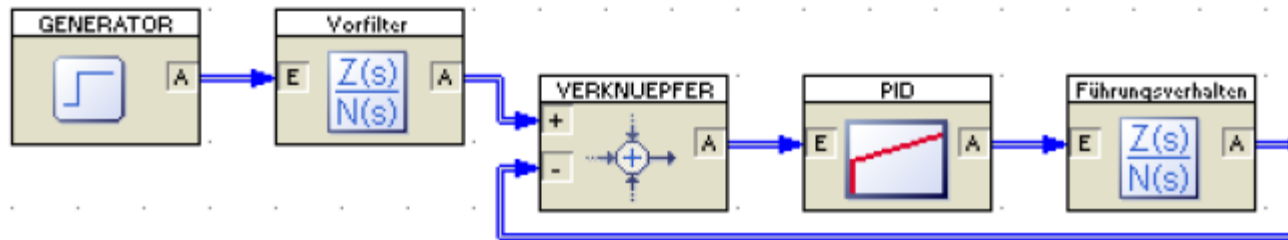
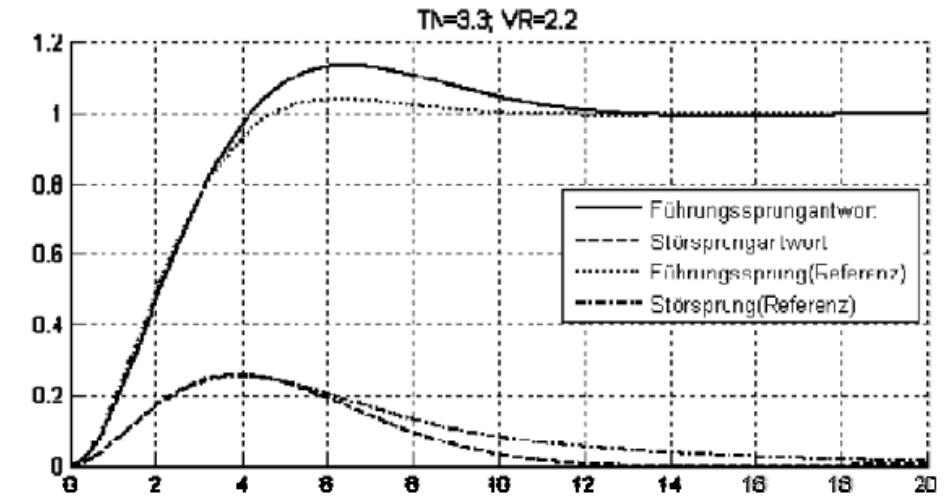
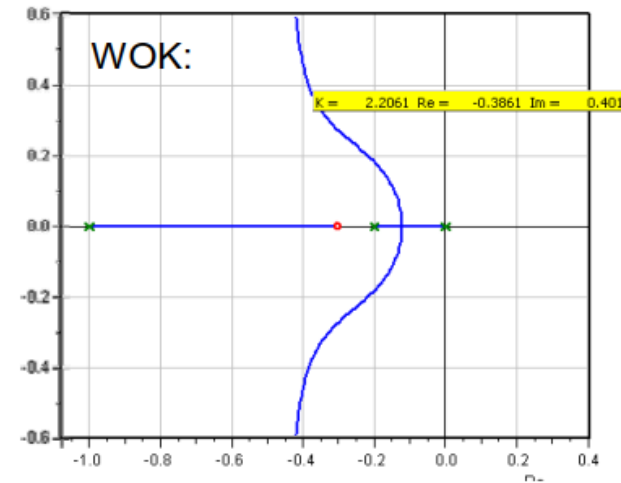


# Regelungstechnik

für BEI4, BMEI4 und IBT

Prof. Dr. B. Wagner

## 4. Fall: $T_N = 3,3$ (keine Kompensation)



## Kap. 6, Teil d: Aufgabe 6.3: Designstudie einer Regelung mit Wurzelortskurven

⇒ **Bekannt aus der Vorlesung:**

⇒ **WOK zeigt die Lage der Pole des geschlossenen Regelkreises**

⇒ **Ein paar Regeln zur Konstruktion von Wurzelortskurven**

⇒ **Interpretation von Wurzelortskurven (Stabilität / Schwingneigung / Geschwindigkeit d. Regelkreises)**

