j*sin(acos(D_set3)));
P23 = -1/Tmax*(cos(acos(D_set3)) - j*sin(acos(D_set3)));

P_set_min3 = [-251; P13 ; P23 ;-3; -101];
R_place_opt3 = place(A,B,P_set_min3);
M3 = (C_R*(B*R_place_opt3-A)^(-1)*B)^(-1);

%%%%%%%%%%%% D = 0.9, T = 5 %%%%%%%%%%%%%%

D_set4 = 0.9;
P14 = -1/5*(cos(acos(D_set4)) + j*sin(acos(D_set4)));
P24 = -1/5*(cos(acos(D_set4)) - j*sin(acos(D_set4)));

P_set_min4 = [-251; P14 ; P24 ;-3; -101];
R_place_opt4 = place(A,B,P_set_min4);
M4 = (C_R*(B*R_place_opt4-A)^(-1)*B)^(-1);

%%%%%%%%%%%% Bestmögliche Kombination von D und T ist D=0.9 und T=5! %%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%Matrix Ricatti Regler (LQR)
Q1 = diag([10^0 10^0 10^0 10^0 10^0]);
Q2 = diag([10^0 10^0 10^1 10^4 10^5]);
Q3 = diag([10^0 10^0 10^1 10^2 10^2]);
Q4 = diag([10^0 10^1 10^-1 10^0 10^0]);

R_place_lqr1 = lqr(A,B,Q1,R);
M_lqr1 = (C_R*(B*R_place_lqr1-A)^(-1)*B)^(-1);

R_place_lqr2 = lqr(A,B,Q2,R);
M_lqr2 = (C_R*(B*R_place_lqr2-A)^(-1)*B)^(-1);

R_place_lqr3 = lqr(A,B,Q3,R);
M_lqr3 = (C_R*(B*R_place_lqr3-A)^(-1)*B)^(-1);

R_place_lqr4 = lqr(A,B,Q4,R);
M_lqr4 = (C_R*(B*R_place_lqr4-A)^(-1)*B)^(-1);

%%Q1 is the best
%%Luenburger
% P1 = -1/Tmax*(cos(acos(Dmin)) + j*sin(acos(Dmin)))-0.15;
% P2 = -1/Tmax*(cos(acos(Dmin)) - j*sin(acos(Dmin)))-0.15;

P1 = -1/5*(cos(acos(0.9)) + j*sin(acos(0.9)));
P2 = -1/5*(cos(acos(0.9)) - j*sin(acos(0.9)));

% Luenberger-Beobachter:

% Setting up the specific pole points for Luenberger-Beobachter

P_set_L1 = [-250; P1; P2; -2; -100];

% Controller matrix Calculation
RL = place(A,B,P_set_L1);

% Prefilter Matrix M Calculation
ML = (C*(B*RL-A)^(-1)*B)^(-1);

% Calculation of different observevility matrix parameters

PsollL1 = [P_set_L1 - 0.0001];
PsollL2 = [P_set_L1 - 0.0005];
PsollL3 = [P_set_L1 - 0.001];

% Transponierte Werte
L1T = place(Ah',Ch',PsollL1);
L2T = place(Ah',Ch',PsollL2);
L3T = place(Ah',Ch',PsollL3);

% L = L Transponiert Transponiert
L1=L1T';
L2=L2T';
L3=L3T';

%% PsollL2 gives the best possible result, the X - X^ value
% reaches to 0 around 30s.

```

```
%%%%%%%%%%%% KALMANS BUCKY %%%%%%%%%%
```

```
Qk1 = 10^0*diag([10^0 10^0 10^0 10^0 10^0]);
Qk2 = 10^1*diag([10^0 10^0 10^0 10^0 10^0]);
Qk3 = 10^2*diag([10^0 10^0 10^0 10^0 10^0]);
Qk4 = 10^3*diag([10^0 10^0 10^0 10^0 10^0]);
Qk5 = 10^4*diag([10^0 10^0 10^0 10^0 10^0]);
```

```
Rk = 1;
```

```
%%%%%%%%%%%% Kalman Filter Calculation %%%%%%%%%%
```

```
[L_Kalman S0 Eig_bco] = lqr(Ah', Ch', Qk5, Rk);
```

```
L_K = L_Kalman';
```

```
R_K = RL;
```

```
M_K = ML;
```

```
%%%%%%%%%%%% Mit den gewählten Werten stabilisiert sich das System bei etwa
% t=35 Sekunden. Die Grafik entspricht den Gütekriterien.
```

```
%%%%%%%%%%%% Die X - X^ Grafik stabilisiert sich bei etwa t=10 Sekunden. Das
% entspricht für einen schnellen Beobachter, der gut funktioniert.
```

```
%%%%%%%%%%%% REGLERVERHALTENSBEWERTUNG %%%%%%%%%%
```

```
% Definition der Parameter:
```

```
% Zeitkonstanten:
```

```
TRt = 1/250; % einheit = s
```

```
Ty = 1/100; % einheit = s
```

```
TD = 1/2; % einheit = s
```

```
TW1 = 20; % einheit = s
```

```
TW2 = 50; % einheit = s
```

```
% Parameter:
```

```
KRt = 1; % einheit =  $\Omega/K$ 
```

```
KR = 1/100; % einheit =  $V/\Omega$ 
```

```
Ky = 3/40; % einheit = bar/V
```

```
Kz = 2/100; % einheit = m/bar
```

```
Kh = 1000; % einheit =  $1000 (m^3/min)/m$ 
```

```
Kpv = 1; % einheit =  $(m^3/min)/bar$ 
```

```
KD = 20; % einheit =  $K/(m^3/min)$ 
```

```
KW = 1; % einheit =  $K/(1/min)$ 
```

```
% Definition des Arbeitspunkts:
```

```
Apu = 70+273; % einheit = K
```

```
Apo = 95+273; % einheit = K
```

```
% Definition der Arbeitspunktwerte:
```

```
TAPu = 50+273; % einheit = K
```

```
uTAPu = 5; % einheit = V
```

```
RTAPu = 300; % einheit =  $\Omega$ 
```

```
uYAPu = 4; % einheit = V
```

```
pYAPu = 2.4; % einheit = bar
```

```
hAPu = 10; % einheit = mm
```

```
mWAPu = 30; % einheit = l/min
```

```
pVAPu = 1.6; % einheit = bar
```

```
mDAPu = 1.5; % einheit =  $m^3/min$ 
```

```
% Störungen:
```

```
ampl_pV = 1; % einheit = bar
```

```

pdauer_pV = 100;          % einheit = s
ampl_m = 10;              % einheit = l/min
pdauer_m = 300;           % einheit = s

% Steuerkonstanten der Störgrößen:
z1str = 1;
z2str = 1;

% Steuerkonstante des Reglers:
Rstr = 1;

% Festlegung der Simulationsparameter:
t_start = 0;              % einheit = s
t_stop = 500;             % einheit = s
t_step = 1/500;           % einheit = s
t_jump = 10;              % einheit = s

% Festlegung der Qualitätskriterien:
dystep = Apo-Apu;
tol = 2;
xuemax = 5;
Tan = 30;
Taus = 50;

% Simulation in Simulink:

% Definition der Systemmatrix:
A=[ -1/Ty              0              0              0              0;
    -(Kh*Kz)/TD        -1/TD          0              0              0;
      0                0              0              1              0;
      0                KD/(TW1*TW2)    -1/(TW1*TW2)    -(TW1+TW2)/(TW1*TW2)  0;
      0                0              KRt/TRt         0              -1/TRt];

