

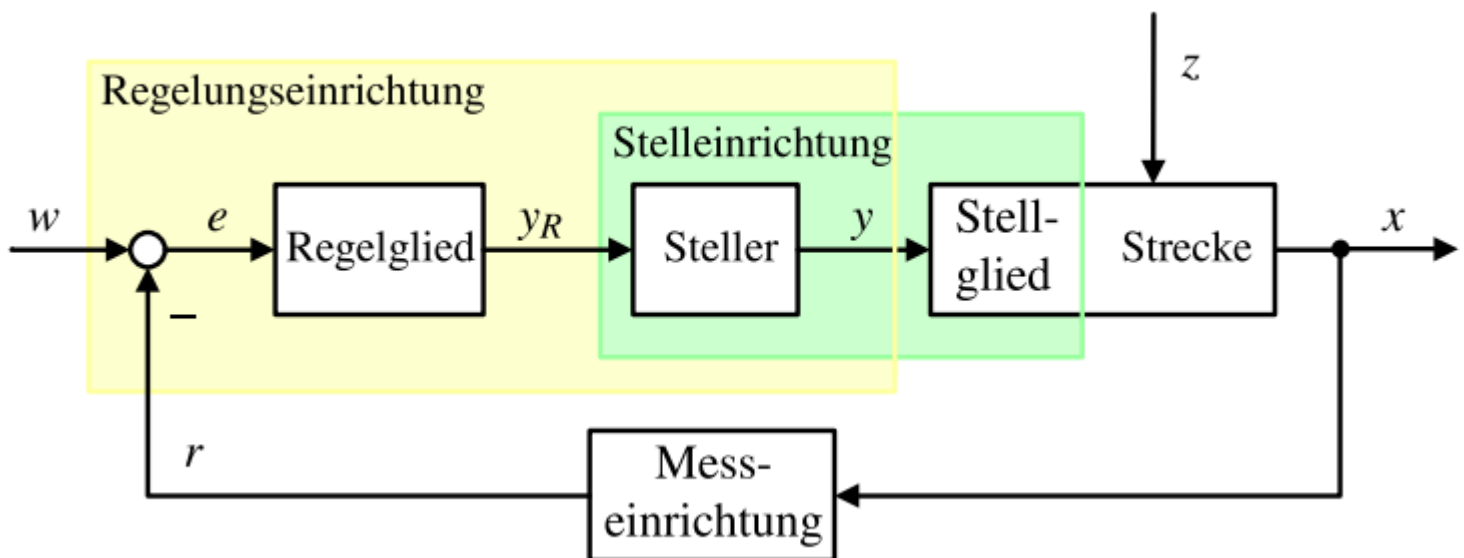
Versuchsprotokoll von Gruppe 17

Mitglieder:

1. Zican Huang - 417592
2. Yating Liu - 424624
3. Hongli Mao - 417595
4. Qigang Wang - 415152

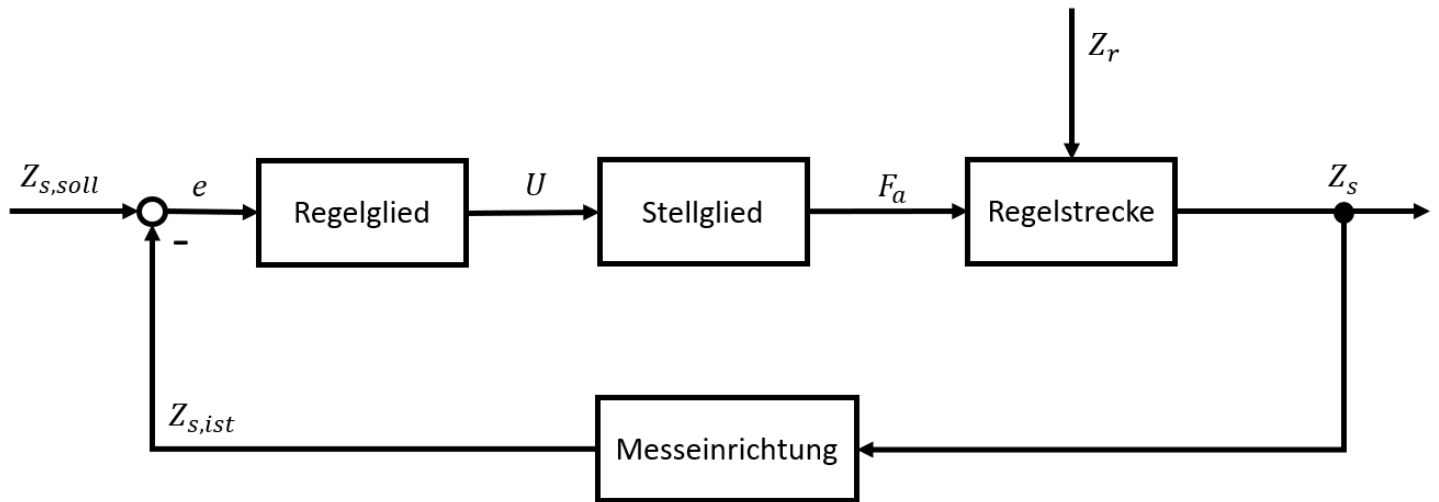
Lösung

Aufgabe 1

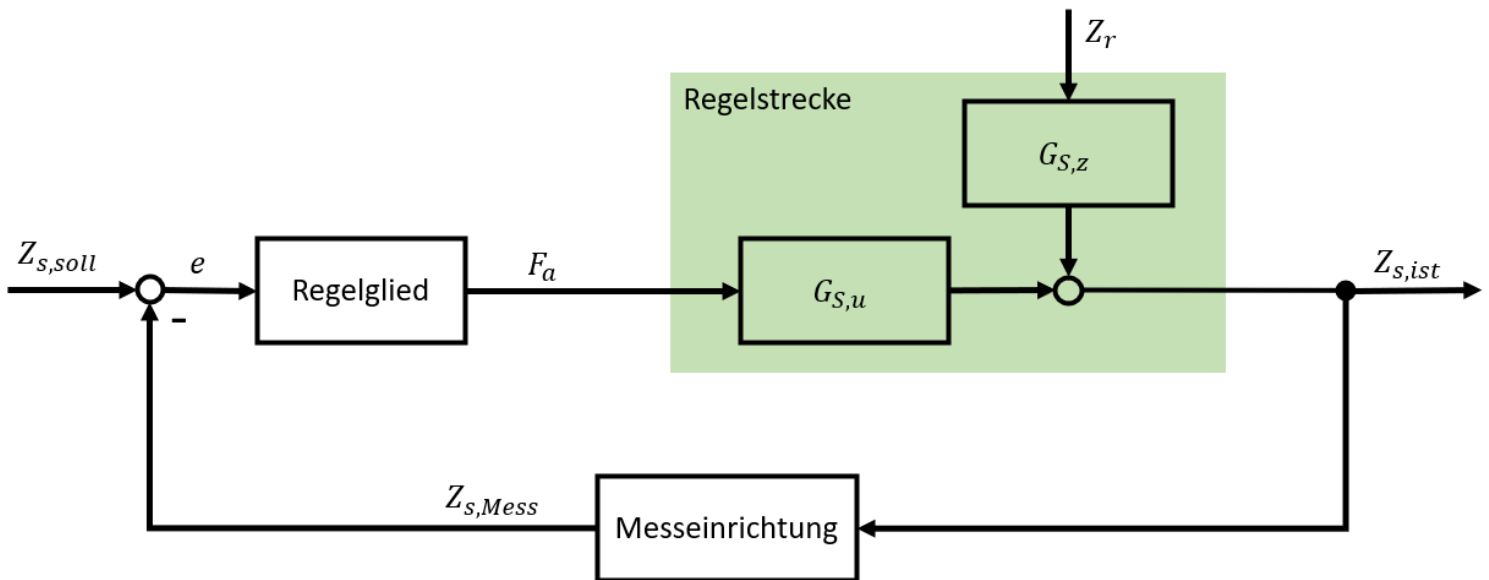


- **Störgröße:** externe Weganregung Z_r
- **Stellgröße:** Aktorkraft F_a
- **Regelgröße:** Auslenkung Z_s

Aufgabe 2



Regelglied und Stellglied werden zusammengefasst.



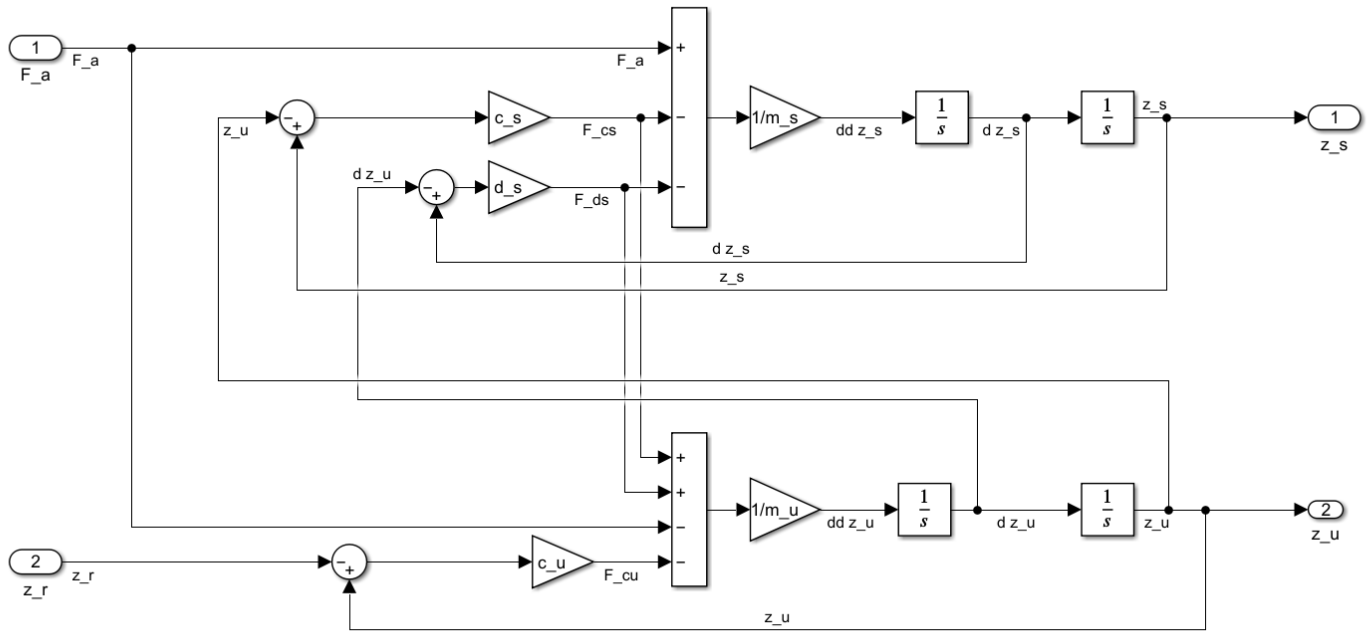
Aufgabe 3

$$m_s * \ddot{z}_s + d_s * \dot{z}_s + c_s * z_s = d_s * \dot{z}_u + c_s * z_u + F_a$$

$$m_u * \ddot{z}_u + d_s * \dot{z}_u + (c_s + c_u) * z_u = d_s * \dot{z}_s + c_s * z_s + c_u * z_r - F_a$$

Aufgabe 4

Kann folgendes Bild als Wirkungsplan betrachtet werden?