⇒ **In diesem Abschnitt zu Aufgabe 6.3:**

⇒ **Anwenden der Regeln an einem Beispiel / Skizzieren von Wurzelortskurven**

⇒ **Designstudie: Diskussion der Konsequenzen der Wahl der Nachstellzeit  $T_N$  in Hinblick auf...**

⇒ **... Führungs- und Störverhalten ...**

⇒ **... bei Kompensation und bei „Nicht-Kompensation“ von Strecken-Zeitkonstanten**

⇒ **Diskussion der Frage „wie kann ich gutes Führungs- und Störverhalten erzielen“?  
Einsatz eines Vorfilters im Führungskanals zur Optimierung des Führungsverhaltens**

## Übung 6.3

Gegeben sind die Übertragungsfunktionen von Regelstrecke und Regler wie folgt.

$$G_S(s) = \frac{1}{(1+s)(1+5s)} \Rightarrow \text{Zeitkonstanten: 1 und 5} \Rightarrow \text{Pole: } -1 \text{ und } -0,2$$

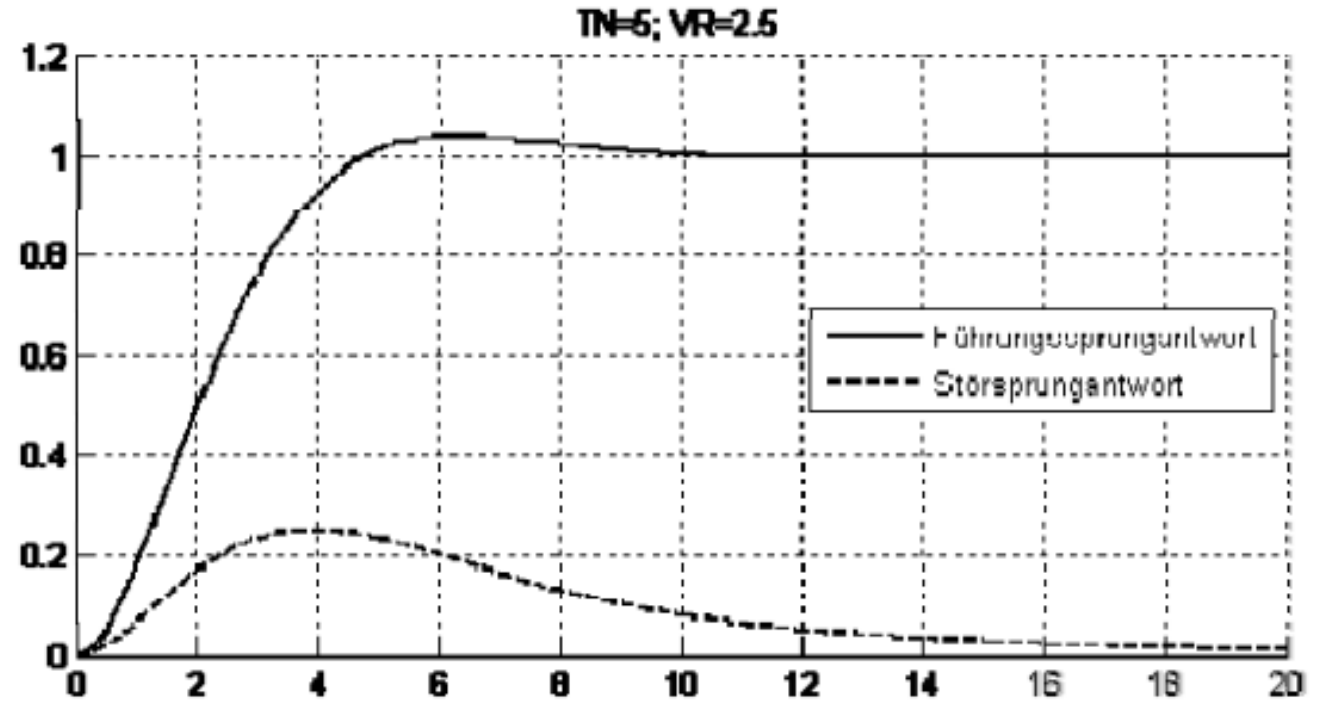
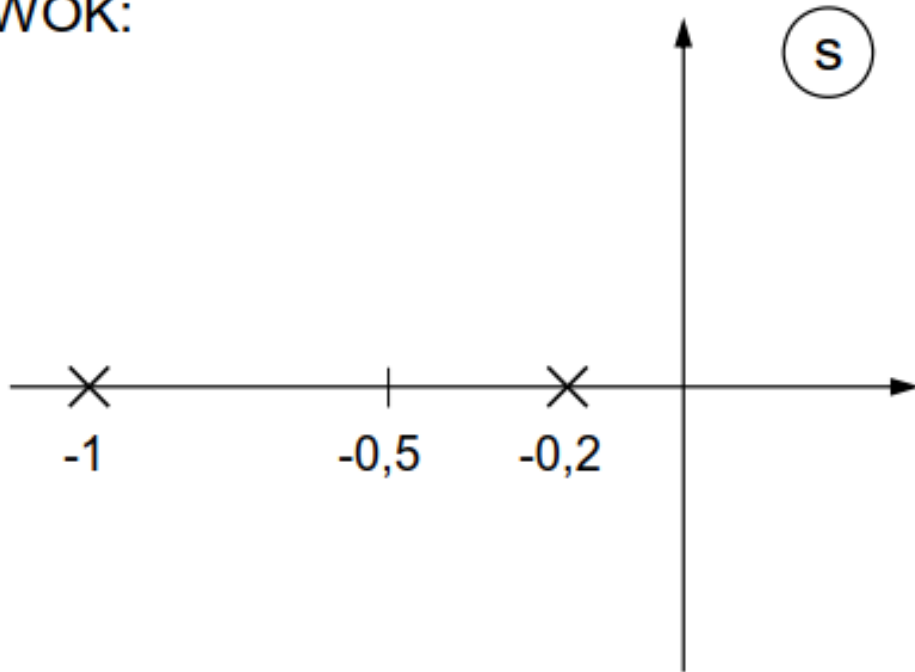
$$G_R(s) = V_R \frac{1+sT_N}{sT_N} \Rightarrow \text{Nachstellzeit } T_N \Rightarrow \text{Pol: 0; Nullstelle: } -1/T_N$$