B=[ Ky/Ty;
    0 ;
    0 ;
    0 ;
    0 ];

E=[ 0              0 ;
    Kpv/TD         0 ;
    0              0 ;
    0              -KW/(TW1*TW2);
    0              0 ];

% Eingangsmatrix (Beide Führungs- und Störgrößen):
BE = [ Ky/Ty        0              0 ;
      0            Kpv/TD         0 ;
      0            0              0 ;
      0            0              -KW/(TW1*TW2);
      0            0              0 ];

% Definition der Ausgangsmatrizen:
C = [0 0 0 0 KR]; %ORK

C_R = [0 0 1 0 0]; %GRK

% Definition der Durchgangsmatrix:
D = [0];

E = [0          0;

```

```

    Kpv/TD      0;
    0           0;
    0   -KW/(TW1*TW2);
    0           0];

F = [0          0];

%Eigenwerte ORORK:
eig_A = eig(A);

% Definition des Zustandsraummodells für den PI-Regler:
A_PI = [ A      zeros(5,1);
        -C_R      0      ];

B_PI = [ B ;
        0];

% Matrix Ricatti Regler:
QLQR = diag([10^0 10^0 10^0 10^0 10^0 10^13]);

RLQR = 1;

% LQR Parameter Berechnung:
[R_PI, S, E_LQR] = lqr(A_PI, B_PI, QLQR, RLQR);

% Reglerparameter für den PI-Regler:
Ri = -R_PI(1,6);
Rp = -(C_R*A^(-1)*B(:,1))^(-1);
Rx = R_PI(1,1:5)-Rp*C_R;

% Beobachtermodell (zero vectors were added to match the dimensions
% of the matrix with the entrance values):
A_h = A;
B_h = [B,[0;0;0;0;0],[0;0;0;0;0]];
C_h = C;
D_h = D;

xs = [0;0;0;0;0];
xb = [10;10;10;10;10];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%FEINTUNING%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Matrix Ricatti Regler:
QLQR_F = diag([10^0 10^0 10^0 10^0 10^0 10^0]);
RLQR_F = 1;

% LQR Parameter Berechnung:
[R_PI_F, S, E_LQR] = lqr(A_PI, B_PI, QLQR_F, RLQR_F);

% Reglerparameter für den PI-Regler:
Ri_F = -R_PI_F(1,6);
Rp_F = -(C_R*A^(-1)*B(:,1))^(-1);
Rx_F = R_PI_F(1,1:5)-Rp_F*C_R;

% Berechnung der Bewertungsmatrix für Beobachter:
Q_Kalman = 10^4*diag([10^0 10^0 10^5 10^0 10^5]);
R_Kalman = 1;

% Berechnung des Kalman-Filters:
[LKalmanT SKalman EKalman]= lqr(A_h',C_h',Q_Kalman,R_Kalman);

```

```

% Berechnung von step time:
t_step = 1/abs(min(real(EKalman)));

% Zuweisung zu den Parametern der Simulation:
LKalman = LKalmanT';
Rx = Rx;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%DIAGRAMME AUS SIMULINK%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
simout = sim('LNB_ET_Gr3_Simulink.slx');

% Darstellung der Sprungantwort aus Simulink
figure(6);
plot(simout.ScopeData1{1}.Values.Time,simout.ScopeData1{1}.Values.Data);
title('GRK mit Zustandsraumregler');
xlabel('Zeit (s)');
ylabel('Temperatur (°C)');
ylim([0, 50]);
xlim([0, 500]);
grid on

figure(7);
plot(simout.ScopeData2{1}.Values.Time,simout.ScopeData2{1}.Values.Data);
title('Differenz von Zustandsgrößen GRK mit Beobachter');
xlabel('Zeit (s)');
ylim([-10, 50]);
xlim([0, 500]);
legend('Py (bar)', 'm'D (m^3/min)', 'ta (°C)', 't'a (°C/s)', 'Rt (ohm)')
grid on

figure(8);
plot(simout.ScopeData3{1}.Values.Time,simout.ScopeData3{1}.Values.Data);
title('Ausgangsgrößen GRK mit Beobachter');
xlabel('Zeit (s)');
ylabel('Temperatur (°C)');
legend('GRK', 'Beobachter', 'Location', 'southeast')
ylim([0, 50]);
xlim([0, 500]);
grid on

figure(9);
plot(simout.ScopeData4{1}.Values.Time,simout.ScopeData4{1}.Values.Data);
title('Differenz der Zustandsgrößen GRK mit Störgrößen');
xlabel('Zeit (s)');
ylim([-10, 50]);
xlim([0, 500]);
legend('Py (bar)', 'm'D (m^3/min)', 'ta (°C)', 't'a (°C/s)', 'Rt (ohm)')
grid on

figure(10);
plot(simout.ScopeData5{1}.Values.Time,simout.ScopeData5{1}.Values.Data);
title('Ausgangsgrößen GRK mit PI-Regler');
xlabel('Zeit (s)');
ylabel('Temperatur (°C)');
legend('GRK', 'Beobachter', 'Location', 'southeast')
ylim([0, 50]);
xlim([0, 500]);
grid on

figure(11);
plot(simout.ScopeData6{1}.Values.Time,simout.ScopeData6{1}.Values.Data);
title('Polplatzierung mit verschiedenen D und T');

```



```

xlabel('Zeit (s)');
ylabel('Temperatur (°C)');
ylim([34, 48]);
xlim([0, 500]);
xline(t_jump+30, '--r','HandleVisibility', 'off');
xline(t_jump+50, '--r','HandleVisibility', 'off');
yline(43, '--r','HandleVisibility', 'off');
yline(45, '--g','HandleVisibility', 'off');
yline(47, '--r','HandleVisibility', 'off');
legend('D=0,72 T=9,5s','D=0,72 T=5s','D=0,9 T=9,5s','D=0,9 T=5s','Location','southeast')
grid on

figure(12);
plot(simout.ScopeData7{1}.Values.Time,simout.ScopeData7{1}.Values.Data);
title('LQR mit verschiedenen Q-Matrizen');
xlabel('Zeit (s)');
ylabel('Temperatur (°C)');
ylim([34, 48]);
xlim([0, 500]);
xline(t_jump+30, '--r','HandleVisibility', 'off');
xline(t_jump+50, '--r','HandleVisibility', 'off');
yline(43, '--r','HandleVisibility', 'off');
yline(45, '--g','HandleVisibility', 'off');
yline(47, '--r','HandleVisibility', 'off');
legend('Q1','Q2','Q3','Q4','Location','southeast')
grid on

figure(13);
plot(simout.ScopeData8{1}.Values.Time,simout.ScopeData8{1}.Values.Data);
title('Differenz zwischen der Zustandgrößen mit Luenberger-Beobachter');
xlabel('Zeit (s)');
ylim([-3, 10]);
xlim([0, 50]);
legend('Py (bar)','m'D (m^3/min)','ta (°C)','t'a (°C/s)','Rt (ohm)')
grid on

figure(14);
plot(simout.ScopeData9{1}.Values.Time,simout.ScopeData9{1}.Values.Data);
title('Wirkung von dem Luenberger-Beobachter');
xlabel('Zeit (s)');
ylabel('Temperatur (°C)');
ylim([-0.025, 0.005]);
xlim([0, 50]);
grid on

figure(15);
plot(simout.ScopeData10{1}.Values.Time,simout.ScopeData10{1}.Values.Data);
title('Wirkung von dem Kalman-Bucy');
xlabel('Zeit (s)');
ylabel('Temperatur (°C)');
ylim([-0.6, 1]);
xlim([0, 500]);
grid on

figure(16);
plot(simout.ScopeData11{1}.Values.Time,simout.ScopeData11{1}.Values.Data);
title('Regelgröße mit Kalman-Bucy-Filter');
xlabel('Zeit (s)');
ylabel('Temperatur (°C)');
ylim([0, 50]);

```