Aufgabe 5

$$G_{s,u}(s) = \frac{Z_s(s)}{F_a(s)} = \frac{m_u s^2 + c_u}{m_s m_u s^4 + (m_s + m_u) d_s s^3 + (m_s(c_u + c_s) + m_u c_s) s^2 + c_u d_s s + c_s c_u}$$

$$G_{s,z}(s) = \frac{Z_s(s)}{Z_r(s)} = \frac{c_u d_s s + c_u c_s}{m_s m_u s^4 + (m_s + m_u) d_s s^3 + (m_s(c_u + c_s) + m_u c_s) s^2 + c_u d_s s + c_s c_u}$$

Aufgabe 6

Das Modell wird im der Vorlage Aufgabe_6_Vorlage.mdl umgesetzt. Das Ergebnis ist richtig.

Aufgabe_6_Vorlage

Aufgabe 7

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% IRT Regelungstechnisches Labor
% Aufgabe 7 und 8 - Vorlage
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clc
clear
close all

```

```
% Parameter der Regelstrecke Viertelfahrzeug
```

```
% Massen
```

```
m_s = 4.5;           % Aufbaumasse [kg]
```

```
m_u = 0.9;           % Radmasse [kg]
```

```
% Federsteifigkeiten
```

```
c_s = 177;           % Federsteifigkeit c_s [N/m]
```

```
c_u = 885;           % Federsteifigkeit c_u [N/m]
```

```
% Dämpferkonstanten
```

```
d_s = 0.142*10^3*0.1; % Dämpferkonstante d_s [Ns/m]
```

```
%% Teilübertragungsfunktion aufstellen
```

```
% Koeffizienten des Zählerpolynoms
```

```
b2_u = m_u;
```

```
b1_u = 0;
```

```
b0_u = c_u;
```

```
% Koeffizienten des Nennerpolynoms
```

```
a4_u = m_u*m_s;
```

```
a3_u = (m_u+m_s)*d_s;
```

```
a2_u = m_s*(c_s+c_u)+m_u*c_s;
```

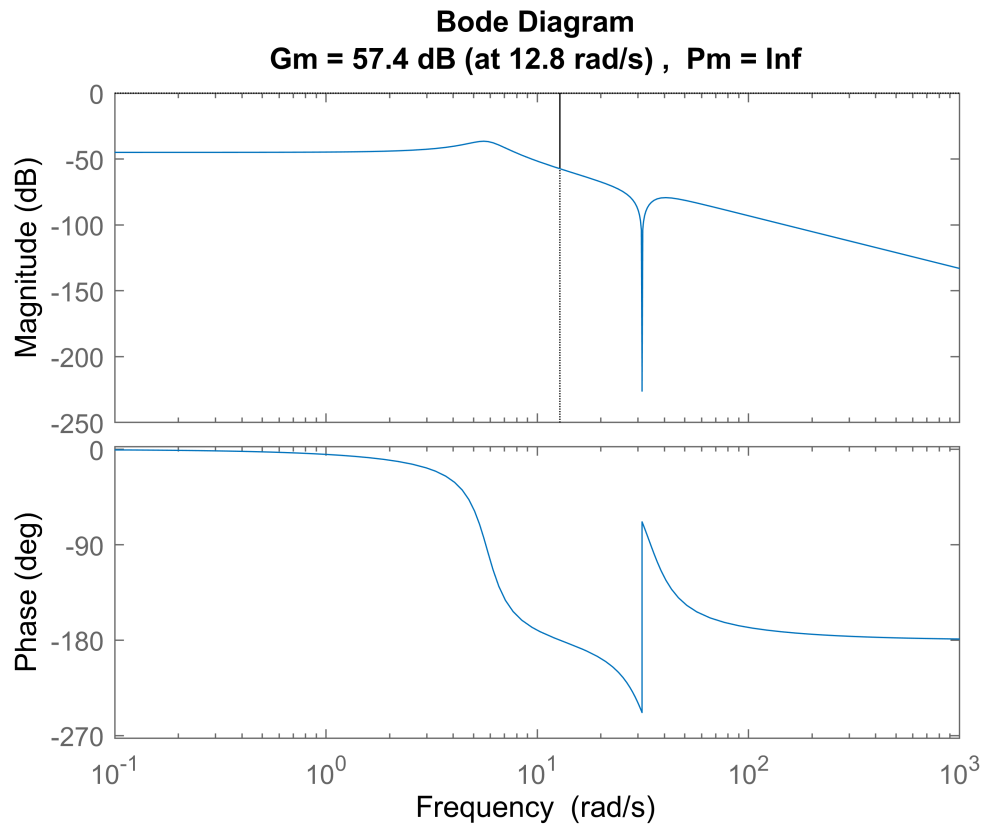
```
a1_u = d_s*c_u;
```

```
a0_u = c_s*c_u;
```

```
Gsu = tf([b2_u,b1_u,b0_u],[a4_u,a3_u,a2_u,a1_u,a0_u]);
```

Ohne Regler:

```
margin(Gsu)
```



```
G_Ohne_Regler = feedback(Gsu,1)
```

```
G0_Ohne_Regler =
```

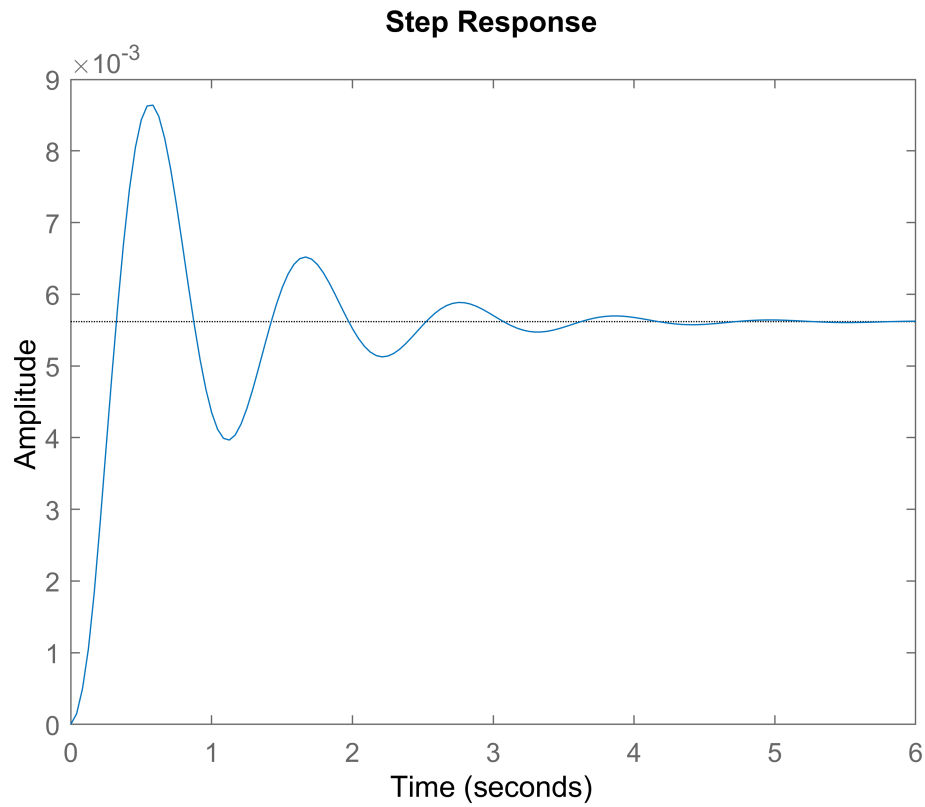
```

      0.9 s^2 + 885
-----
4.05 s^4 + 76.68 s^3 + 4939 s^2 + 1.257e04 s + 157530

```

```
Continuous-time transfer function.
```

```
step(G_Ohne_Regler)
```



Einschwingtoleranz = 2%

Ohne Regler: $C = 1$

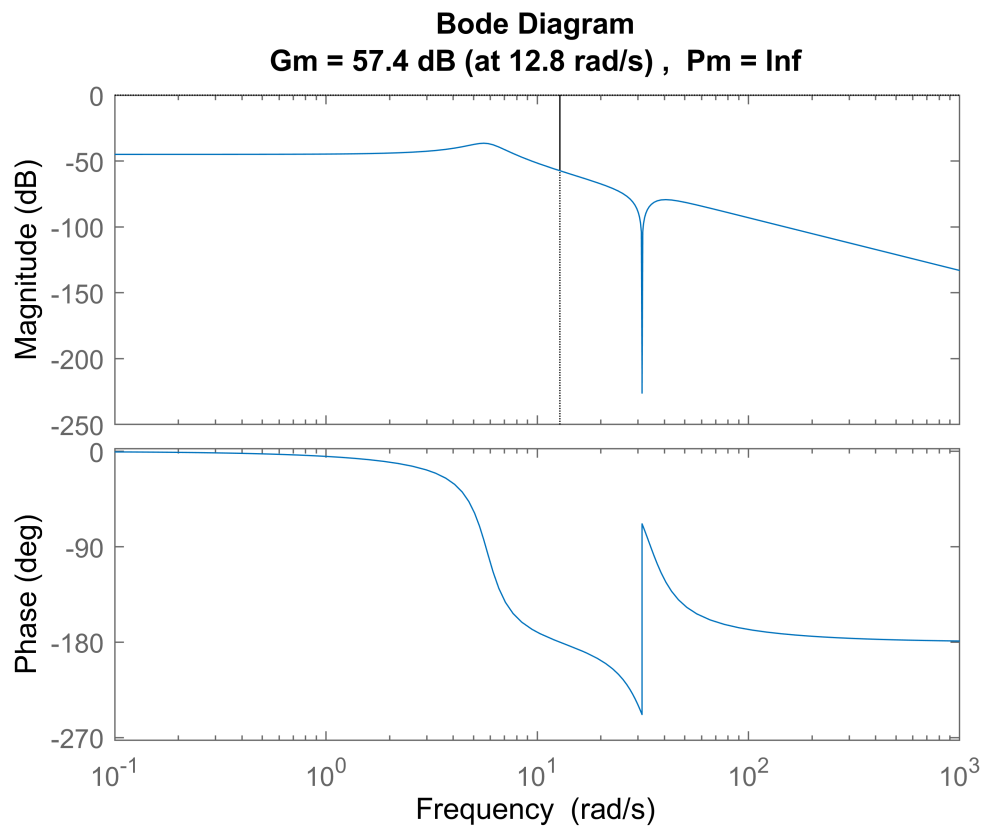
- Überschwingweite: 53,7%
- Anschlagzeit: 0,32s
- Einschwingzeit: 3,44s
- Bleibender Regelabweichung: $(1 - 0,00562)/1 = 99,438\%$

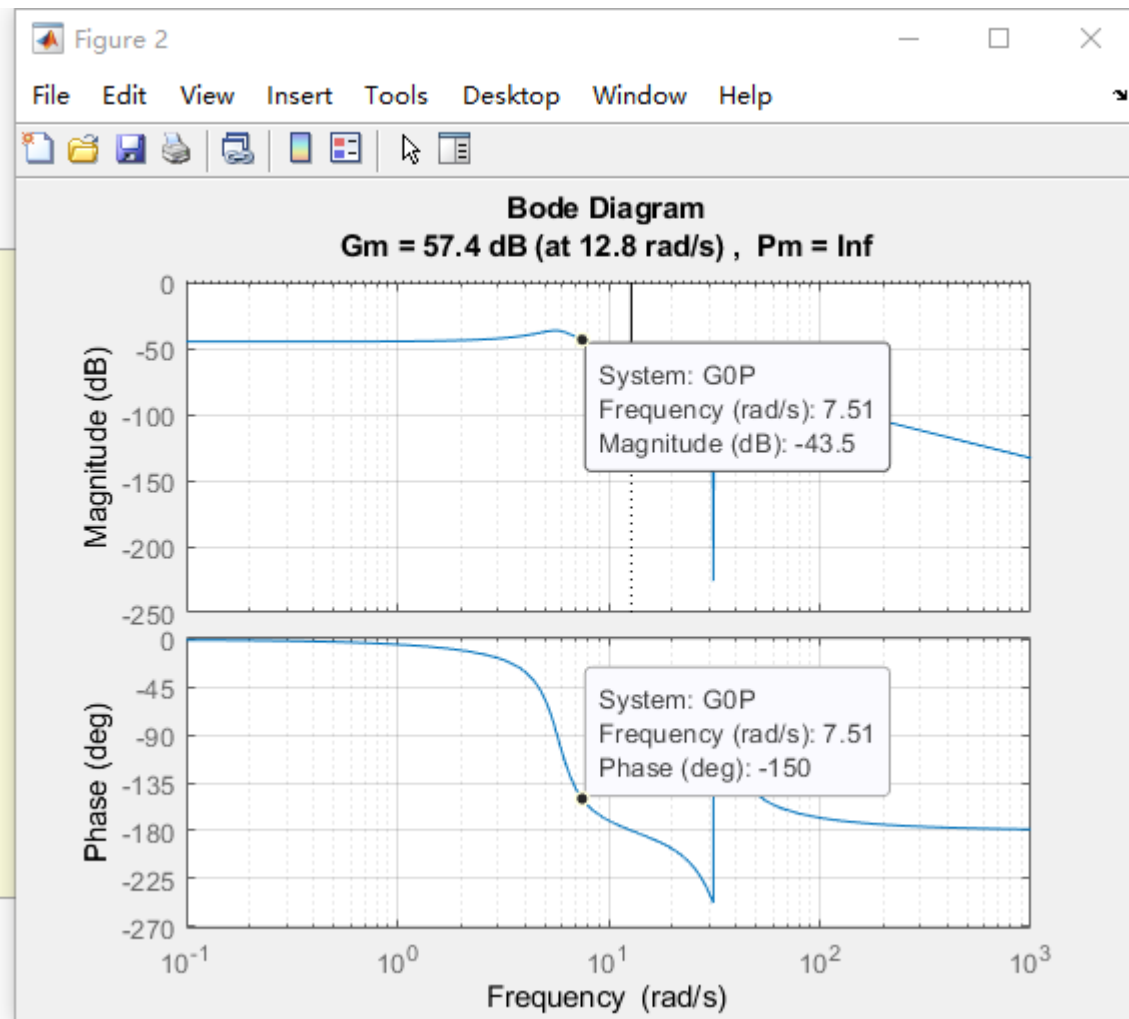
Mit P-Regler:

```
%% Reglerauslegung

% P-Regler
Gr_P = 1;

% Offenen Regelkreis aufstellen
G0P = Gsu*Gr_P;
% Bode Plot für offenen Regelkreis
margin(G0P);
```





% Reglerauslegung ergänzen

% Aufgabe 7

G0P = Gsu*db2mag(43.5)

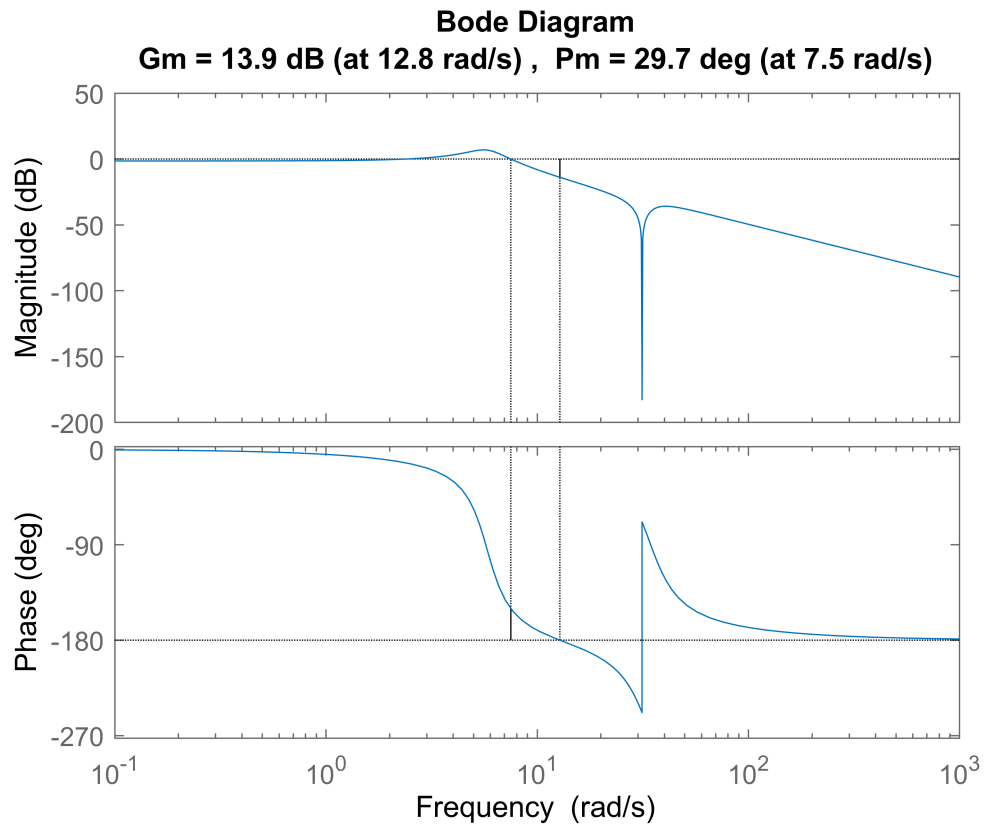
G0P =

134.7 s^2 + 1.324e05

 4.05 s^4 + 76.68 s^3 + 4938 s^2 + 1.257e04 s + 156645

Continuous-time transfer function.

margin(G0P)



```
G_P_Regler = feedback(G0P,1)
```

```
G_P_Regler =
```

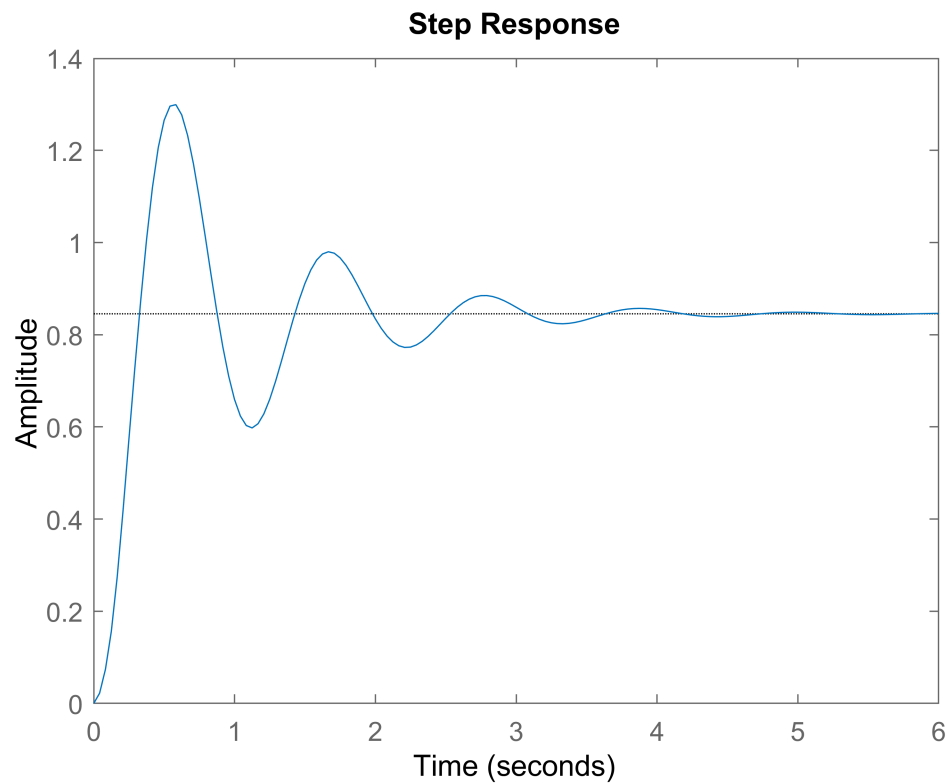
```

          134.7 s^2 + 1.324e05
-----
4.05 s^4 + 76.68 s^3 + 5073 s^2 + 1.257e04 s + 2.891e05

```