Diese Übung enthält eine Studie zur Einstellung eines PI-Reglers für eine  $PT_2$ -Strecke. Es werden unterschiedliche Einstellungen der Nachstellzeit verglichen. Der Parameter der WOK ist  $V_R$ . In den WOKs unten sind die Pole und Nullstellen der Strecke bereits eingetragen.

- 1) Tragen Sie die Pole und Nullstellen des Reglers ein.
- 2) Tragen Sie die Wurzelorte auf der reellen Achse ein.
- 3) Versuchen Sie, die Wurzelortskurve zu skizzieren.

## 1. Fall: $T_N = 5$ („Kompensation“ der langsamen Zeitkonstante)

WOK:



=> Diese Verläufe sind in den nächsten Bildern als „Referenz“ aufgetragen

# Was kann man aus einer WOK ablesen?

Für welche Werte des Parameters ist der Regelkreis stabil?

Für welche Werte des Parameters ist der Regelkreis schwingfähig?

Übergangs-/Einschwingdauer abschätzen

⇒ Dominanten Pol / dominantes Polpaar suchen  
(am nächsten an Null)

⇒ Einschwingdauer  $\sim$  ca.  $4/\text{BetragRealteilDominanterPol}$

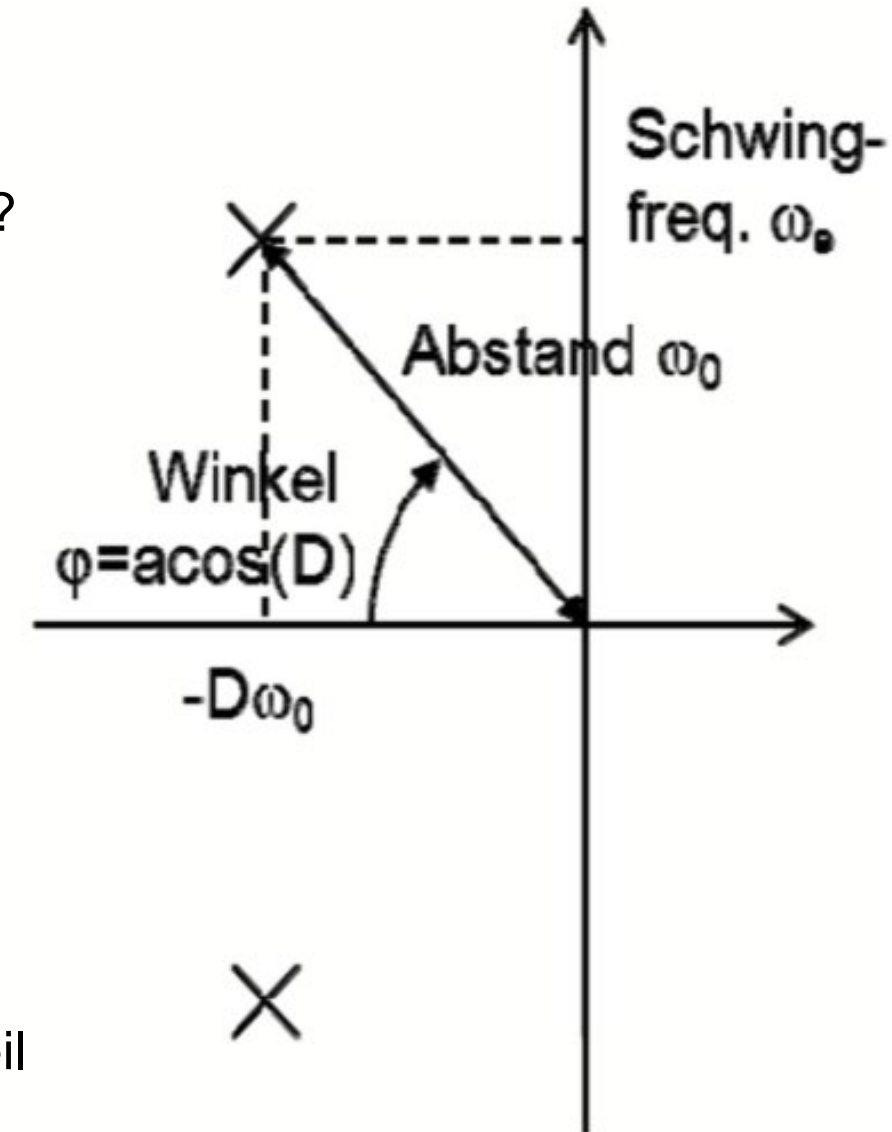
⇒ Weiter links  $\Leftrightarrow$  schneller!

Schwingkreisfrequenz sowie Periodendauer bei schwingfähigen Regelkreisen  $\Leftrightarrow 2\pi / \text{Imaginärteil}$

Reglerparametrierung ( $V_R$  festlegen)