```

xlim([0, 500]);
xline(t_jump+30, '--r','HandleVisibility', 'off');
xline(t_jump+50, '--r','HandleVisibility', 'off');
yline(43, '--r','HandleVisibility', 'off');
yline(45, '--g','HandleVisibility', 'off');
yline(47, '--r','HandleVisibility', 'off');
grid on

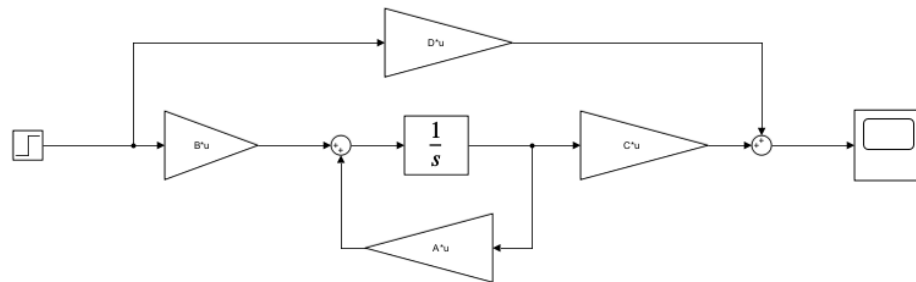
figure(17);
plot(simout.ScopeData12{1}.Values.Time,simout.ScopeData12{1}.Values.Data);
title('Verhalten von Zustandsgrößen Feintuning');
xlabel('Zeit (s)');
ylim([-10, 50]);
xlim([0, 500]);
xline(t_jump+30, '--r','HandleVisibility', 'off');
xline(t_jump+50, '--r','HandleVisibility', 'off');
yline(43, '--r','HandleVisibility', 'off');
yline(45, '--g','HandleVisibility', 'off');
yline(47, '--r','HandleVisibility', 'off');
legend('Py (bar)', "m'D (m^3/min)", "ta (°C)", "t'a (°C/s)", 'Rt
(ohm)', 'Location', 'east')
grid on

figure(18);
plot(simout.ScopeData13{1}.Values.Time,simout.ScopeData13{1}.Values.Data);
title('Verhalten von Regelgröße Feintuning');
xlabel('Zeit (s)');
ylabel('Temperatur (°C)');
ylim([40, 100]);
xlim([0, 500]);
xline(t_jump+30, '--r','HandleVisibility', 'off');
xline(t_jump+50, '--r','HandleVisibility', 'off');
yline(93, '--r','HandleVisibility', 'off');
yline(95, '--g','HandleVisibility', 'off');
yline(97, '--r','HandleVisibility', 'off');
grid on

