

Systemdynamik und Regelungstechnik

Übung 2: Signale/Systeme, stationäres Verhalten, Diskretisierung, MATLAB/SIMULINK

M. Sc. Patrick Sauter

INSTITUT FÜR REGELUNGS- UND STEUERUNGSSYSTEME (IRS)



Übung/Tutorium 2: Themen

Übung

**kontin./diskrete
Signale/Systeme**

Diskretisierung mit MATLAB

stationäres Verhalten

**Systemanalyse mit
MATLAB**

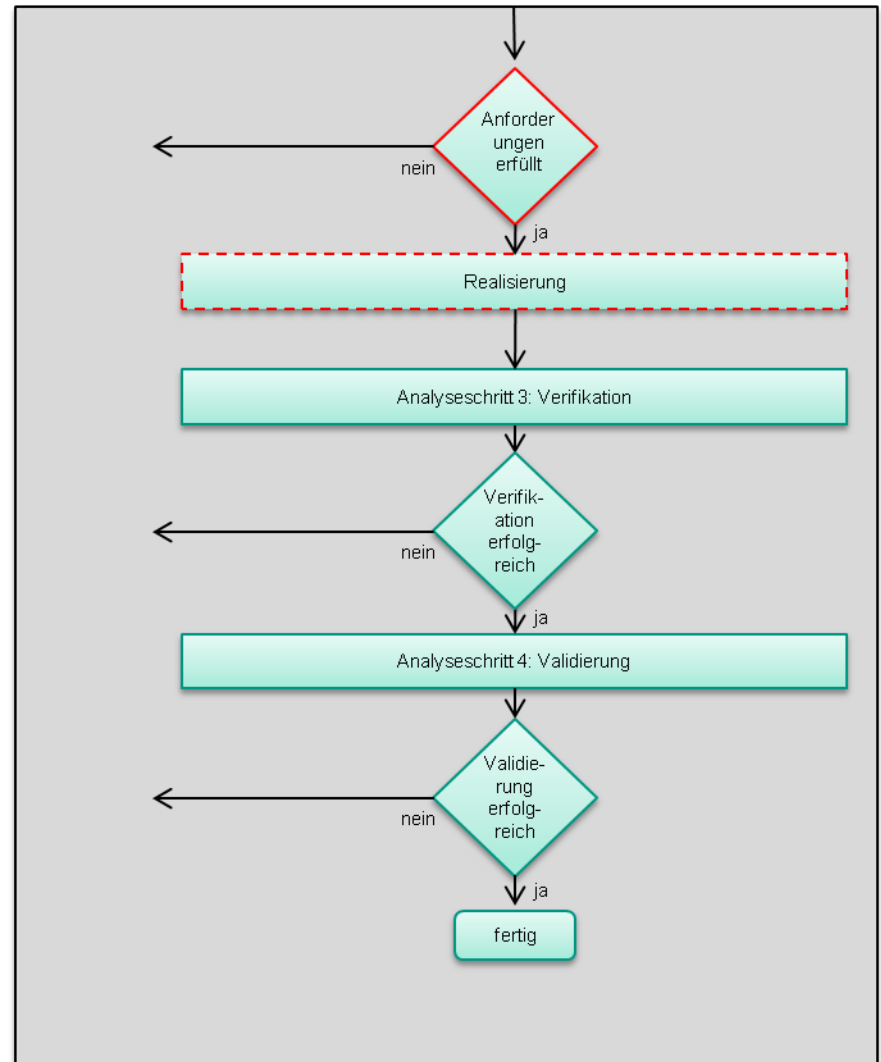
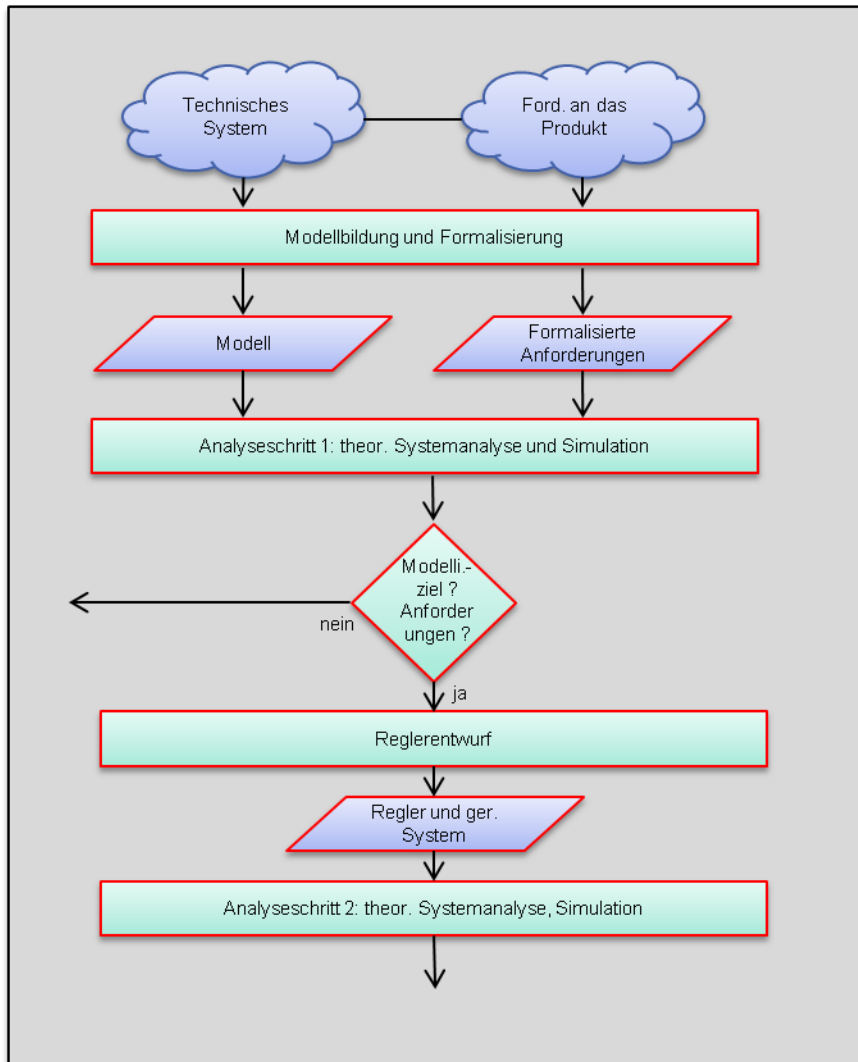
**Frequenzbereichsdar-
stellungen mit MATLAB**