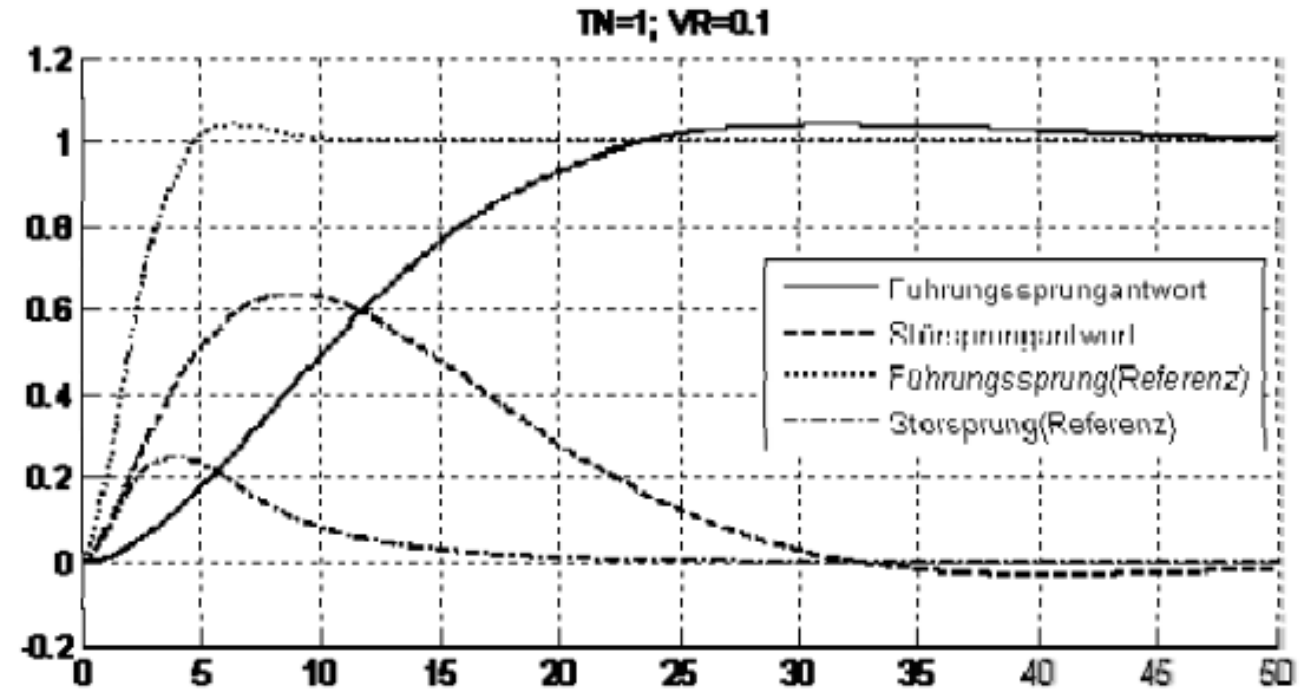
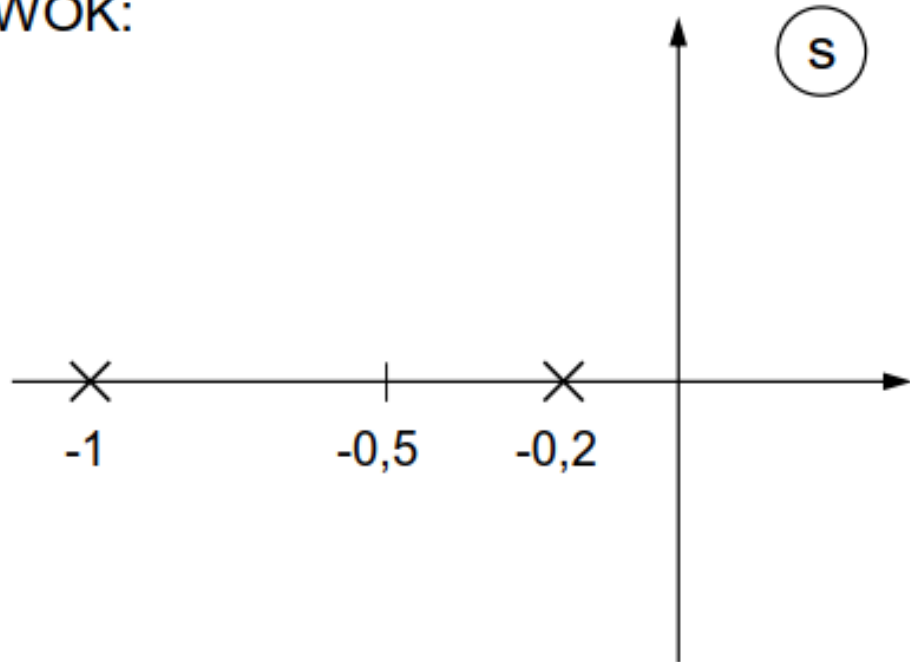
z. B. Einstellung der Dämpfung des Regelkreises  $\Leftrightarrow D = \cos \varphi$

z. B.  $D = 1/\sqrt{2} = 0,71 \Leftrightarrow \text{Winkel } \varphi = 45^\circ \Leftrightarrow \text{Realteil} = \text{Imaginärteil}$