```
Continuous-time transfer function.
```

```
step(G0P)
```



Mit P-Regler: $C = 148.37$

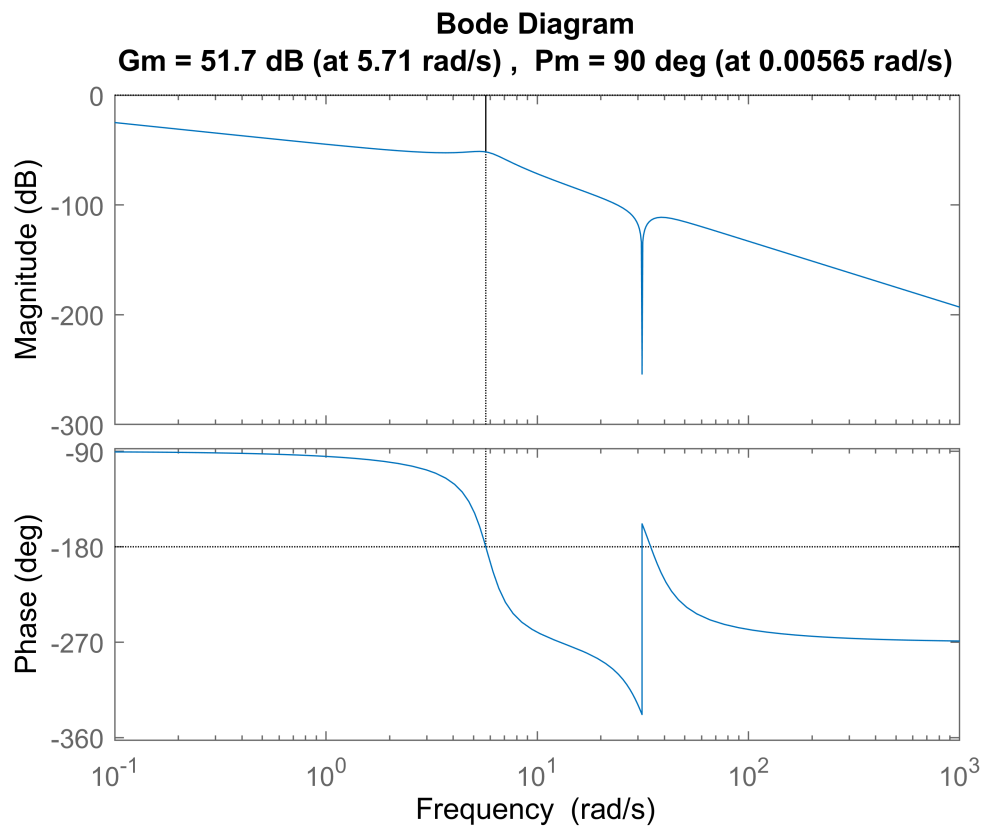
- Überschwingweite: 68,1%
- Anschwingzeit: 0,23s
- Einschwingzeit: 4,16s
- Bleibender Regelabweichung: $1 - 0,456 = 0,544$

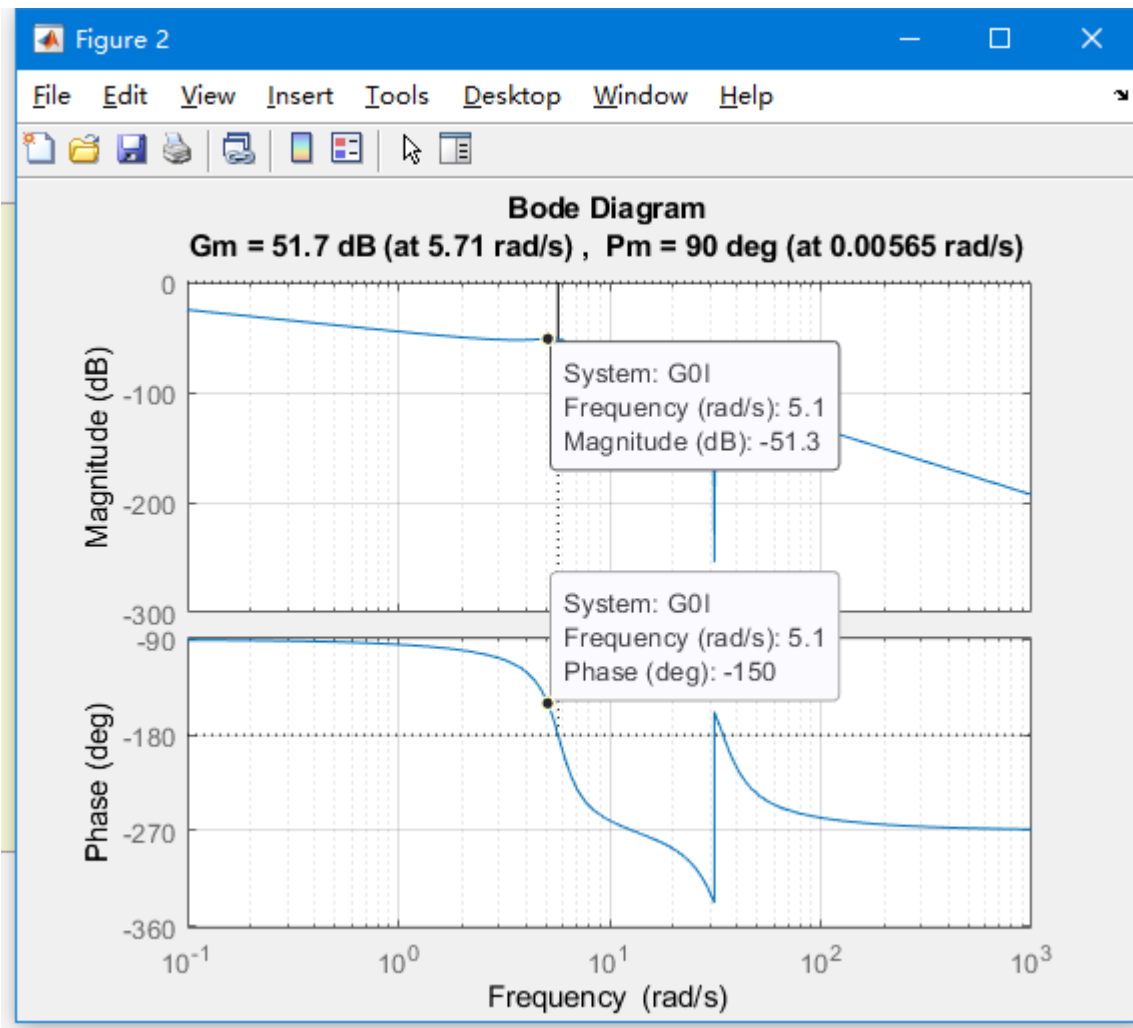
P Regler ist nicht geeignet zur Regelung des Viertelfahrzeugs, weil es immer noch Reglerabweichung gibt.

Mit I-Regler

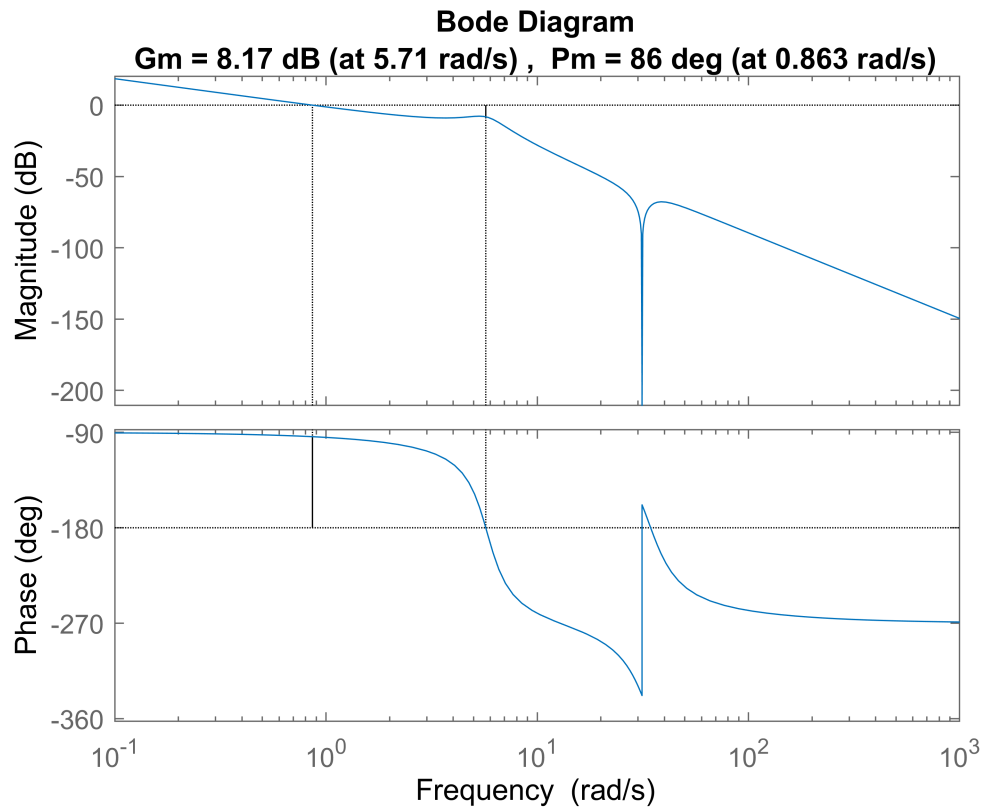
```
s = tf('s');
% PI-Regler
Gr_I = 1/s;

% Offenen Regelkreis aufstellen
G0I = Gsu*Gr_I;
% Bode Plot für offenen Regelkreis
margin(G0I);
```





```
G0I = Gsu*db2mag(43.5)/s;  
margin(G0I)
```



```
G_I_Regler = feedback(G0I,1)
```

```
G_I_Regler =
```

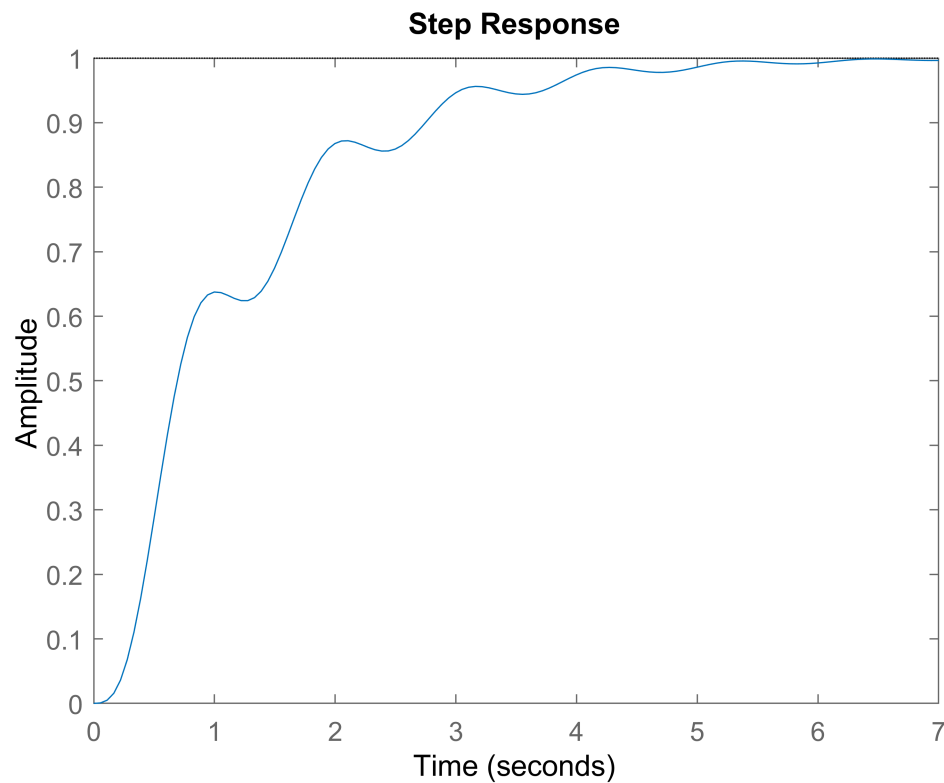
```

          134.7 s^2 + 1.324e05
-----
4.05 s^5 + 76.68 s^4 + 4938 s^3 + 1.27e04 s^2 + 156645 s + 1.324e05

```

```
Continuous-time transfer function.
```

```
step(G_I_Regler)
```



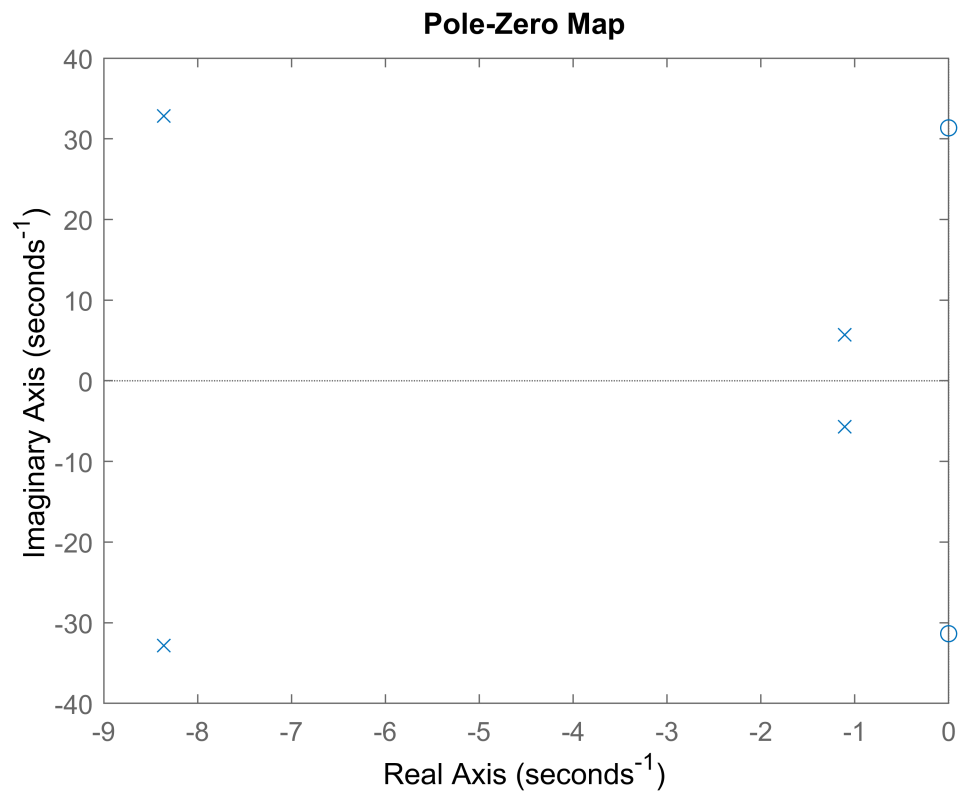
Mit I-Regler: Es ist unmöglich, eine Phasenreserve von 30° zu kriegen.

- Überschwingweite: 0
- Anschwingzeit: 4,08S
- Einschwingzeit: 4,84S
- Bleibender Regelabweichung: $(1-1)/1 = 0$

I Regler ist geeignet zur Regelung des Viertelfahrzeugs. Das einzige Problem ist, dass die gewünschte Phasenreserve nicht realisierbar ist.

Aufgabe 8