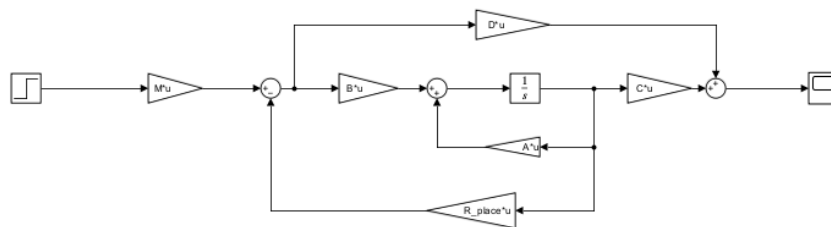
```

## B. Simulinkmodell mit Beschreibung

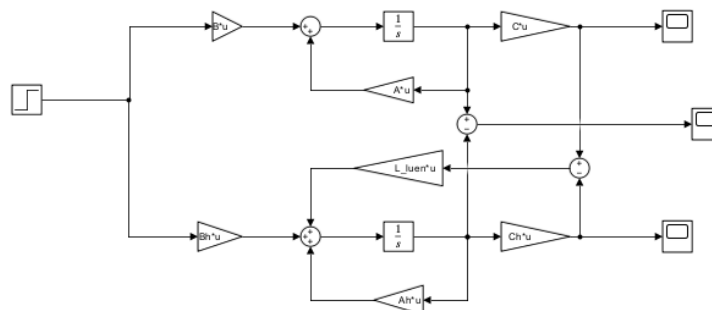
### 1. SYSTEMANALYSE



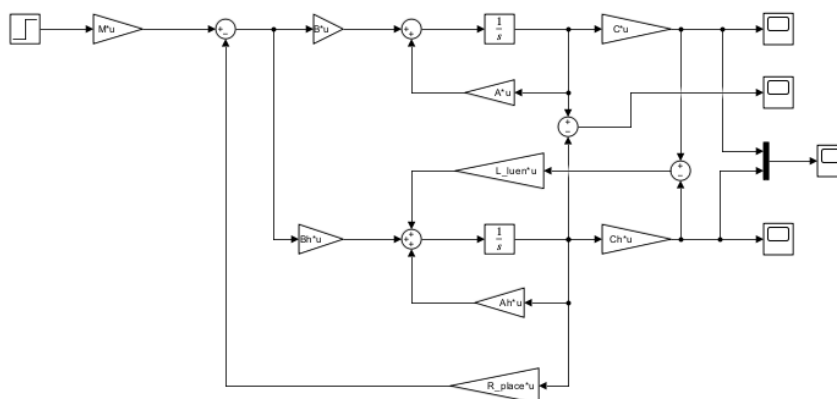
### 2.1.1 ZUSTANDSREGELKREIS



### ZUSTANDSBEOACHTER

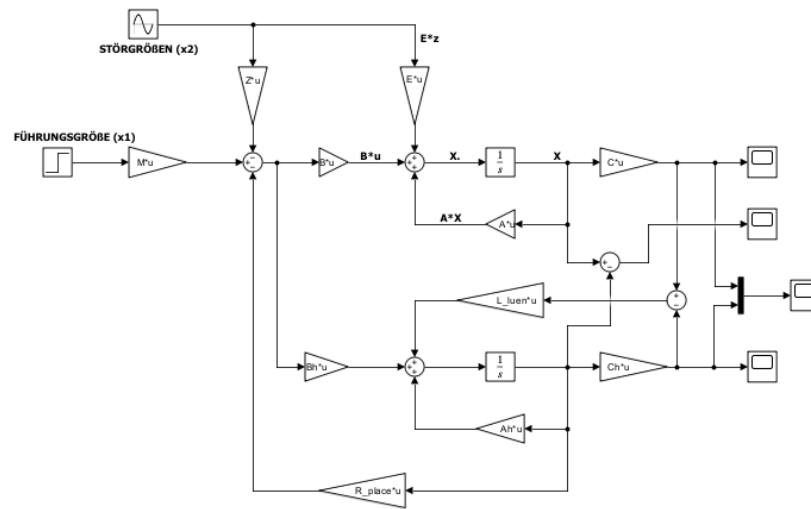


### 2.1.2 ZUSTANDSRAUMREGELUNG MIT BEOBACHTER

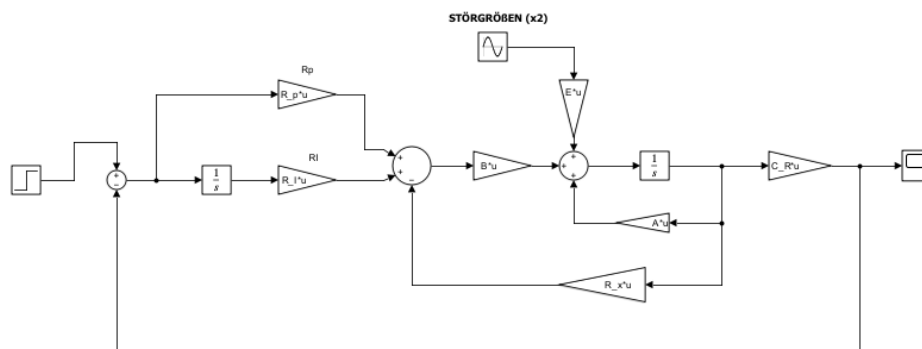


### 2.1.3 ZUSTANDSRAUMREGELUNG MIT BEOBACHTER UNTER BEACHTUNG DER STÖRGRÖßEN

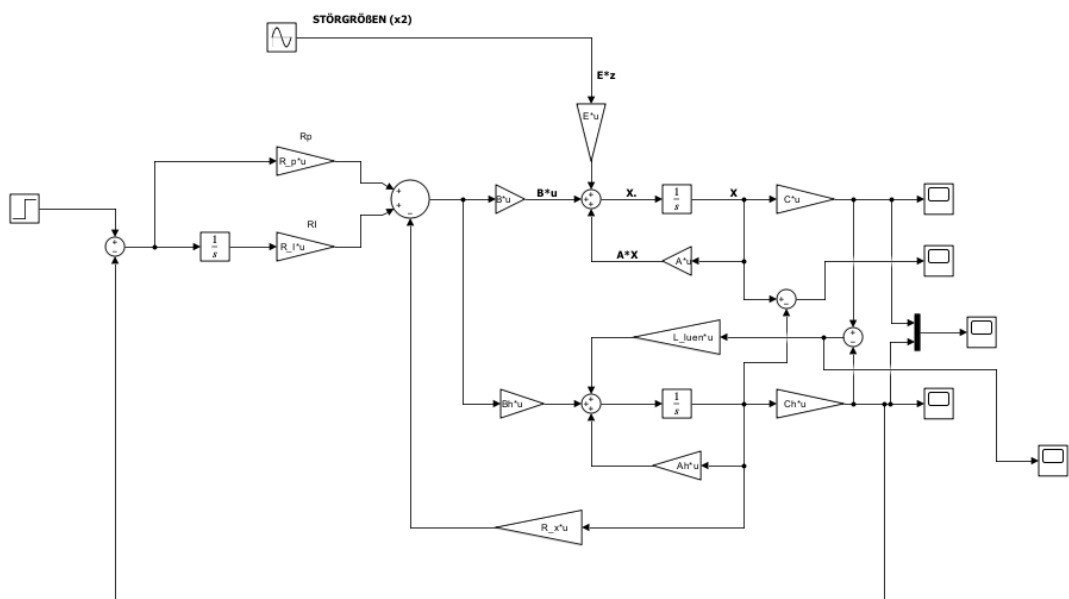
#### STÖRGRÖßENKOMPENSATION MIT BEOBACHTER



#### PI - ZUSTANDSGRÖßENREGELUNG OHNE BEOBACHTER

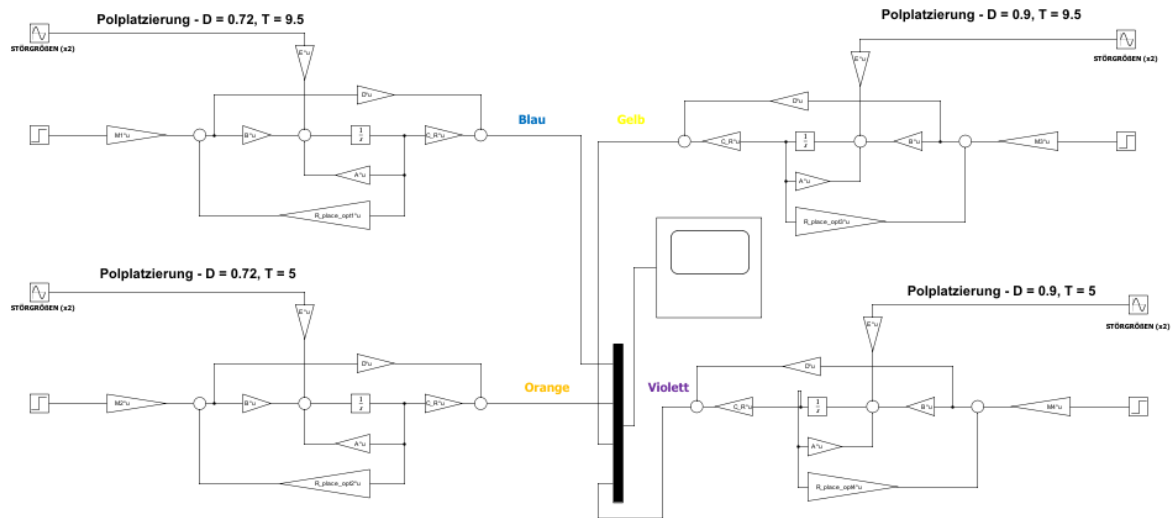


#### PI - ZUSTANDSGRÖßENREGELUNG MIT BEOBACHTER

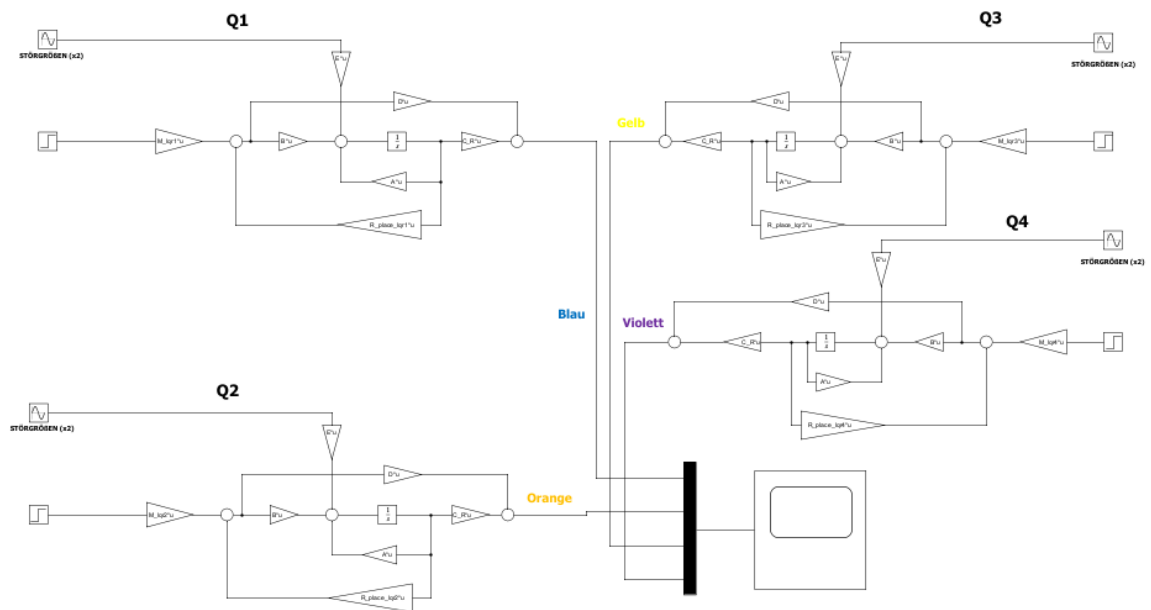


### 3- Reglerparameterberechnung

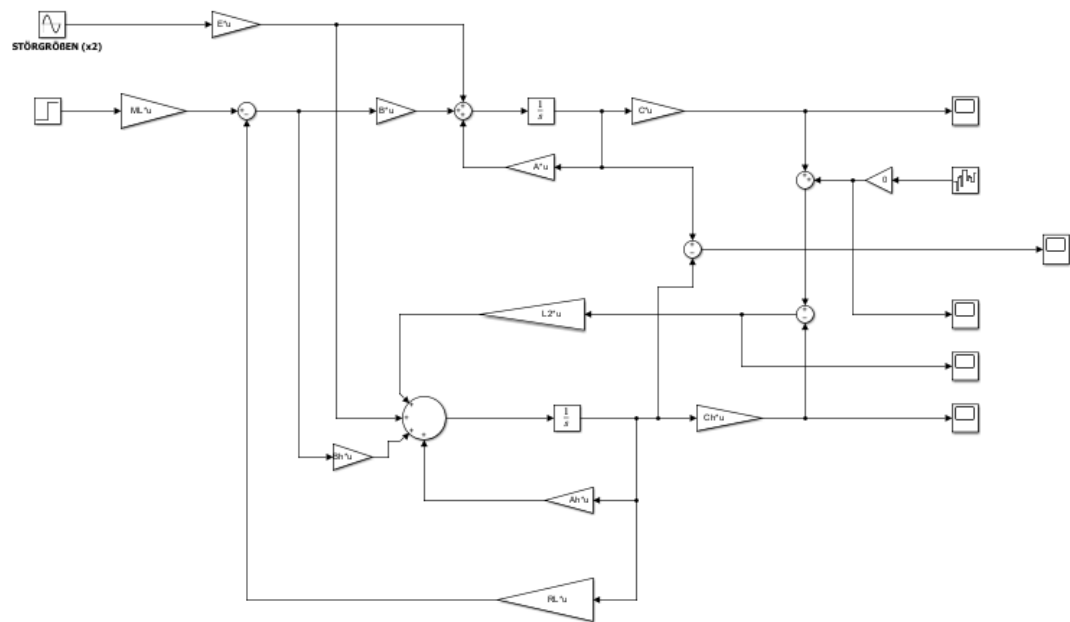
Polplatzierung - 3.1



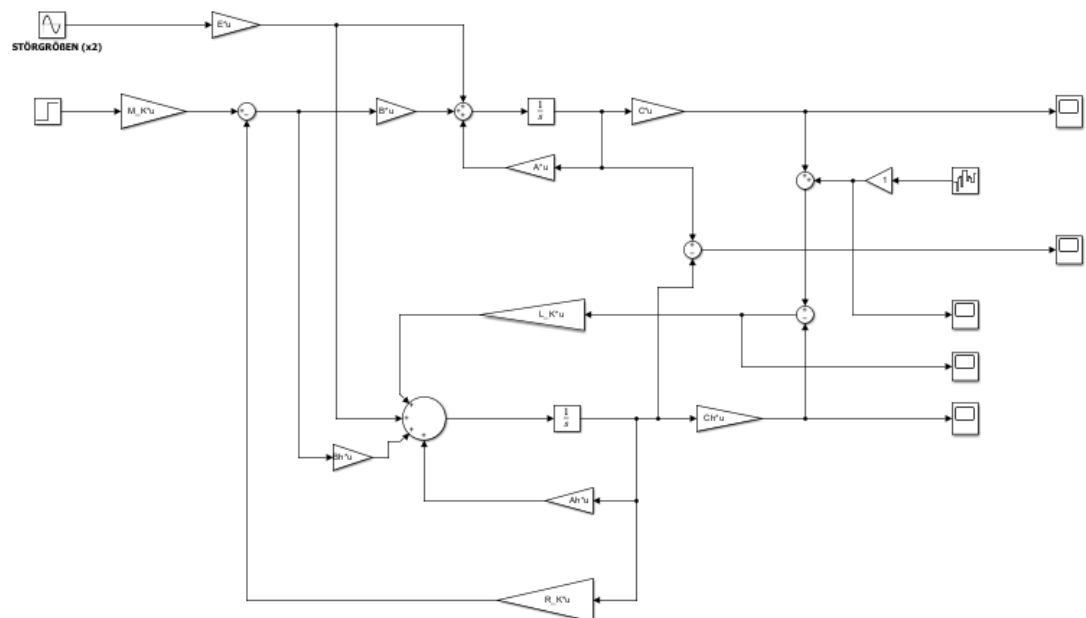
Matrix - Ricatti Regler (LQR) - 3.2



### 3.3 - Luenburger Beobachter mit geschlossenem Regelkreis



### 3.4 - Kalman Bucy mit geschlossenem Regelkreis



#### 4. Reglerverhaltensbewertung

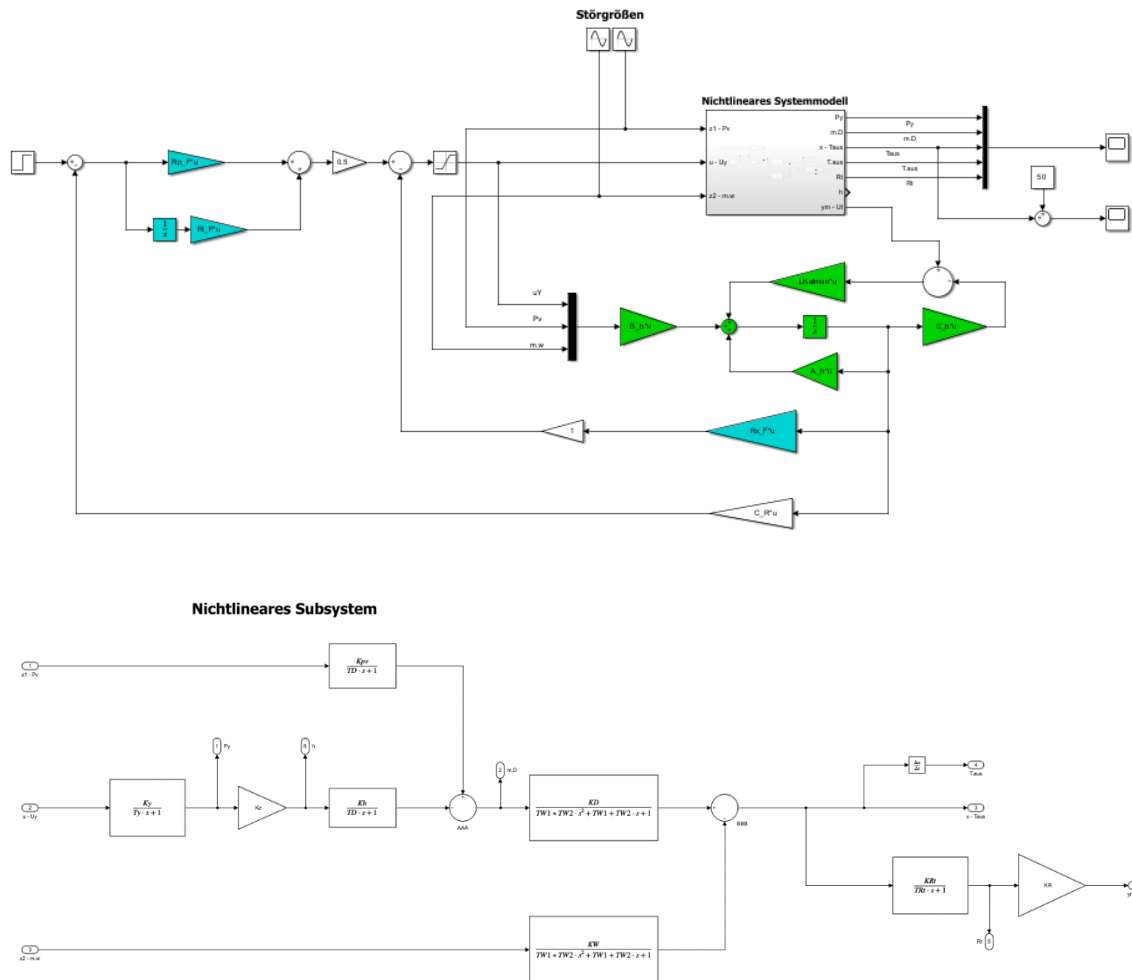


Table 1.1. LNB\_ET\_Gr3\_Simulink Simulation Parameters

<i>Solver</i> ode4	<i>ZeroCross</i> on	<i>StartTime</i> 0.0 <i>StopTime</i> 500
<i>RelTol</i> 1e-3	<i>AbsTol</i> auto	<i>Refine</i> 1
<i>InitialStep</i> auto	<i>FixedStep</i> 1/500	<i>MaxStep</i> auto

Table 1.2. Model Variables

Variable Name	Parent Blocks	Calling character vector	Value
A	<a href="#">Gain106</a> <a href="#">Gain11</a> <a href="#">Gain113</a> <a href="#">Gain124</a> <a href="#">Gain18</a> <a href="#">Gain28</a> <a href="#">Gain3</a> <a href="#">Gain32</a>	A A A A A A A A	$\begin{bmatrix} -100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -40 & -2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.02 & -0.001 & -0.07 & 0 \\ 0 & 0 & 250 & 0 & -250 \end{bmatrix}$





Variable Name	Parent Blocks	Calling character vector	Value
			0 0 0 ; 0 0 0 ; 0 0 0 ]
Bh	<a href="#">Gain123</a> <a href="#">Gain13</a> <a href="#">Gain133</a> <a href="#">Gain20</a> <a href="#">Gain35</a> <a href="#">Gain56</a>	Bh Bh Bh Bh Bh Bh	[7.5 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ]
C	<a href="#">Gain1</a> <a href="#">Gain115</a> <a href="#">Gain12</a> <a href="#">Gain126</a> <a href="#">Gain19</a> <a href="#">Gain33</a> <a href="#">Gain55</a> <a href="#">Gain6</a>	C C C C C C C C	[0 0 0 0 0.01 ]
C_R	<a href="#">Gain101</a> <a href="#">Gain108</a> <a href="#">Gain135</a> <a href="#">Gain43</a> <a href="#">Gain62</a> <a href="#">Gain63</a> <a href="#">Gain73</a> <a href="#">Gain80</a> <a href="#">Gain90</a> <a href="#">Gain91</a>	C_R C_R C_R C_R C_R C_R C_R C_R C_R C_R	[0 0 1 0 0 ]
C_h	<a href="#">Gain142</a>	C_h	[0 0 0 0 0.01 ]
Ch	<a href="#">Gain121</a> <a href="#">Gain131</a> <a href="#">Gain15</a> <a href="#">Gain22</a> <a href="#">Gain37</a> <a href="#">Gain58</a>	Ch Ch Ch Ch Ch Ch	[0 0 0 0 0.01 ]
D	<a href="#">Gain104</a> <a href="#">Gain111</a> <a href="#">Gain2</a> <a href="#">Gain67</a>	D D D D D	0

Variable Name	Parent Blocks	Calling character vector	Value
	<a href="#">Gain69</a> <a href="#">Gain76</a> <a href="#">Gain83</a> <a href="#">Gain9</a> <a href="#">Gain95</a> <a href="#">Gain97</a>	D D D D D	
E	<a href="#">Gain100</a> <a href="#">Gain107</a> <a href="#">Gain114</a> <a href="#">Gain125</a> <a href="#">Gain30</a> <a href="#">Gain44</a> <a href="#">Gain47</a> <a href="#">Gain50</a> <a href="#">Gain52</a> <a href="#">Gain72</a> <a href="#">Gain79</a> <a href="#">Gain86</a> <a href="#">Gain89</a>	E E E E E E E E E E E E E	[0 0 ; 2 0 ; 0 0 ; 0 -0.001 ; 0 0 ]
KD	Subsystem2	KD	20
KR	Subsystem2	KR	0.0100
KRt	Subsystem2	KRt	1
KW	Subsystem2	KW	1
Kh	Subsystem2	Kh	1000
Kpv	Subsystem2	Kpv	1
Ky	Subsystem2	Ky	0.0750
Kz	Subsystem2	Kz	0.0200
L2	<a href="#">Gain122</a>	L2	[ 36617.4154 ; 14954.113 ; 29.187299 ; -1.19563851 ; 29.25 ]