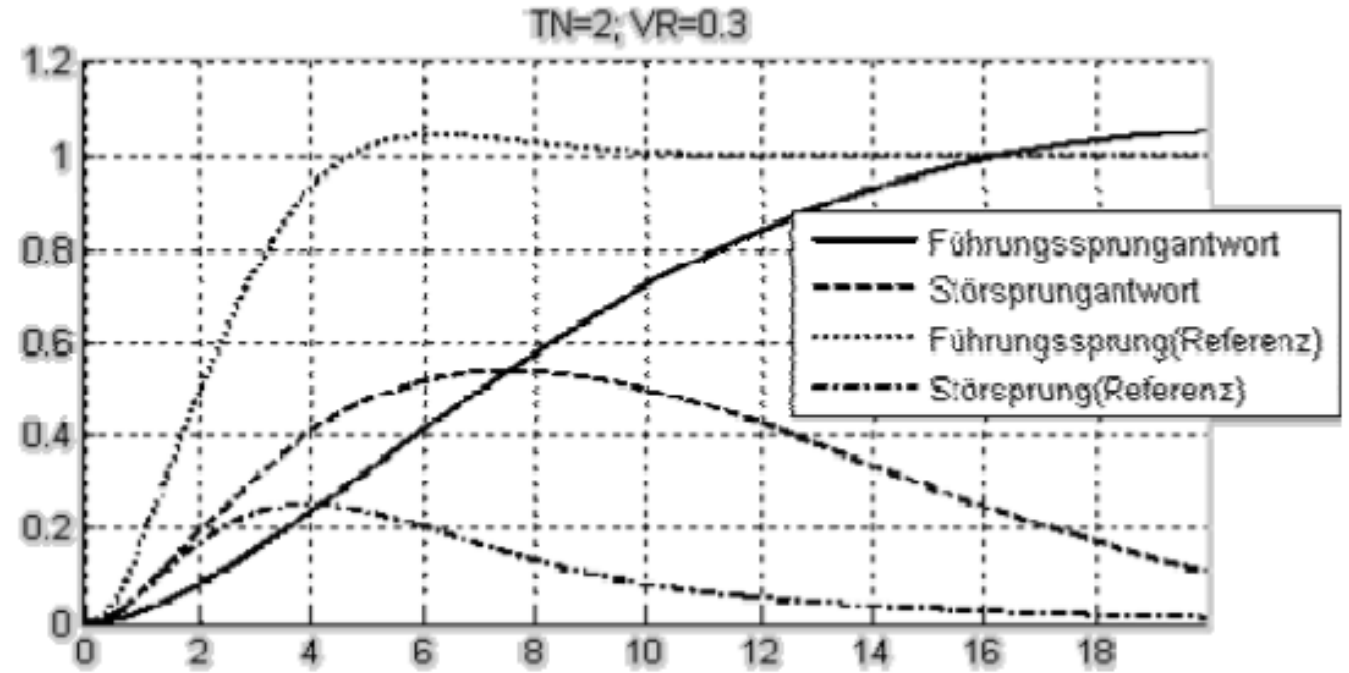
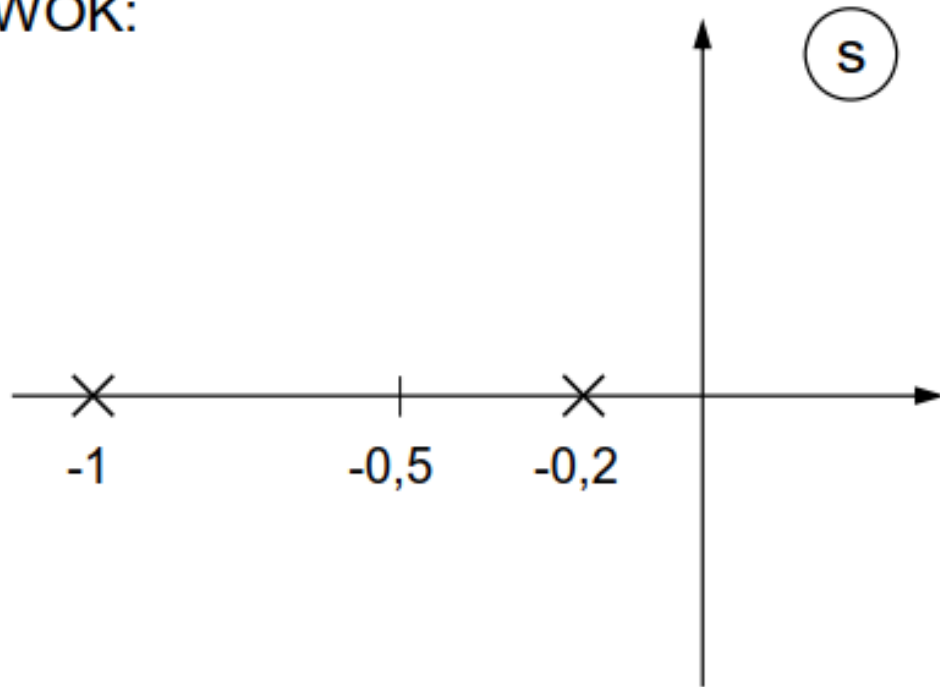
## 2. Fall: $T_N = 1$ („Kompensation“ der schnellen Zeitkonstante)