Tutorium

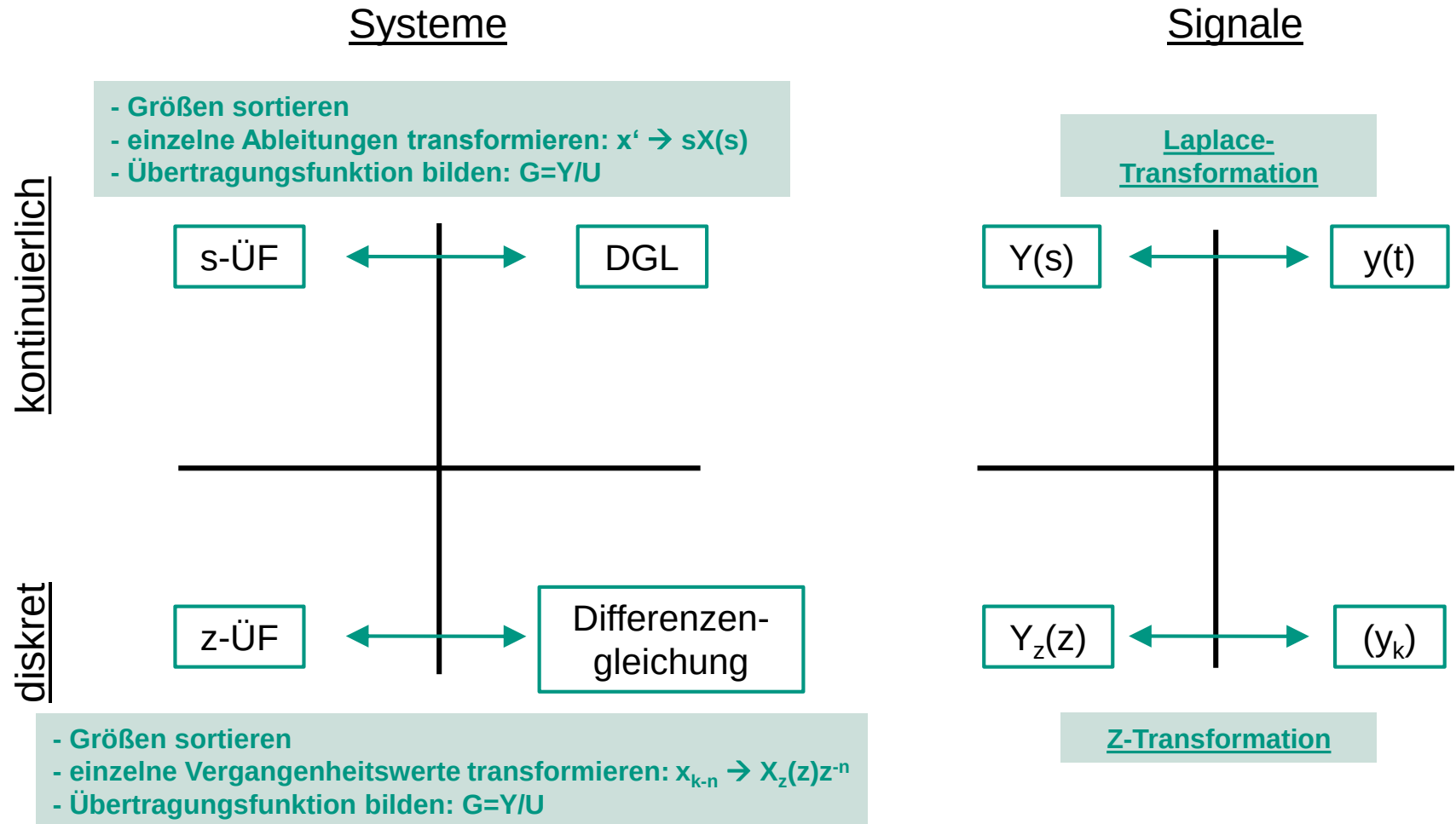
**Modellierung/Simulation
mit SIMULINK**