```
% PID Regler  
pzmap(Gsu)
```



```
pole(Gsu)
```

```
ans = 4x1 complex
-8.3611 +32.8448i
-8.3611 -32.8448i
-1.1056 + 5.6964i
-1.1056 - 5.6964i
```

Zwei dominanten Polstellen:

- -1.1056 + 5.6964i
- -1.1056 - 5.6964i

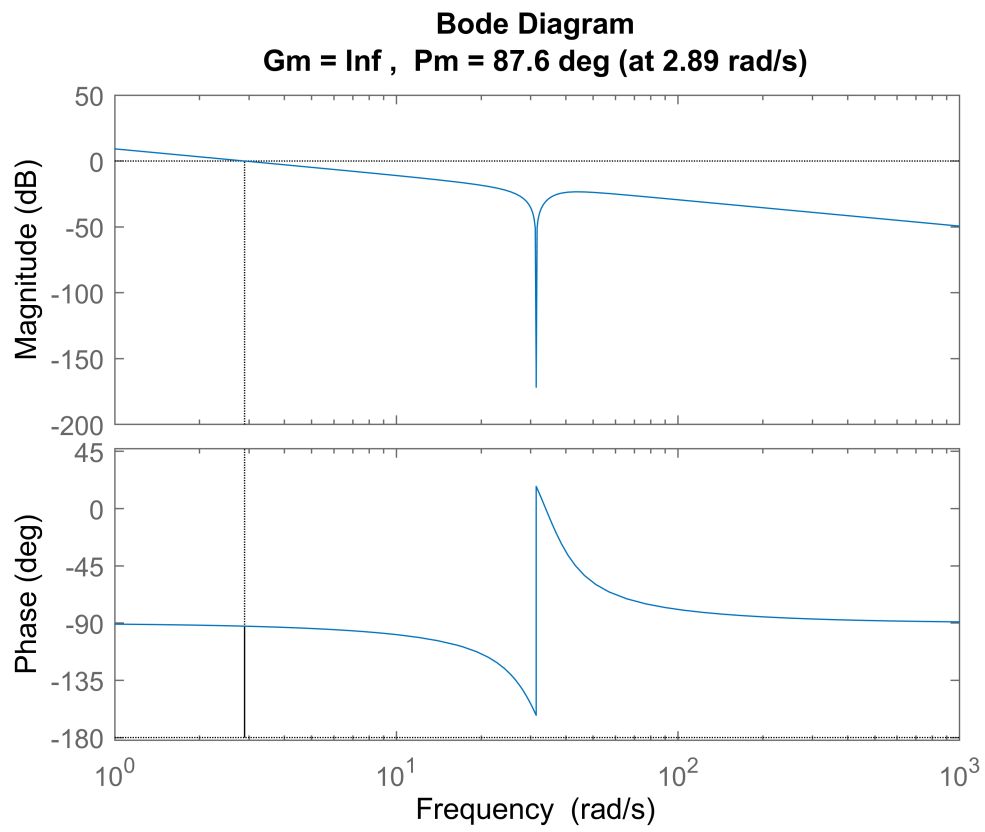
$p = (s + 1.1056 + 5.6964i)(s + 1.1056 - 5.6964i) = s^2 + 2.211 s + 33.67 = 33.67 \cdot (1/33.67 s^2 + 2.211/33.67 s + 1)$

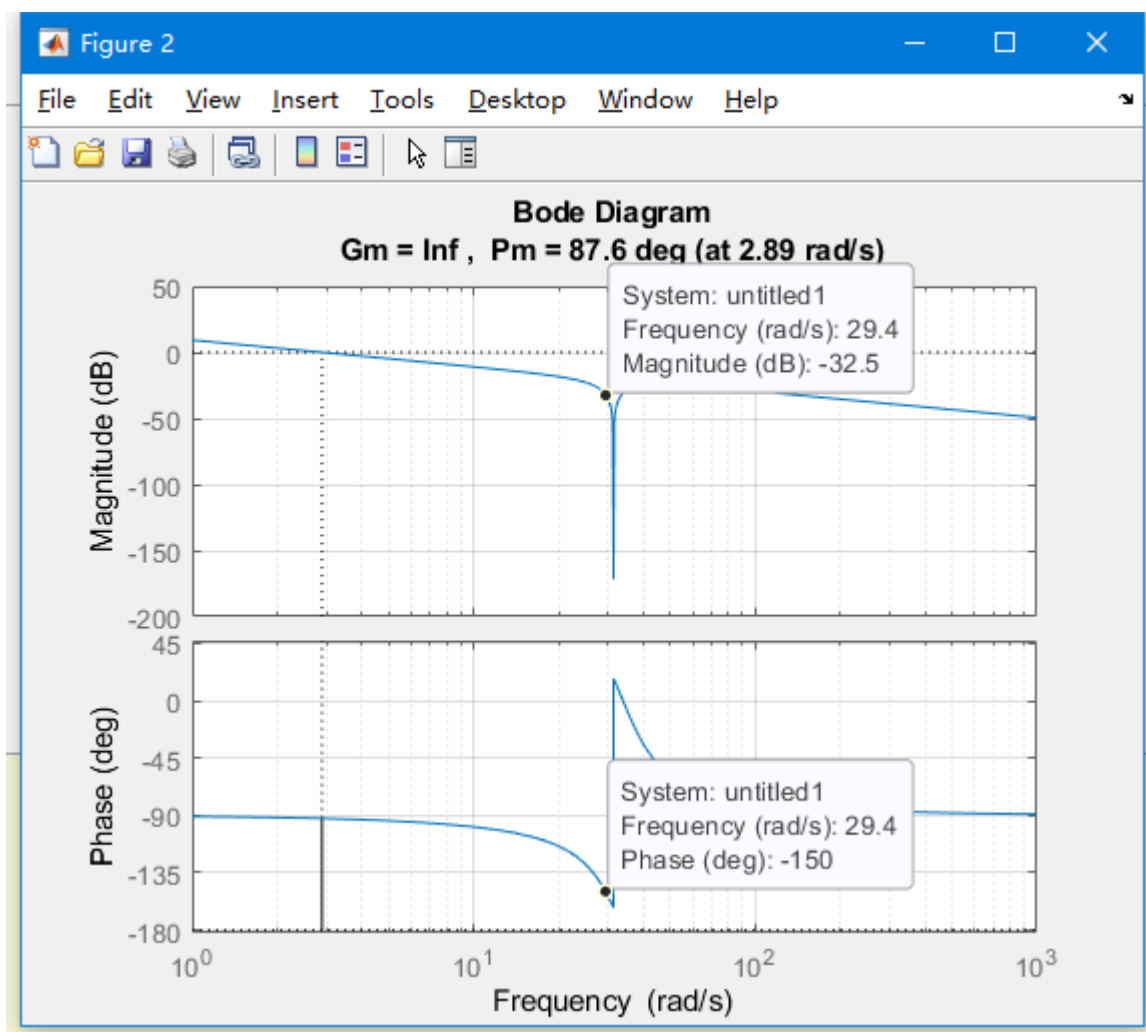
```
% Regler
K_p = 1;
s = tf('s');
R_3 = K_p*33.67*(1/33.67*s^2 + 2.211/33.67*s+1)/(2.211/33.67*s);
```

$$\frac{U}{E}(s) = K_{para} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_N \cdot s} + T_V \cdot s \right)$$

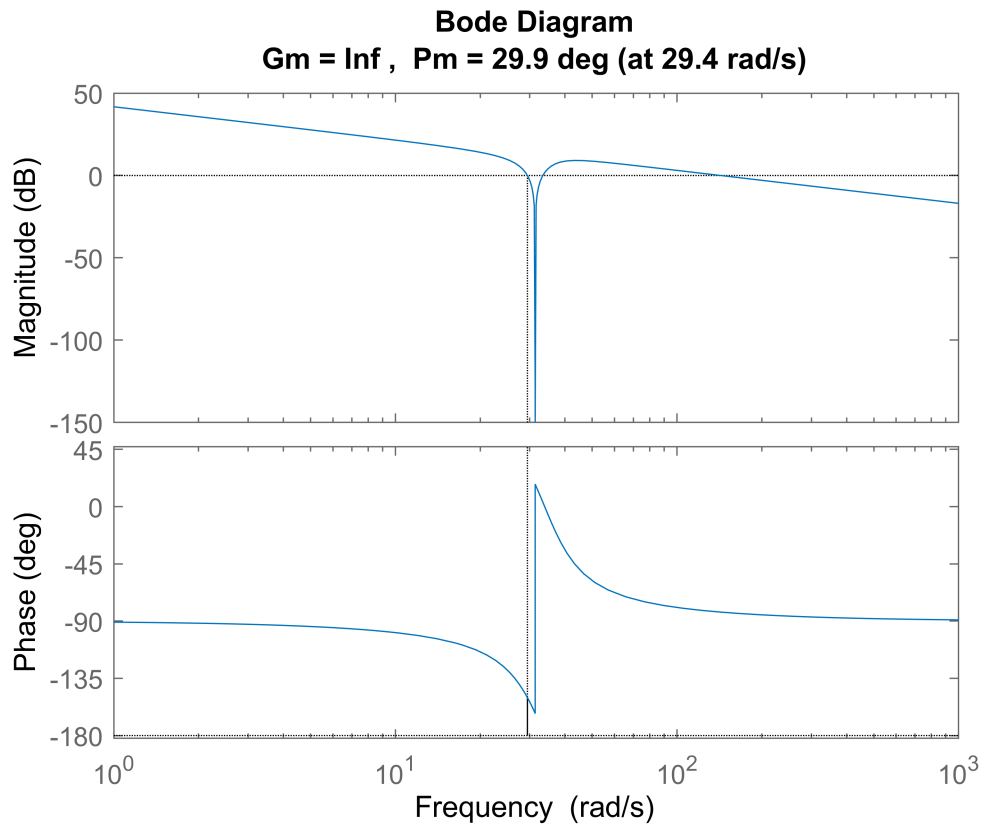
$$\frac{U}{E}(s) = K_{para} \frac{T_N \cdot T_V \cdot s^2 + T_N \cdot s + 1}{T_N \cdot s}$$