LKalman	<a href="#">Gain139</a>	LKalman	[-6.72506848e-08 ; 0.000873482884 ; 31622.7915 ; 2.03034019 ; 31622.7832 ]
L_K	<a href="#">Gain132</a>	L_K	[-2.753096e-07 ;

Variable Name	Parent Blocks	Calling character vector	Value
			0.06792792 ; 166.7864 ; 88.47414 ; 166.4324 ]
L_luen	<a href="#">Gain16</a> <a href="#">Gain23</a> <a href="#">Gain38</a> <a href="#">Gain59</a>	L_luen L_luen L_luen L_luen	[ 6.4444e-07 ; 2.6304e-07 ; -5.385e-12 ; -5.2455e-11 ; -5.6843e-12 ]
M	<a href="#">Gain25</a> <a href="#">Gain39</a> <a href="#">Gain7</a>	M M M	-5.4302e+03
M1	<a href="#">Gain65</a>	M1	-0.5618
M2	<a href="#">Gain74</a>	M2	-2.0281
M3	<a href="#">Gain81</a>	M3	-0.5618
M4	<a href="#">Gain64</a>	M4	-2.0281
ML	<a href="#">Gain116</a>	ML	-133.3333
M_K	<a href="#">Gain127</a>	M_K	-133.3333
M_lqr1	<a href="#">Gain93</a>	M_lqr1	-1.4155
M_lqr2	<a href="#">Gain92</a>	M_lqr2	-316.2436
M_lqr3	<a href="#">Gain102</a>	M_lqr3	-10.4883
M_lqr4	<a href="#">Gain109</a>	M_lqr4	-1.0612
RL	<a href="#">Gain120</a>	RL	[0.038667 -0.096729 -1.2951 -9.9843 0 ]
R_I	<a href="#">Gain34</a> <a href="#">Gain51</a>	R_I R_I	-2.3048e+05
R_K	<a href="#">Gain130</a>	R_K	[0.038667 -0.096729 -1.2951 -9.9843 0 ]
R_p	<a href="#">Gain42</a> <a href="#">Gain60</a>	R_p R_p	-0.0333
R_place	<a href="#">Gain24</a> <a href="#">Gain40</a> <a href="#">Gain8</a>	R_place R_place R_place	[0.666666666646 -0.52643333353 1520733.3352 -6202.4304837 - 1520787.5758 ]
R_place_lqr1	<a href="#">Gain94</a>	R_place_lqr1	[0.26538 -0.57631 -1.3527 -9.4691 - 5.3994e-10 ]
R_place_lqr2	<a href="#">Gain96</a>	R_place_lqr2	[0.6734355 -1.632356 -316.1269 - 282.625 -5.333659e-05 ]
R_place_lqr3	<a href="#">Gain103</a>	R_place_lqr3	[0.316947 -0.708034 -10.4187 -35.0466 -5.391e-08 ]

Variable Name	Parent Blocks	Calling character vector	Value
R_place_lqr4	<a href="#">Gain110</a>	R_place_lqr4	[1.0132 -2.5356 -0.89854 -9.2036 -5.2804e-10 ]
R_place_opt1	<a href="#">Gain66</a>	R_place_opt1	[0.41087719271 0.13530999535 1532528.3111 -6136.0443898 -1532528.8453 ]
R_place_opt2	<a href="#">Gain75</a>	R_place_opt2	[0.42906666639 0.088407533315 1531690.7727 -6139.9528037 -1531692.7708 ]
R_place_opt3	<a href="#">Gain82</a>	R_place_opt3	[0.41592982429 0.12230831114 1532295.8717 -6136.9895723 -1532296.4053 ]
R_place_opt4	<a href="#">Gain68</a>	R_place_opt4	[0.43866666639 0.063704333305 1531249.138 -6141.7486505 -1531251.1348 ]
R_x	<a href="#">Gain41</a> <a href="#">Gain61</a>	R_x R_x	[8.00043483972 -13.2659638163 12189094.4305 -62483.7810163 -12279335.5748 ]
Ri_F	<a href="#">Gain134</a>	Ri_F	-1.0000
Rp_F	<a href="#">Gain137</a>	Rp_F	-0.0333
Rx_F	<a href="#">Gain138</a>	Rx_F	[0.304798 -0.676955 -8.21381 -28.7951 -5.39297e-10 ]
TD	Subsystem2	TD	0.5000
TRt	Subsystem2	TRt	0.0040
TW1	Subsystem2	TW1	20
TW2	Subsystem2	TW2	50
Ty	Subsystem2	Ty	0.0100
Z	<a href="#">Gain26</a>	Z	[0 0 ]
xs	<a href="#">Integrator25</a>	xs	[0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ]

Table 1.3. Model Functions

Function Name	Parent Blocks	Calling character vector
pi	<a href="#">Integrator</a> <a href="#">Integrator1</a> <a href="#">Integrator10</a> <a href="#">Integrator11</a> <a href="#">Integrator12</a>	-pi -pi -pi -pi -pi -pi

Function Name	Parent Blocks	Calling character vector
	<a href="#">Integrator13</a>	-pi
	<a href="#">Integrator14</a>	-pi
	<a href="#">Integrator15</a>	-pi
	<a href="#">Integrator16</a>	-pi
	<a href="#">Integrator17</a>	-pi
	<a href="#">Integrator18</a>	-pi
	<a href="#">Integrator19</a>	-pi
	<a href="#">Integrator2</a>	-pi
	<a href="#">Integrator20</a>	-pi
	<a href="#">Integrator21</a>	-pi
	<a href="#">Integrator22</a>	-pi
	<a href="#">Integrator23</a>	-pi
	<a href="#">Integrator24</a>	-pi
	<a href="#">Integrator25</a>	-pi
	<a href="#">Integrator26</a>	-pi
	<a href="#">Integrator3</a>	-pi
	<a href="#">Integrator4</a>	-pi