**Programmieren/
Plotten mit MATLAB**

Entwicklungsablauf für Regelungssysteme



Übersicht konti./diskrete Signale/Systeme



Aufgabe 8 (TR)

■ **b) ⊕** Ausgangsgleichung: $y_k = \frac{1}{2}y_{k-1} + 3u_k - 6u_{k-1}$

Sortieren $y_k - \frac{1}{2}y_{k-1} = 3u_k - 6u_{k-1}$

Z-Transformation $Y_z(z)(1 - \frac{1}{2}z^{-1}) = U_z(z)(3 - 6z^{-1})$

Umformen $G_z(z) = \frac{Y_z(z)}{U_z(z)} = \frac{3-6z^{-1}}{1-\frac{1}{2}z^{-1}} = 3\frac{z-2}{z-\frac{1}{2}}$

■ **e) ⊕⊕** Ausgangsgleichung: $y(t) = 2 \sin(3t) + 1$

direkt aus Korrespondenztabelle
der Laplace-Transformation:

1	○ — ●	$\frac{1}{s}$
$\sin(\omega t)$	○ — ●	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$

Ergebnis: $Y(s) = 2\frac{3}{s^2+9} + \frac{1}{s}$

Diskretisierung kontin. Signale/Systeme



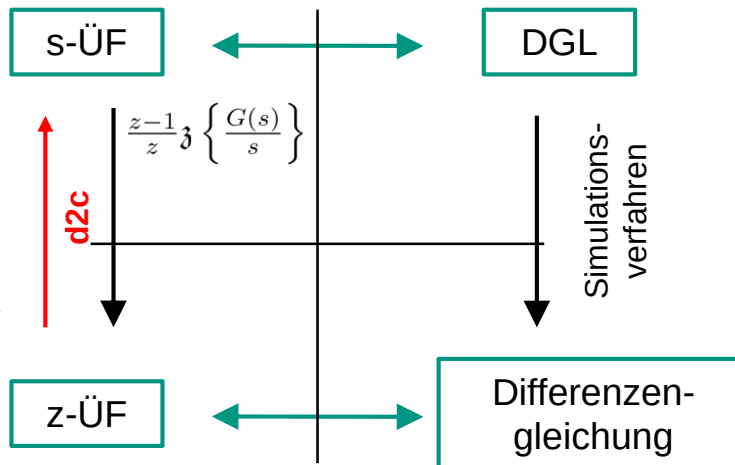
Systeme

Signale

kontinuierlich

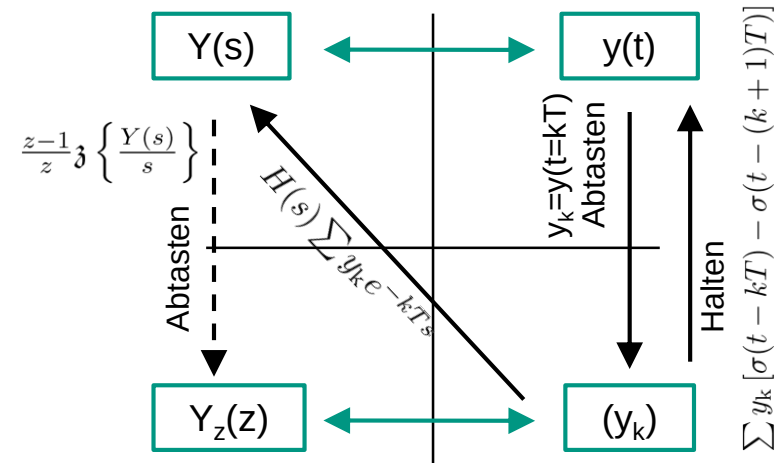
diskret

- Größen sortieren
- Ableitungen transformieren
- Übertragungsfunktion bilden

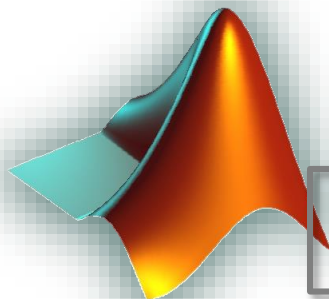


- Größen sortieren
- Vergangenheitswerte transformieren
- Übertragungsfunktion bilden