```
margin(Gsu*R_3)
```

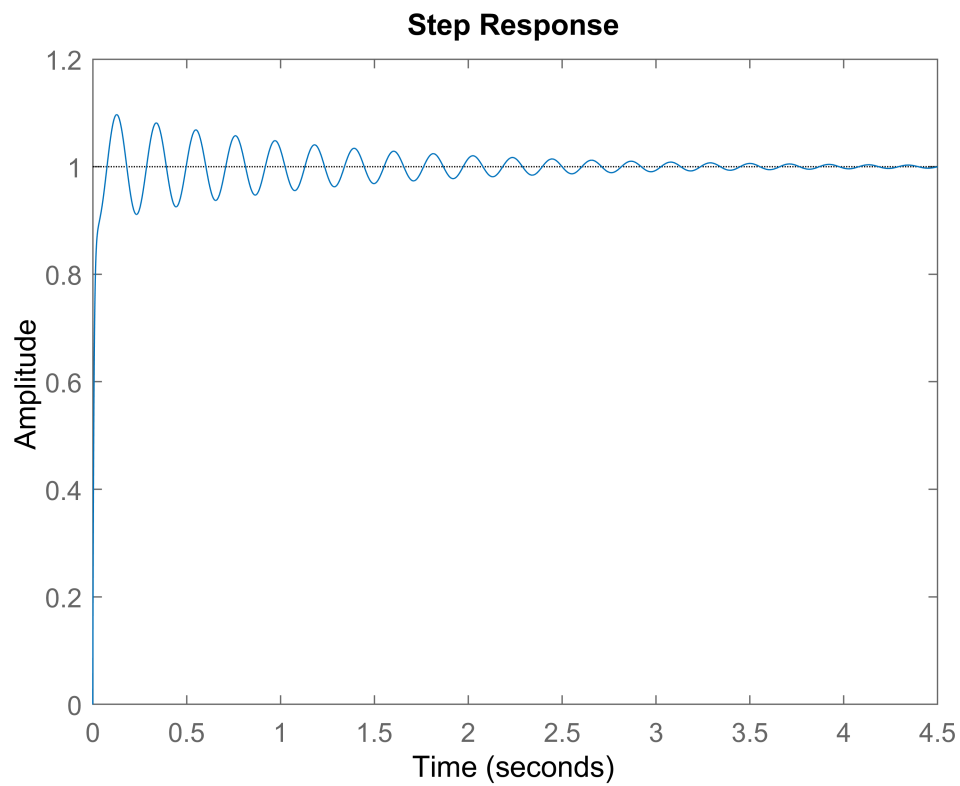




```
K_p = db2mag(32.5);
Gr_PID = K_p*33.67*(1/33.67*s^2 + 2.211/33.67*s+1)/(2.211/33.67*s);
margin(Gsu*Gr_PID)
```



```
G_PID = feedback(Gsu*Gr_PID,1);  
step(G_PID)
```



- $T_N = 2.211/33.67$
- $T_V = 1/2.211$
- $K_p = \text{db2mag}(32.5) * 33.67 = 1419.8521$

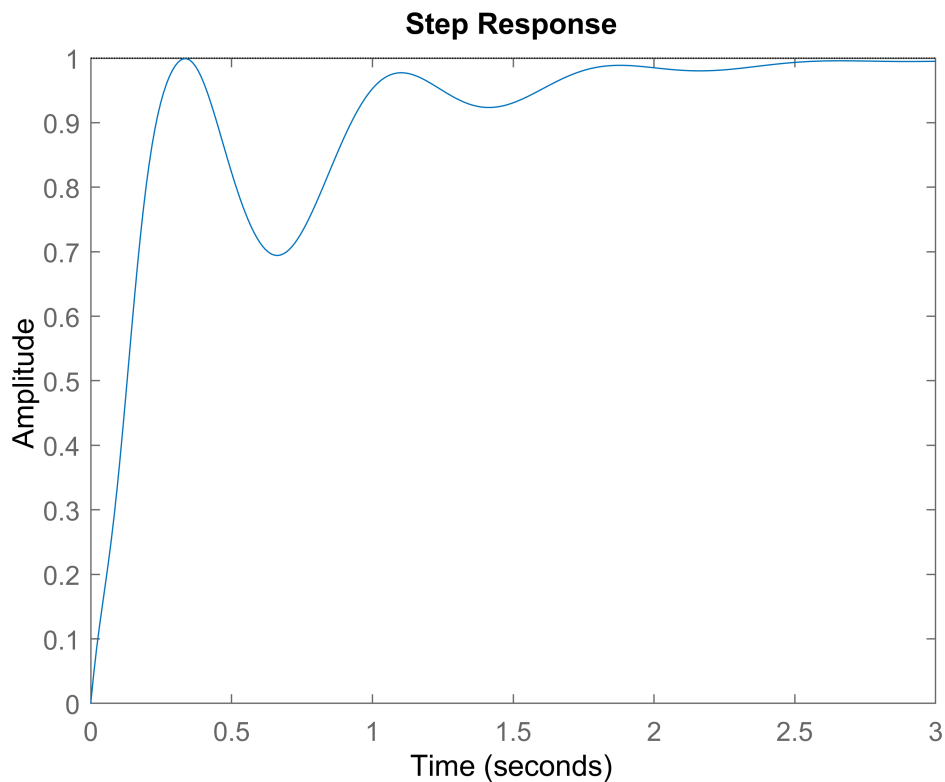
Mit PID-Regler: $C = 1419.8521 * (1 + 1/(2.211/33.67*s) + 1/2.211*s)$

- Überschwingweite: 9.69%
- Anschwingzeit: 0,0689s
- Einschwingzeit: 2,03s
- Bleibender Regelabweichung: 0

Aufgabe 9

PID Regler mit sisotool

```
sisotool(Gsu);
R_9 = 21.028*(s+4.56)*(s+6.17)/s;
G_PID_A9 = feedback(Gsu*R_9,1);
step(G_PID_A9)
```



- Es gibt kaum Überschwingung
- Die Einschwingzeit ist auch klein.

- Überschwingweite: 0
- Anschwingzeit: 0,289S
- Einschwingzeit: 1,74S
- Bleibender Regelabweichung: $(1-1)/1 = 0$

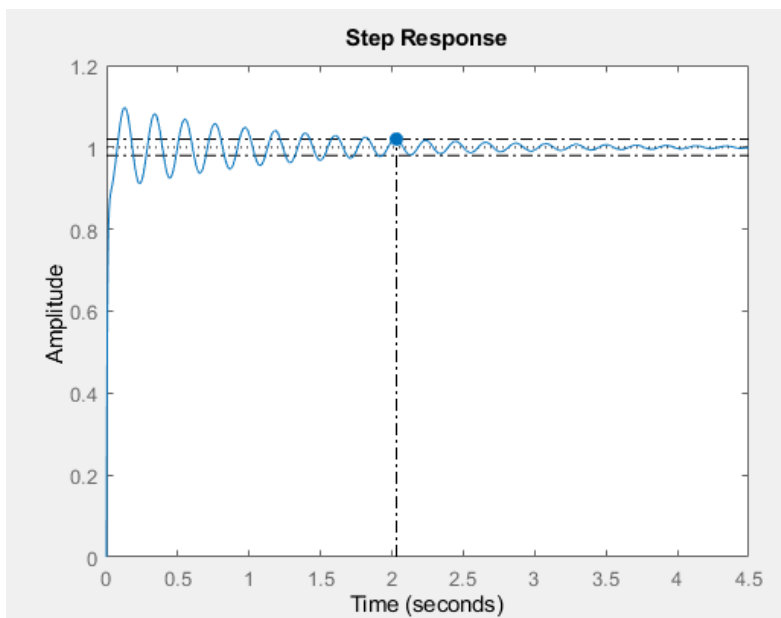
Aufgabe 10

$$R3_8 = 1419.8521 \cdot (1/33.67 \cdot s^2 + 2.211/33.67 \cdot s + 1) / (2.211/33.67 \cdot s)$$