	<a href="#">Integrator5</a>	-pi
	<a href="#">Integrator6</a>	$2\pi \cdot (1/300)$
	<a href="#">Integrator7</a>	$2\pi \cdot (10^{-2})$
	<a href="#">Integrator8</a>	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \quad 2\pi \cdot (1/300)]$
	<a href="#">Integrator9</a>	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \quad 2\pi \cdot (1/300)]$
	<a href="#">Sine Wave12</a>	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \quad 2\pi \cdot (1/300)]$
	<a href="#">Sine Wave14</a>	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \quad 2\pi \cdot (1/300)]$
	<a href="#">Sine Wave</a>	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \quad 2\pi \cdot (1/300)]$
	<a href="#">Sine Wave1</a>	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \quad 2\pi \cdot (1/300)]$
	<a href="#">Sine Wave10</a>	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \quad 2\pi \cdot (1/300)]$
	<a href="#">Sine Wave11</a>	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \quad 2\pi \cdot (1/300)]$
	<a href="#">Sine Wave13</a>	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \quad 2\pi \cdot (1/300)]$
	<a href="#">Sine Wave2</a>	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \quad 2\pi \cdot (1/300)]$
	<a href="#">Sine Wave3</a>	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \quad 2\pi \cdot (1/300)]$
	<a href="#">Sine Wave4</a>	pi
	<a href="#">Sine Wave5</a>	pi
	<a href="#">Sine Wave6</a>	pi
	<a href="#">Sine Wave7</a>	pi
	<a href="#">Sine Wave8</a>	pi
	<a href="#">Sine Wave9</a>	pi
	<a href="#">Integrator</a>	pi
	<a href="#">Integrator1</a>	pi
	<a href="#">Integrator10</a>	pi
	<a href="#">Integrator11</a>	pi

Function Name	Parent Blocks	Calling character vector
	<a href="#">Integrator12</a>	pi
	<a href="#">Integrator13</a>	pi
	<a href="#">Integrator14</a>	pi
	<a href="#">Integrator15</a>	pi
	<a href="#">Integrator16</a>	pi
	<a href="#">Integrator17</a>	pi
	<a href="#">Integrator18</a>	pi
	<a href="#">Integrator19</a>	pi
	<a href="#">Integrator2</a>	pi
	<a href="#">Integrator20</a>	pi
	<a href="#">Integrator21</a>	pi
	<a href="#">Integrator22</a>	pi
	<a href="#">Integrator23</a>	pi
	<a href="#">Integrator24</a>	
	<a href="#">Integrator25</a>	
	<a href="#">Integrator26</a>	
	<a href="#">Integrator3</a>	
	<a href="#">Integrator4</a>	
	<a href="#">Integrator5</a>	
	<a href="#">Integrator6</a>	
	<a href="#">Integrator7</a>	
	<a href="#">Integrator8</a>	
	<a href="#">Integrator9</a>	

**Table 1.4. Band-Limited White Noise. Block Properties**

Name	Parent	Cov	Ts	Seed
Band-Limited White Noise	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	[0.003]	0.1	[23341]
Band-Limited White Noise1	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	[0.003]	0.1	[23341]

**Table 1.5. Constant Block Properties**

Name	Parent	Value	Out Data Type Str	Lock Scale	Sample Time	Frame Period
Constant	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	50	Inherit: Inherit from 'Constant value'	off	inf	inf

**Table 1.6. Integrator Block Properties**

Name	Parent	External Reset	Initial Condition Source	Initial Condition	Wrap State	Wrapped State Upper Value	Wrapped State Lower Value	Absolute Tolerance	Zero Cross	Continuous State Attributes
Integrator	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator1	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator10	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator11	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator12	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal	[1 2 3 4 5]	off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator13	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator14	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator15	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator16	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator17	