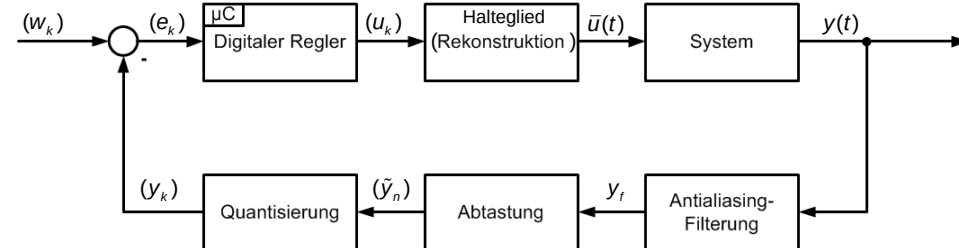
Laplace-Transformation



Z-Transformation



c2d(sys, T_A)
d2c(sys)



Stationäres Verhalten - Bedeutung

- Im Zeitbereich: Verhalten der Ausgangsgröße bei konstanter Eingangsgröße nach Abklingen aller Einschwingvorgänge ($t \rightarrow \infty$)
- Im Frequenzbereich: Übertragungsverhalten bei Frequenz Null ($s \rightarrow 0$)

- mögliches stationäres Verhalten:

- Konstante Ausgangsgröße

- Ausgang = 0

- Ausgang = Eingang

- sonstige konstante Ausgangsgröße

„stationär genau“

- Linear steigende Ausgangsgröße

- Quadratisch

- (mit höherer Potenz steigende Ausgangsgröße)



D-Verhalten



P-Verhalten



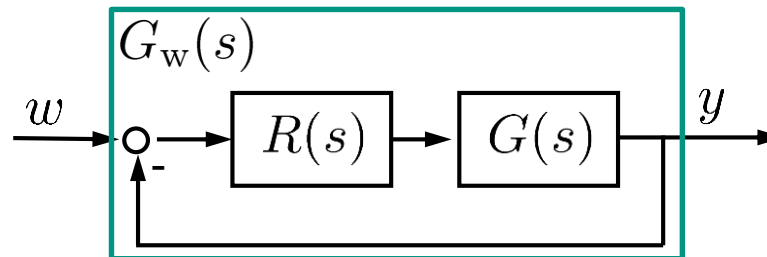
I-Verhalten



I²-Verhalten

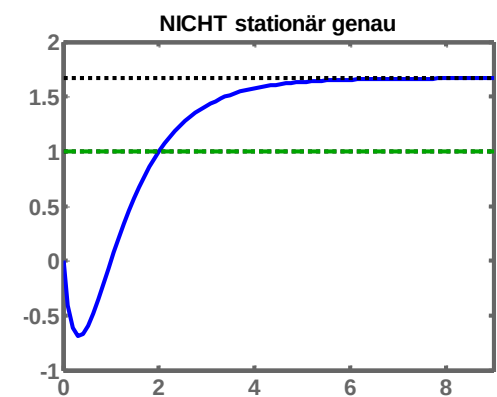
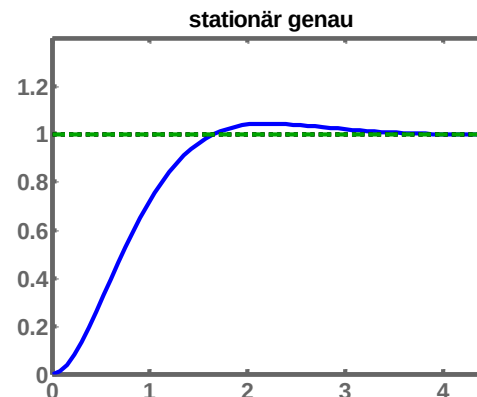
Stationär genaues Verhalten

- Wenn die Ausgangsgröße nach Abklingen dynamischer Anteile gleich dem Eingangswert ist
- ➔ Insbesondere für Regelkreise erwünscht:
Die Regelgröße (Istwert) folgt der Führungsgröße (Sollwert) stationär genau.