R3_8 =

$$\frac{42.17 \text{ s}^2 + 93.24 \text{ s} + 1420}{0.06567 \text{ s}}$$

Continuous-time transfer function.

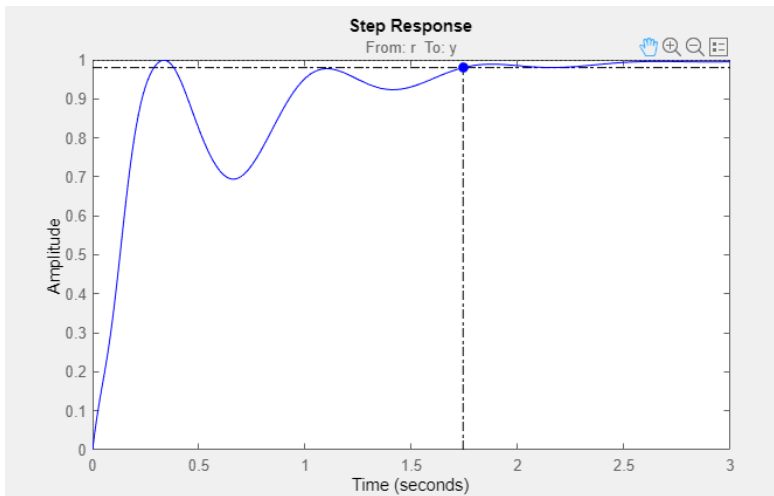


$$R_9 = 21.028 \cdot (s+4.56) \cdot (s+6.17) / s$$

R_9 =

$$\frac{21.03 \text{ s}^2 + 225.6 \text{ s} + 591.6}{s}$$

Continuous-time transfer function.



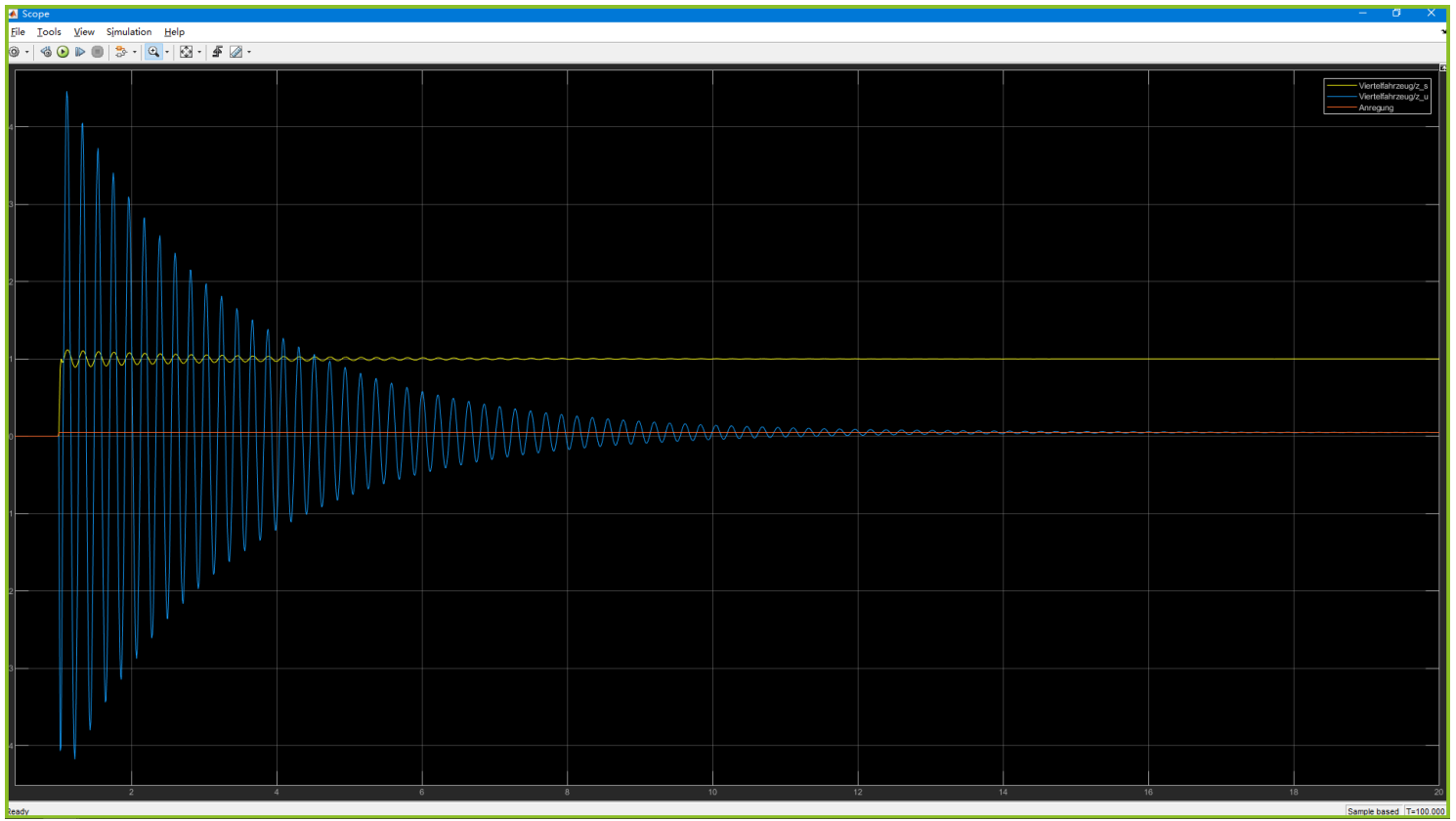
Regler

- Der Regler von Aufgabe 8 besitzt ein Paar konjugiert komplex Nullstellen.
- Der Regler von Aufgabe 9 besitzt zwei unabhängigen Nullstellen.

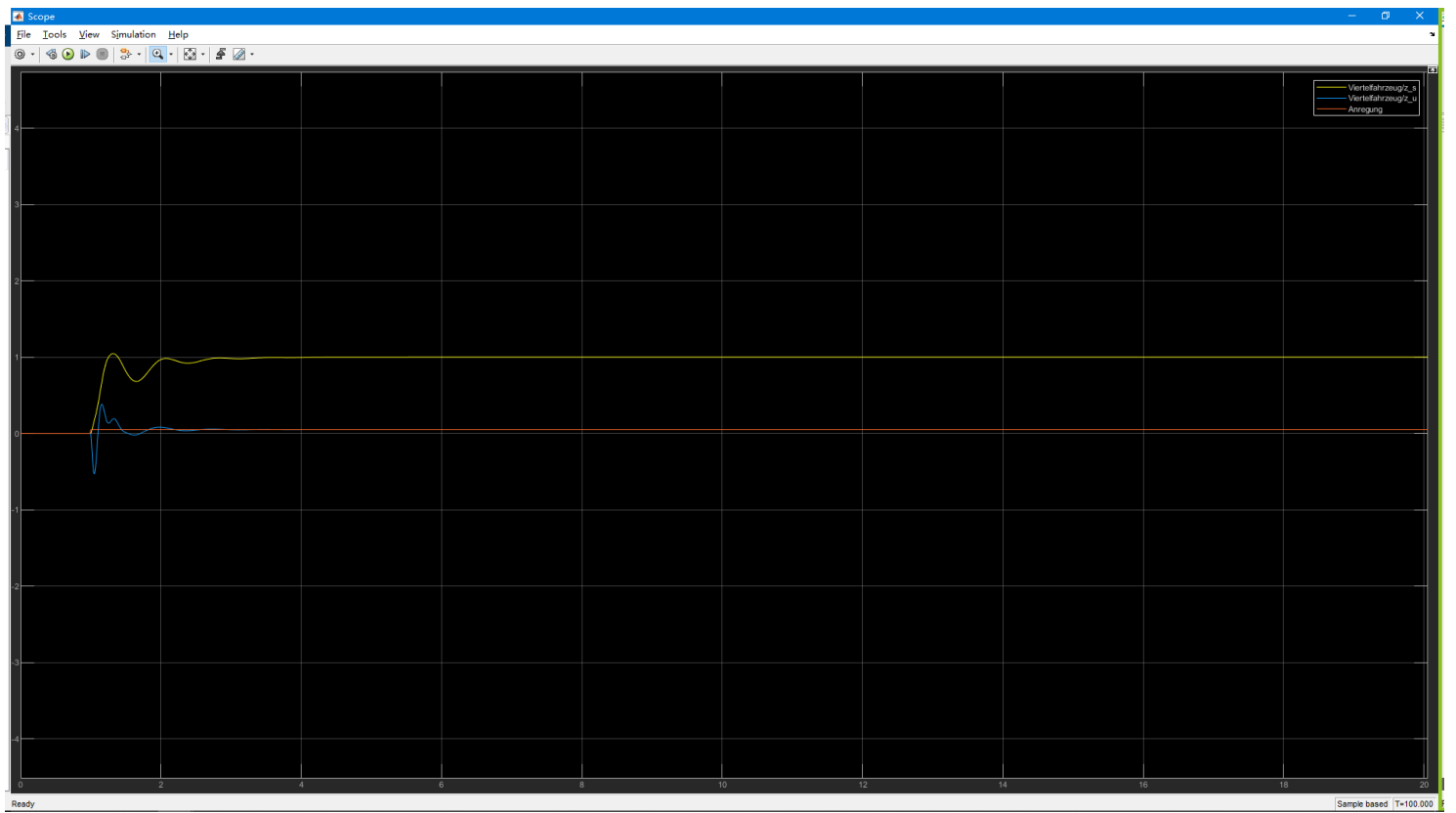
Sprungantwort

- Der Regler von Aufgabe 8 besitzt gleichmäßige Überschwingung und Unterschwingung.
- Der Regler von Aufgabe 9 besitzt keine Überschwingung aber eine große Unterschwingung.
- Die Einschwingzeit vom Regler von Aufgabe 9 ist kleiner als die Einschwingzeit vom Regler von Aufgabe 8.

Der Regler von Aufgabe 8



Der Regler von Aufgabe 9



Regler 9 ist besser als Regler 8. Regler 9 wird eingesetzt.

Aufgabe 11