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator18	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator19	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator2	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal	[1 2 3 4 5]	off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator20	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator21	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator22	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal	[1 1 1 1 1]	off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator23	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator24	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal	[1 1 1 1 1]	off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator25	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal	xs	off	pi	-pi	auto	on	"

Name	Parent	External Reset	Initial Condition Source	Initial Condition	Wrap State	Wrapped State Upper Value	Wrapped State Lower Value	Absolute Tolerance	Zero Cross	Continuous State Attributes
Integrator26	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator3	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator4	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal	[1 2 3 4 5]	off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator5	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator6	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator7	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal	[1 2 3 4 5]	off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator8	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"
Integrator9	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	none	internal		off	pi	-pi	auto	on	"

Table 1.7. Mux Block Properties

Name	Parent	Inputs	Display Option
Mux	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	2	bar
Mux1	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	2	bar
Mux2	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	2	bar
Mux3	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	4	bar
Mux4	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	3	bar
Mux5	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	5	bar
Mux7	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	4	bar

Table 1.8. Saturate Block Properties

Name	Parent	Upper Limit	Lower Limit	Linearize As Gain	Zero Cross	Out Data Type Str	Lock Scale	Rnd Meth
Saturation	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	5	-5	on	on	Inherit: Same as input	off	Floor



**Table 1.9. Sin Block Properties**

Name	Parent	Sine Type	Time Source	Amplitude	Bias	Frequency	Phase	Samples	Offset	Sample Time
Sine Wave	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	[1 10]	0	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \cdot 2\pi \cdot (1/300)]$	0	10	0	0
Sine Wave 1	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	[1 10]	0	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \cdot 2\pi \cdot (1/300)]$	0	10	0	0
Sine Wave 10	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	[1 10]	0	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \cdot 2\pi \cdot (1/300)]$	0	10	0	0
Sine Wave 11	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	[1 10]	0	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \cdot 2\pi \cdot (1/300)]$	0	10	0	0
Sine Wave 12	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	10	0	$2\pi \cdot (1/300)$	0	10	0	0
Sine Wave 13	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	[1 10]	0	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \cdot 2\pi \cdot (1/300)]$	0	10	0	0
Sine Wave 14	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	1	0	$2\pi \cdot (10^{-2})$	0	10	0	0
Sine Wave 2	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	[1 10]	0	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \cdot 2\pi \cdot (1/300)]$	0	10	0	0