- Dann gilt: Gesamtsystem G_w hat stationäre Verstärkung 1

$$y_{\infty} = w_{\infty} \Rightarrow G_w(0) = 1$$



Stationäres Verhalten - Vorgehensweise



- Ablesen in graphischer Darstellung
 - Nyquist-Ortskurve
 - Bode-Diagramm
 - Sprungantwort
- Berechnen des stationären Endwerts mit dem EWS der Laplace-Trafo:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot Y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot G_w(s) \cdot W(s)$$

Hier: Reaktion auf Eingangssprung betrachtet: $W(s) = \frac{1}{s}$

Also: Berechnung des stationären Endwerts mit

$$y_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot Y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot G_w(s) \cdot \frac{1}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} G_w(s) = G_w(0)$$

- Achtung: EWS darf nur angewendet werden bei stabilen Systemen !
→ vorher auf Stabilität untersuchen

Aufgabe 10 (TR)

■ c) ++

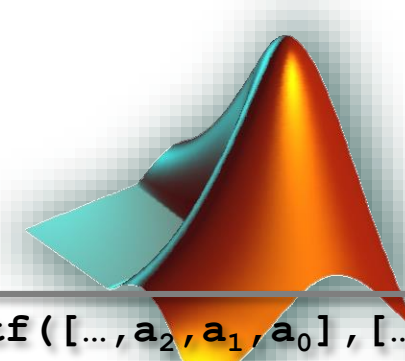
$$G_3(s) = \frac{s-5}{s+2} e^{-\frac{3}{2}s}$$

System stabil → EWS anwendbar

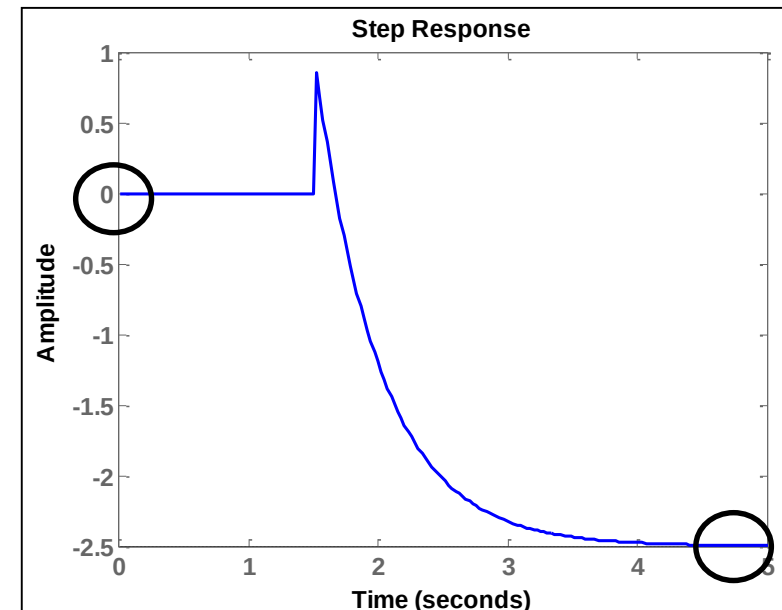
$$h_{3,\infty} = G_3(0) = -\frac{5}{2}$$

System nicht differenzierend
→ AWS anwendbar

$$h_{3,0} = \lim_{s \rightarrow \infty} G_3(s) = 0$$



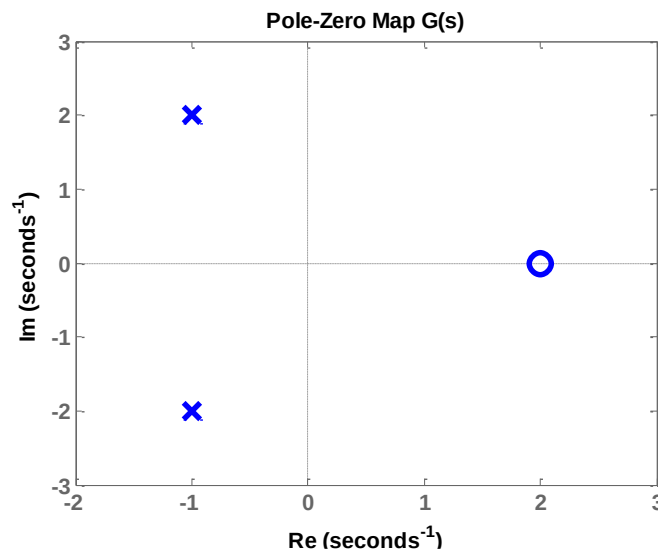
```
tf([..., a2, a1, a0], [..., b1, b0])  
dcgain(sys)  
step(sys)
```



Aufgabe 9 (TR)

■ c) ++

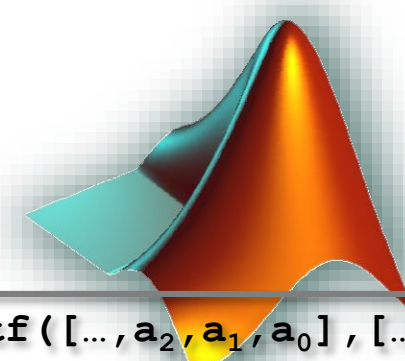
$$G_3(s) = \frac{s-2}{s^2+2s+5}, T_1 = 0.5, T_2 = 2$$