```
% Koeffizienten des Zählerpolynoms
b1_z = d_s*c_u;
b0_z = c_s*c_u;

% Koeffizienten des Nennerpolynoms
a4_z = m_u*m_s;
a3_z = (m_u+m_s)*d_s;
a2_z = m_s*(c_s+c_u)+m_u*c_s;
a1_z = d_s*c_u;
a0_z = c_s*c_u;

Gsz = tf([b1_z,b0_z],[a4_z,a3_z,a2_z,a1_z,a0_z]);
%-----
% Reglerauslegung mit dem SISO-Tool
sisotool(Gsu,1,1,Gsz);
```

Um die Struktur des Reglerkreises anzupassen, wird die Struktur in sisotoll abgeändert.

Versuchsprotokoll

Datum: 12.05.2021

Zuerst wird das System analysiert, um die Aufgaben lösen zu können.

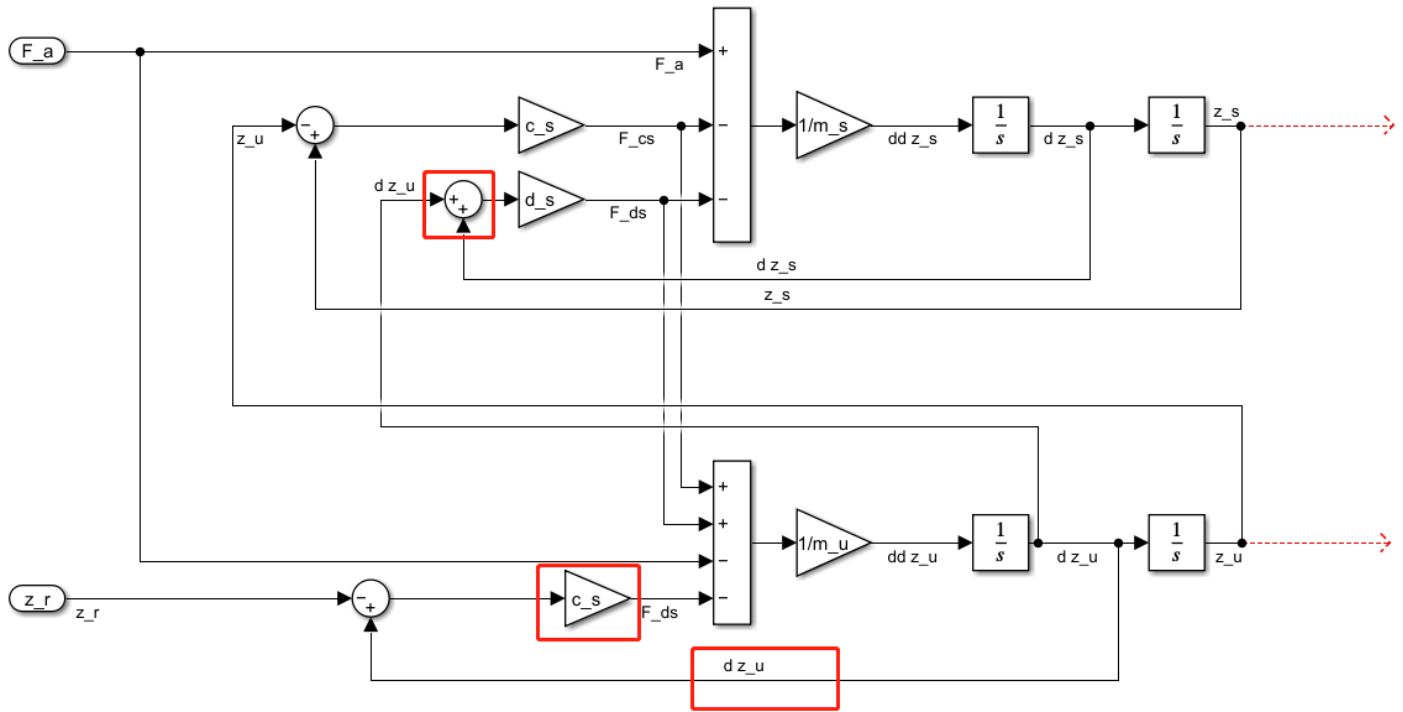
Dann wird ein Wirkungsplan aufgezeichnet.

Dann wird das Systemverhalten vom Regelstrecke analysiert.

Wirkungsplan aufstellen.

Modell in Simulink umzusetzen.

Am Anfang kriegen wir eine falsche Lösung. Nach der Überprüfung werden drei Fehler erkannt.



Nach der Korrektur läuft das Modell richtig.

Datum: 12.05.2021

Aufgabe 7

Die Phasenreserve ist sehr schwierig einzustellen.

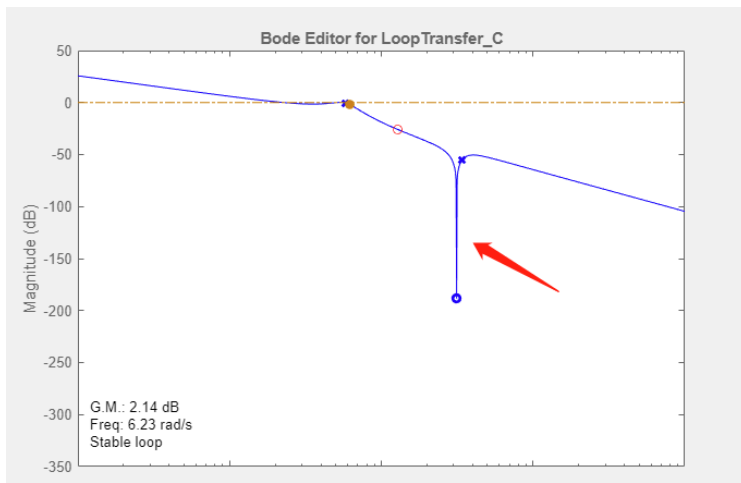
Die Regler werden in sisotool entworfen.

Wir haben 3 Regler (P-, I- und PI-Regler) entworfen.

Beim I-Regler ist es unmöglich, eine Phasenreserve von 30° zu kriegen.

offene Fragen

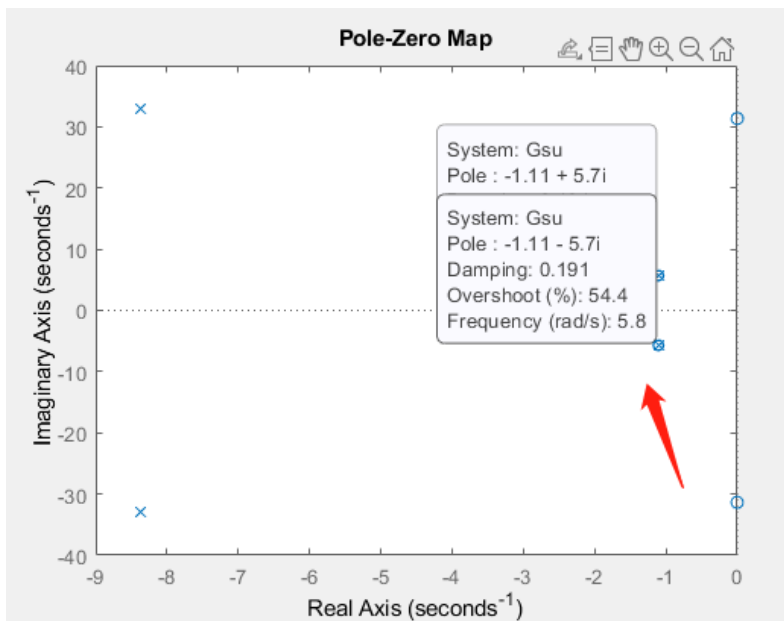
- Warum gibt es einen Fall im Amplitudengang? Liegt der Grund darin, dass b_{1_u} 0 ist?



Datum: 14.05.2021

Aufgabe 8

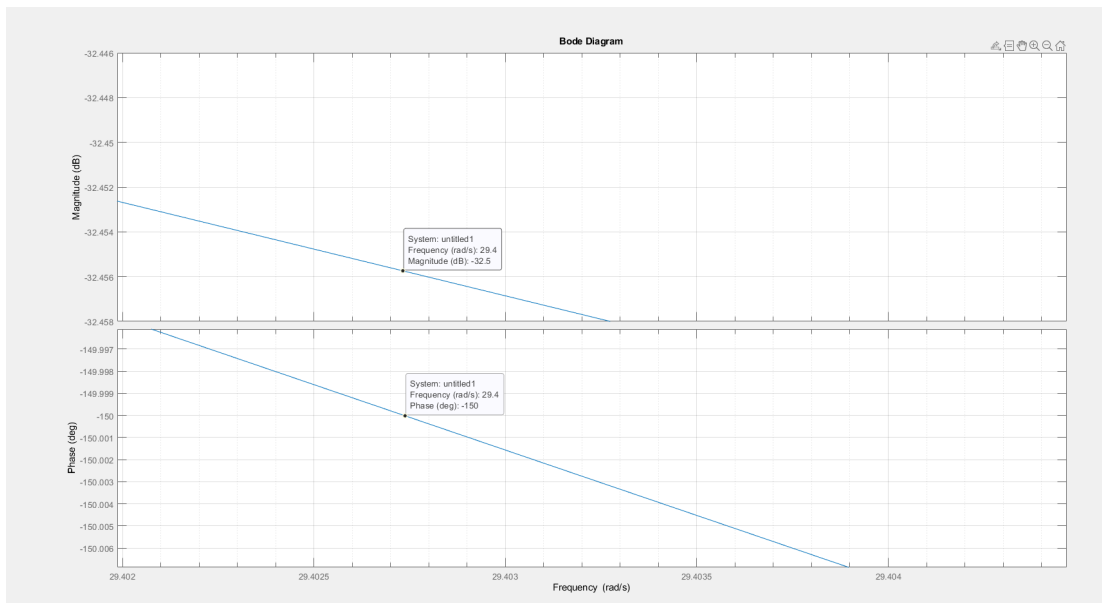
Es gibt 4 Polstellen. Die zwei rechte liegenden Polstellen sollen kompensiert werden.



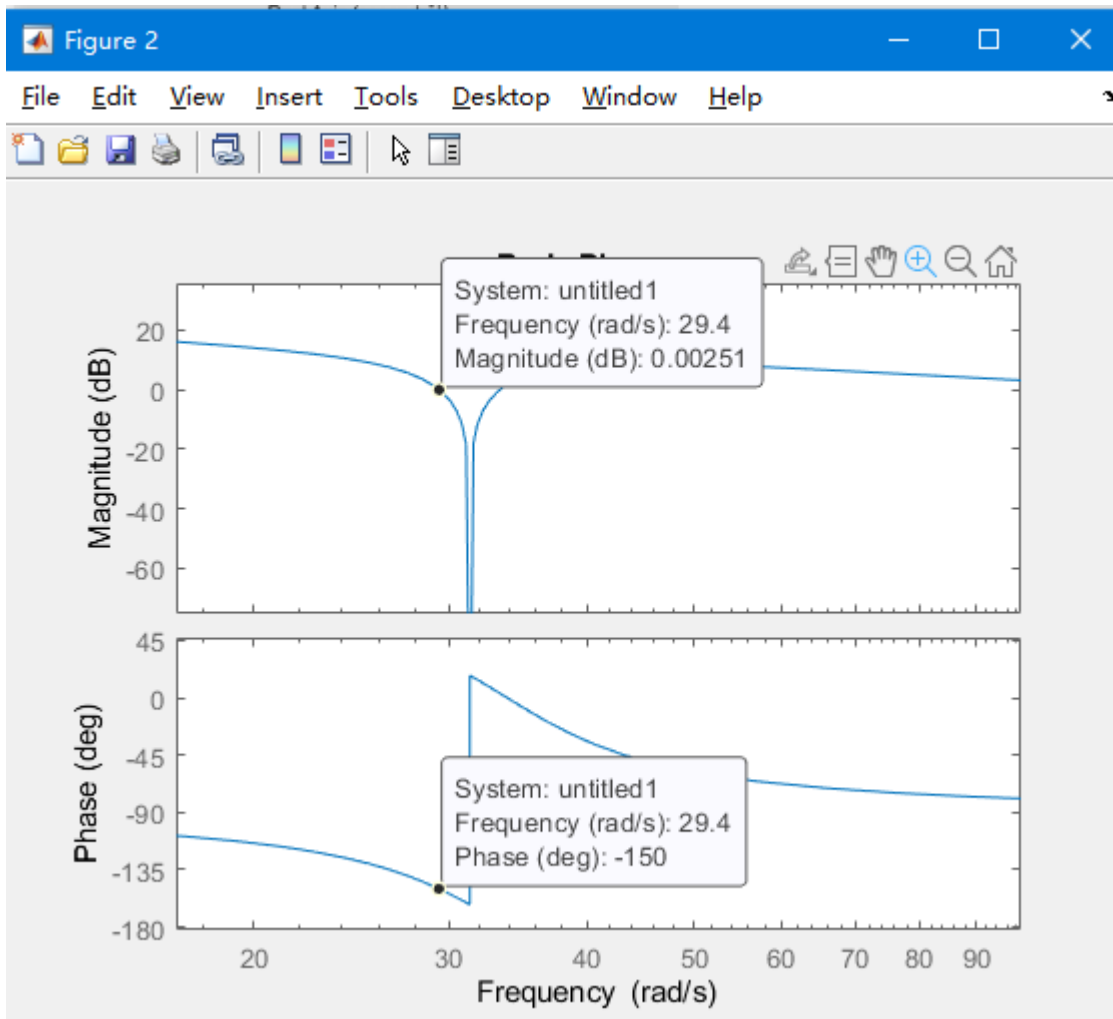
Die Gleichung wird normiert.

$$\frac{U}{E}(s) = K_{para} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_N \cdot s} + T_V \cdot s \right)$$

$$\frac{U}{E}(s) = K_{para} \frac{T_N \cdot T_V \cdot s^2 + T_N \cdot s + 1}{T_N \cdot s}$$

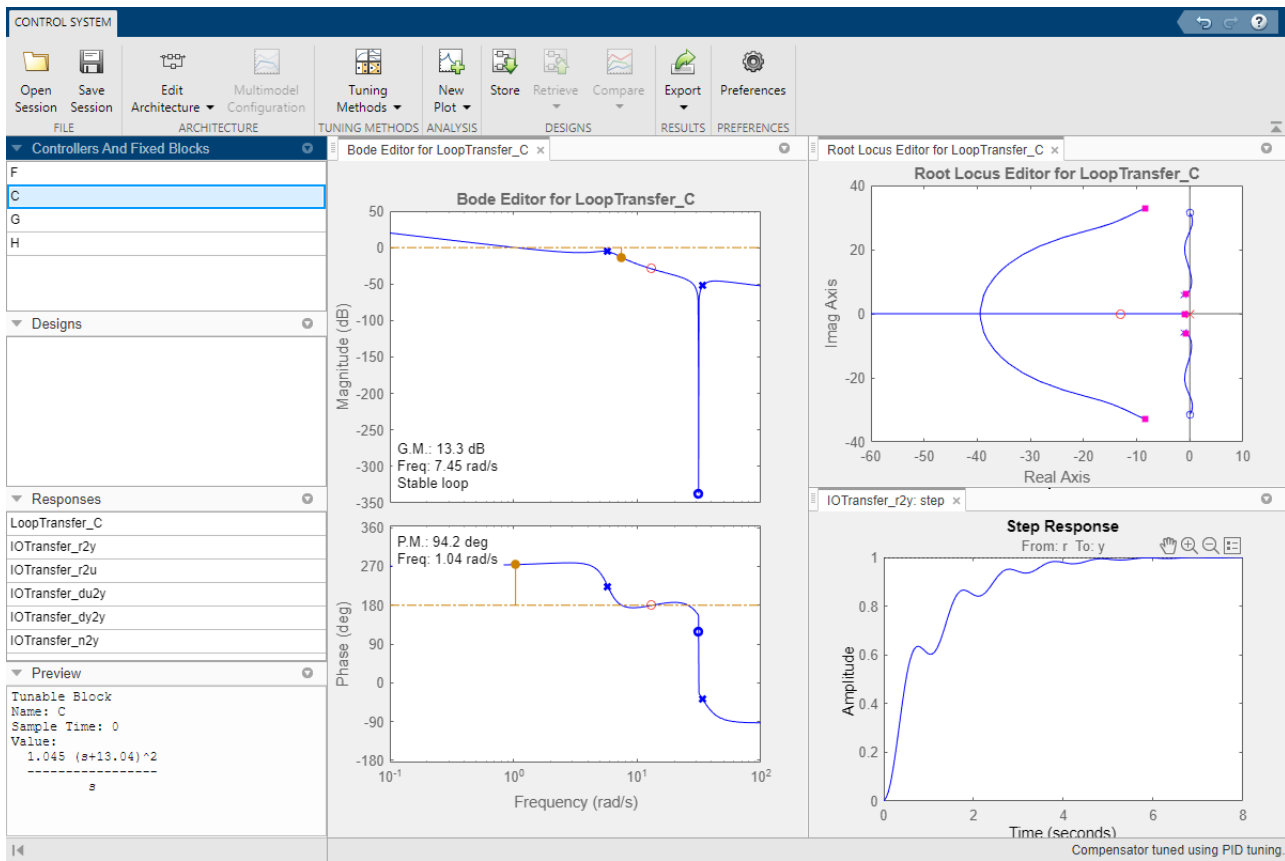


Der Betrag soll vergrößert werden.



Die Phasenreserve wird richtig eingestellt.

Aufgabe 9



Das Modell wird in sisotool verarbeitet.

Aufgabe 11

Wir haben ein Problem getroffen.