Sine Wave 3	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	[1 10]	0	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \cdot 2\pi \cdot (1/300)]$	0	10	0	0
Sine Wave 4	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	[1 10]	0	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \cdot 2\pi \cdot (1/300)]$	0	10	0	0

Name	Parent	Sine Type	Time Source	Amplitude	Bias	Frequency	Phase	Samples	Offset	Sample Time
Sine Wave 5	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	[1 10]	0	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \cdot 2\pi \cdot (1/300)]$	0	10	0	0
Sine Wave 6	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	[1 10]	0	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \cdot 2\pi \cdot (1/300)]$	0	10	0	0
Sine Wave 7	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	[1 10]	0	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \cdot 2\pi \cdot (1/300)]$	0	10	0	0
Sine Wave 8	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	[1 10]	0	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \cdot 2\pi \cdot (1/300)]$	0	10	0	0
Sine Wave 9	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	Time based	Use simulation time	[1 10]	0	$[2\pi \cdot (10^{-2}) \cdot 2\pi \cdot (1/300)]$	0	10	0	0

Table 1.10. Step Block Properties

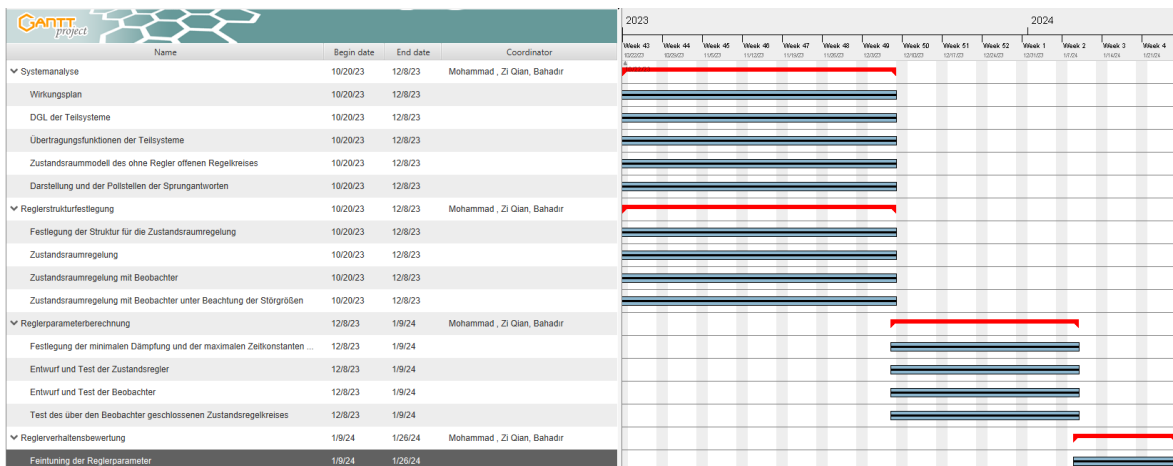
Name	Parent	Time	Before	After	Out Data Type Str	Sample Time	Zero Cross
Step1	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step10	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step11	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step12	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step13	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step14	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step15	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step16	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step17	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step19	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step2	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step3	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step4	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step5	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step6	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step7	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on
Step8	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on

Name	Parent	Time	Before	After	Out Data Type Str	Sample Time	Zero Cross
Step9	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>	10	20	45	double	0	on

Table 1.11. Signal Properties

Graphical Name	Parent
m.D	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>
Py	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>
Rt	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>
T.aus	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>
Taus	<a href="#">LNB_ET_Gr3_Simulink</a>

## C. GANTT



## D. LOP

Nr.	Datum	Kurzbeschreibung	Fortschritt	Verantwortlicher	zu erledigen bis	Status
1	29/11/2023	C_obs_R und C_obsZ	Herr Goldbach hat diese matrizen im Übung (simulink) benutzt, als eine Rückkopplung. Wenn wir versuchen, die gleiche matrizen zu berechnen, bekommen wir eine Fehlermeldung.	Alp Cetin / Mohammad	8/12/2023	geschlossen
2	27/12/2023	Infinity error when running the parameter calculation simulink model	We are getting an infinity error from the integrator in simulink. The efforts of sloving the issue by decreasing the fixed step size did not give any results.	Alp Cetin / Zi Qian	8/12/2023	geschlossen
3	22/1/2024	Finetuning control variable X graph is diverging, wont go into a steady state	The graph of X is not stabilising. Changing the PI - State controller parameters (matrixes) or the Kalman's Bucky observer matrixes has absolutaley zero effect on the non linear sub system.	Alp / Mohammad / Zi Qian	26/1/2024	geschlossen