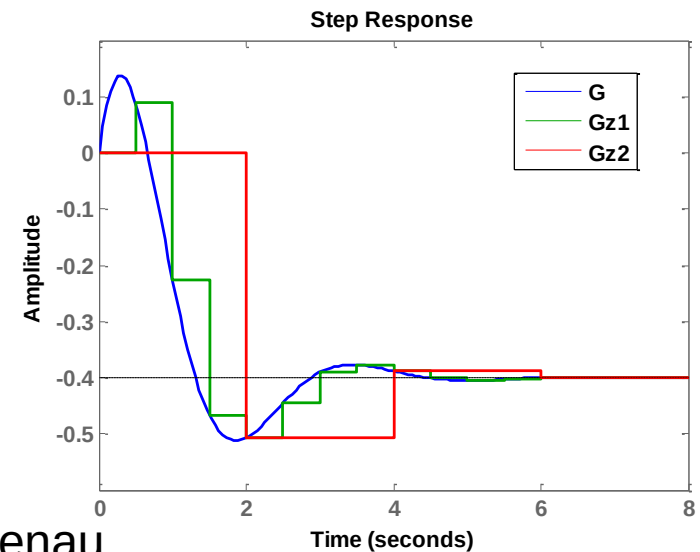
→ $G_3(s)$: stabil, NMP, schwingfähig,
nicht stationär genau

$G_{31z}(z)$: stabil, schwingfähig, nicht stationär genau

$G_{32z}(z)$: stabil, schwingfähig, nicht stationär genau



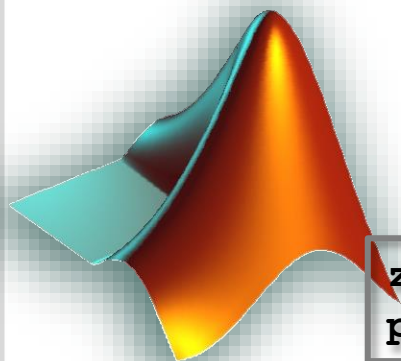
```
tf([..., a2, a1, a0], [..., b1, b0])  
pzmap(sys)  
c2d(sys, T_A)  
step(sys)
```



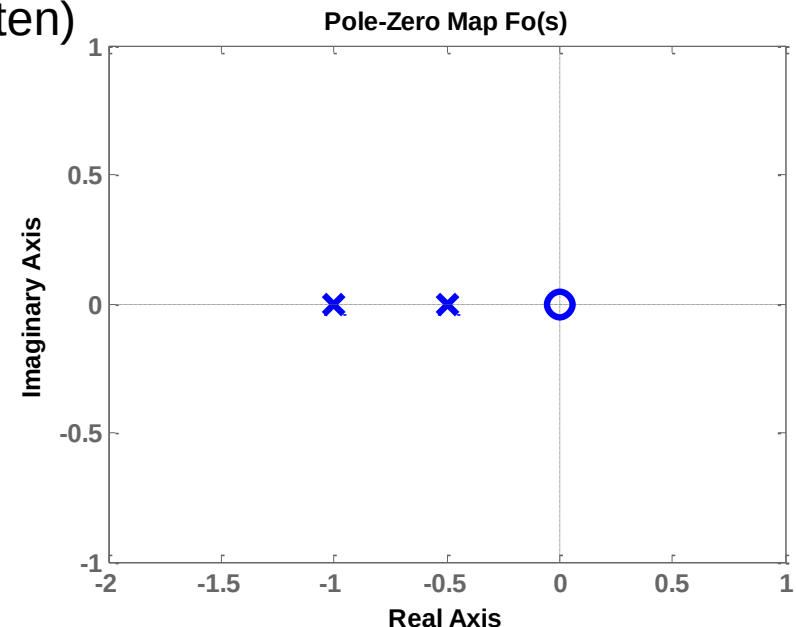
Aufgabe 11 (UE)

$$F_o(s) = \frac{-2kT_1s^2}{(1+T_1s)(1+T_2s)}, T_1 > 0, T_2 > 0, k > 0$$

- a) 2 Pole in linker Halbebene, doppelte Nullstelle in 0
 - stabil (alle Pole links)
 - minimalphasig (keine Pole/Nullstellen rechts)
 - nicht stationär genau (da D^2 -Verhalten)



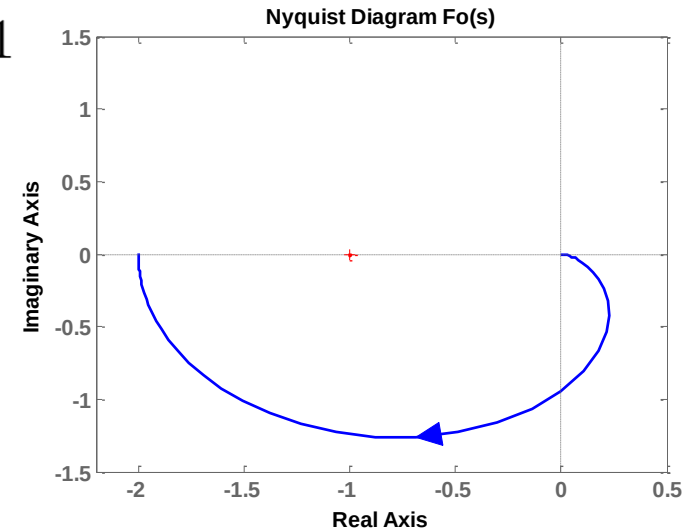
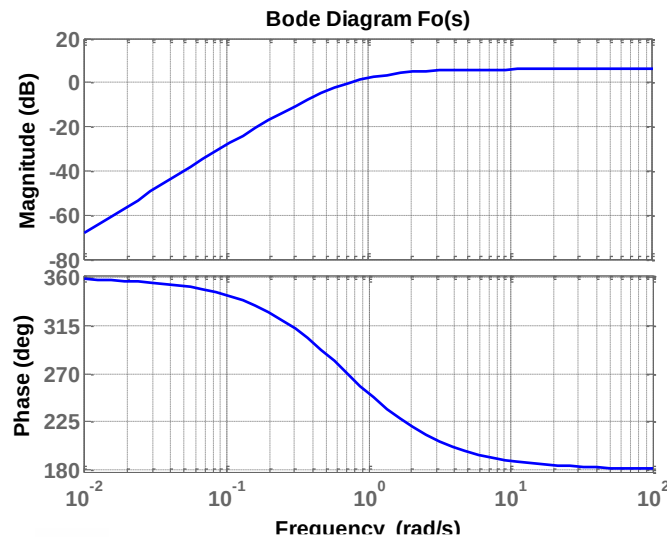
```
zpk([n1, n2, ...], [p1, p2, ...], k)
pzmap(sys)
```



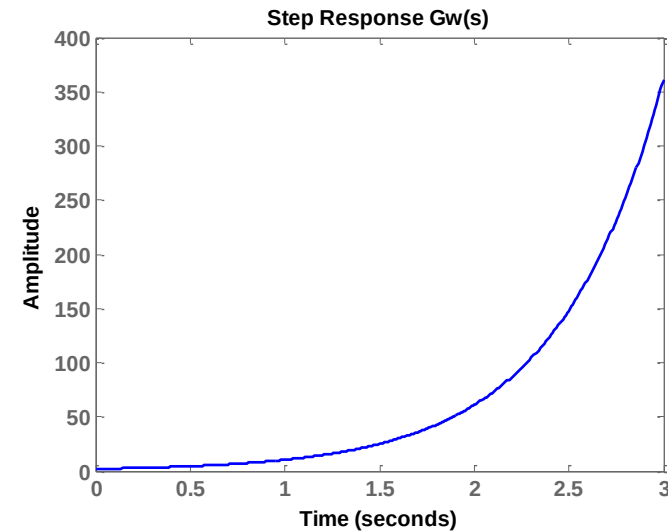
Aufgabe 11 (2)

$$F_o(s) = \frac{-2kT_1s^2}{(1+T_1s)(1+T_2s)}, T_1 = 2, T_2 = 1, k = 1$$

■ b)



■ c) Pole von G_w :
-1, -0.5, -0.28
1.78 → instabil



```
figure
bode(sys)
nyquist(sys)
pzmap(sys)
pole(sys)
step(sys)
```

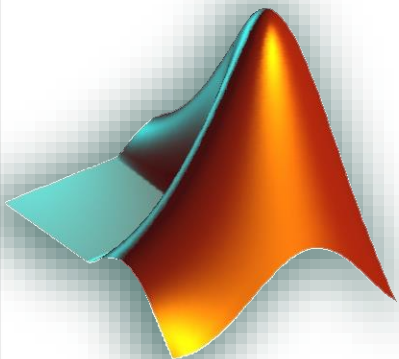
Aufgabe 11 (3)

$$F_o(s) = \frac{-2kT_1s^2}{(1+T_1s)(1+T_2s)}, T_1 = 2, T_2 = 1, k = 1$$

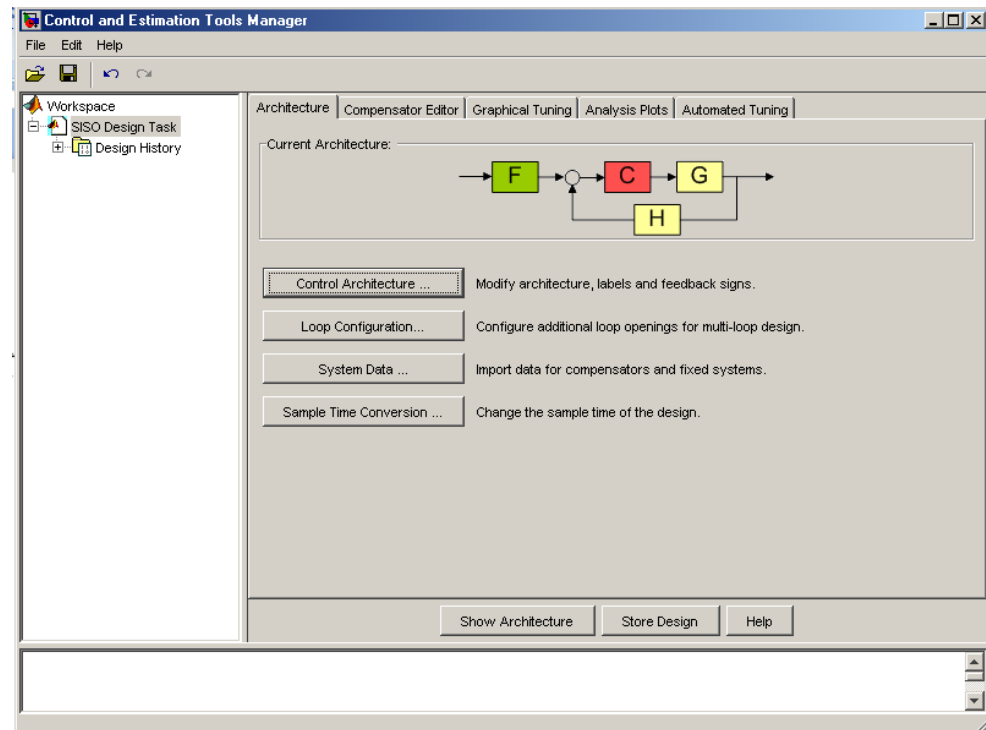
■ d)

Analyse mit dem SISO-Tool

→ $G_w(s)$ stabil für $k < 0,5$



sisotool (Fo)

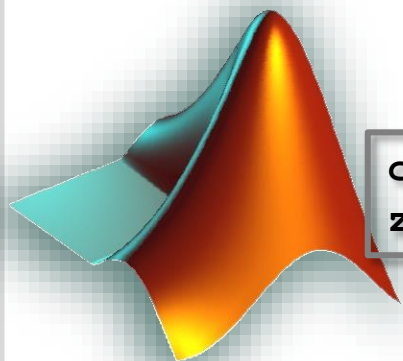


Aufgabe 11 (4)

$$F_o(s) = \frac{-2kT_1s^2}{(1+T_1s)(1+T_2s)}, T_1 = 2, T_2 = 1, k = 1$$

- e) Diskretisierung mit `c2d` und 0,5 sek als Abtastzeit:

$$F_{oz}(z) = \frac{-2z^2 + 3.9z - 1.9}{z^2 - 1.39z + 0.47} \quad \text{bzw.} \quad F_{oz}(z) = \frac{-2(z - 0.9511)(z - 1)}{(z - 0.7788)(z - 0.6065)}$$

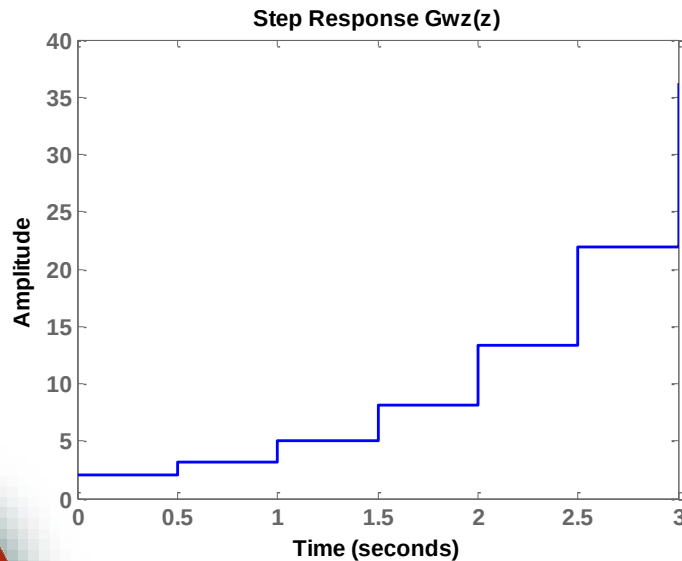


```
c2d(sys, T)
zpk(sys)
```

Aufgabe 11 (5)

$$F_O(s) = \frac{-2kT_1s^2}{(1+T_1s)(1+T_2s)}, T_1 = 2, T_2 = 1, k = 1$$

f)



```
subplot(n,m,k)
pzmap(sys)
bode(sys)
nyquist(sys)
step(sys,t)
```