WOK:



### 3. Fall: $T_N = 2$ (keine Kompensation)

WOK:



⇒ z. B. Matlab (man braucht die „Control Systems Toolbox“!):

⇒ Befehl zum Zeichnen einer einzelnen Wurzelortskurve: `rlocus` (root locus = Wurzelortskurve auf Englisch)  
das machen wir nicht, sondern:

⇒ Interaktive Arbeit mit Wurzelortskurven mit der Matlab-App „rltool“ ⇔ „control system designer“

⇒ Zunächst: Eingeben der Strecken-Übertragungsfunktion und Eintragen als Regelstrecke

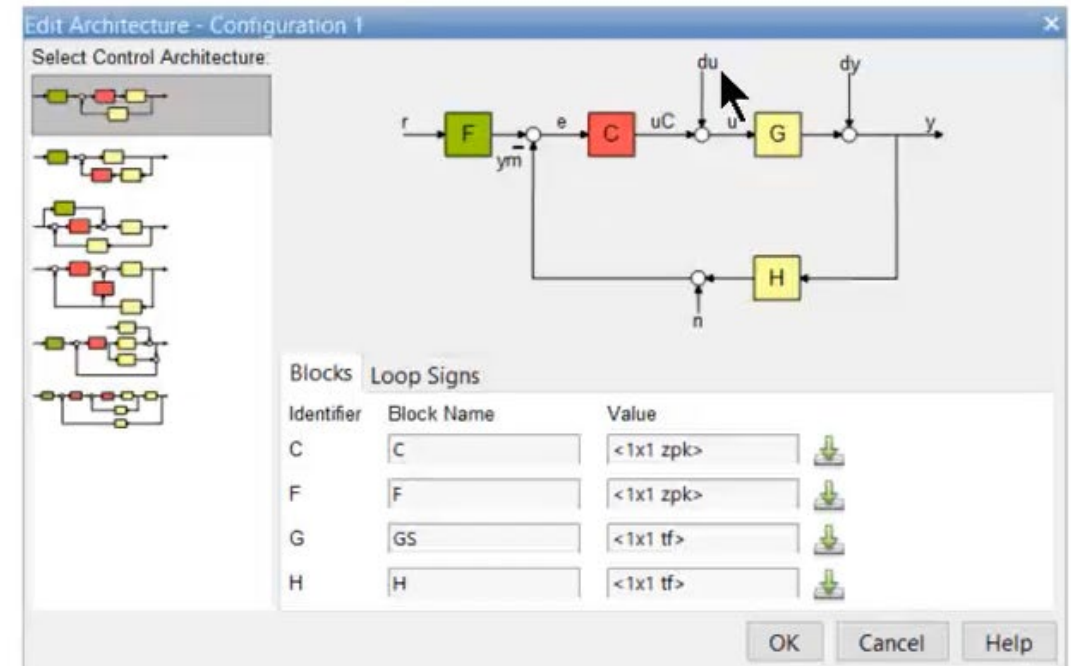
```
>> rltool
>> GS = tf(1, [5 6 1])

GS =

          1
-----
5 s^2 + 6 s + 1

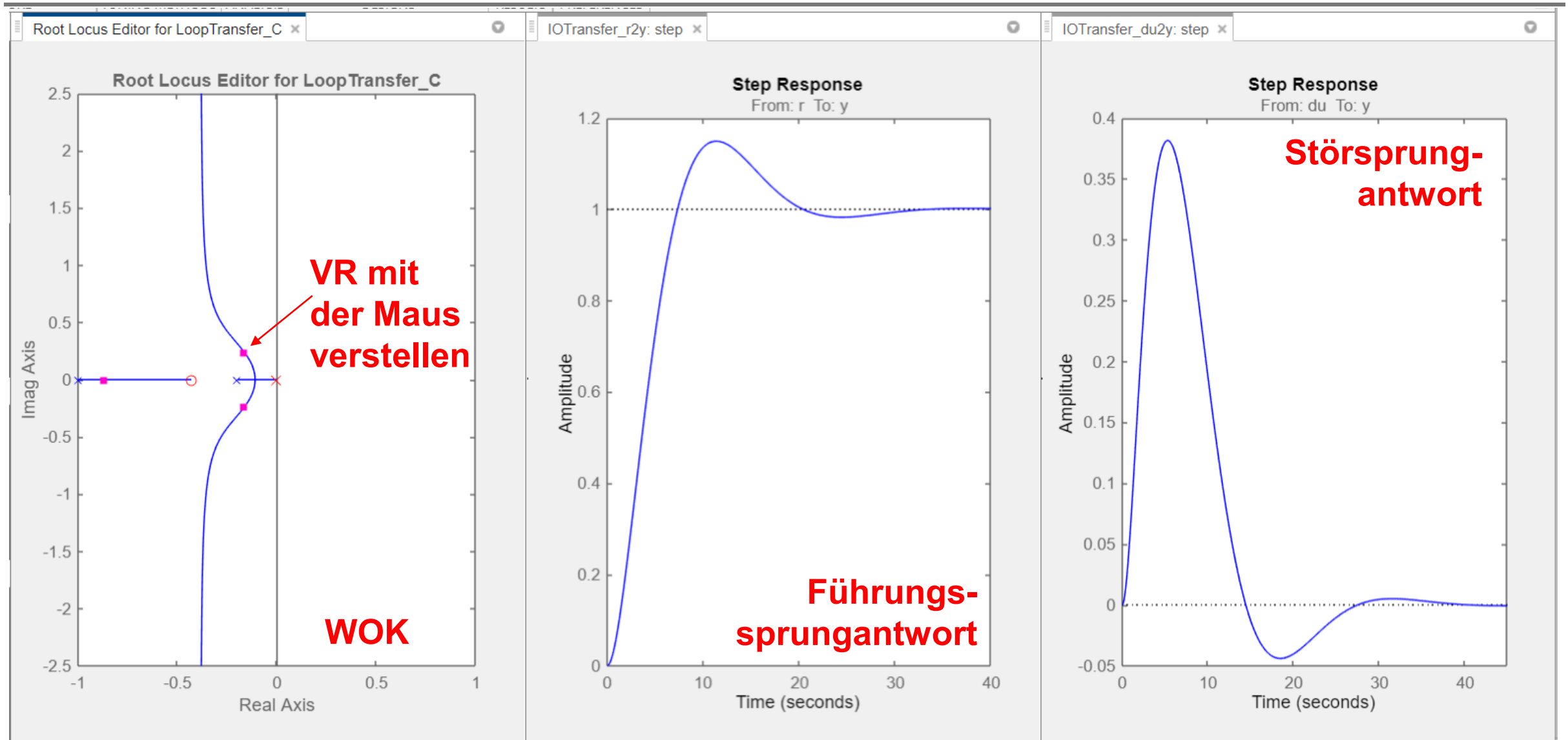
Continuous-time transfer function.

>>
```



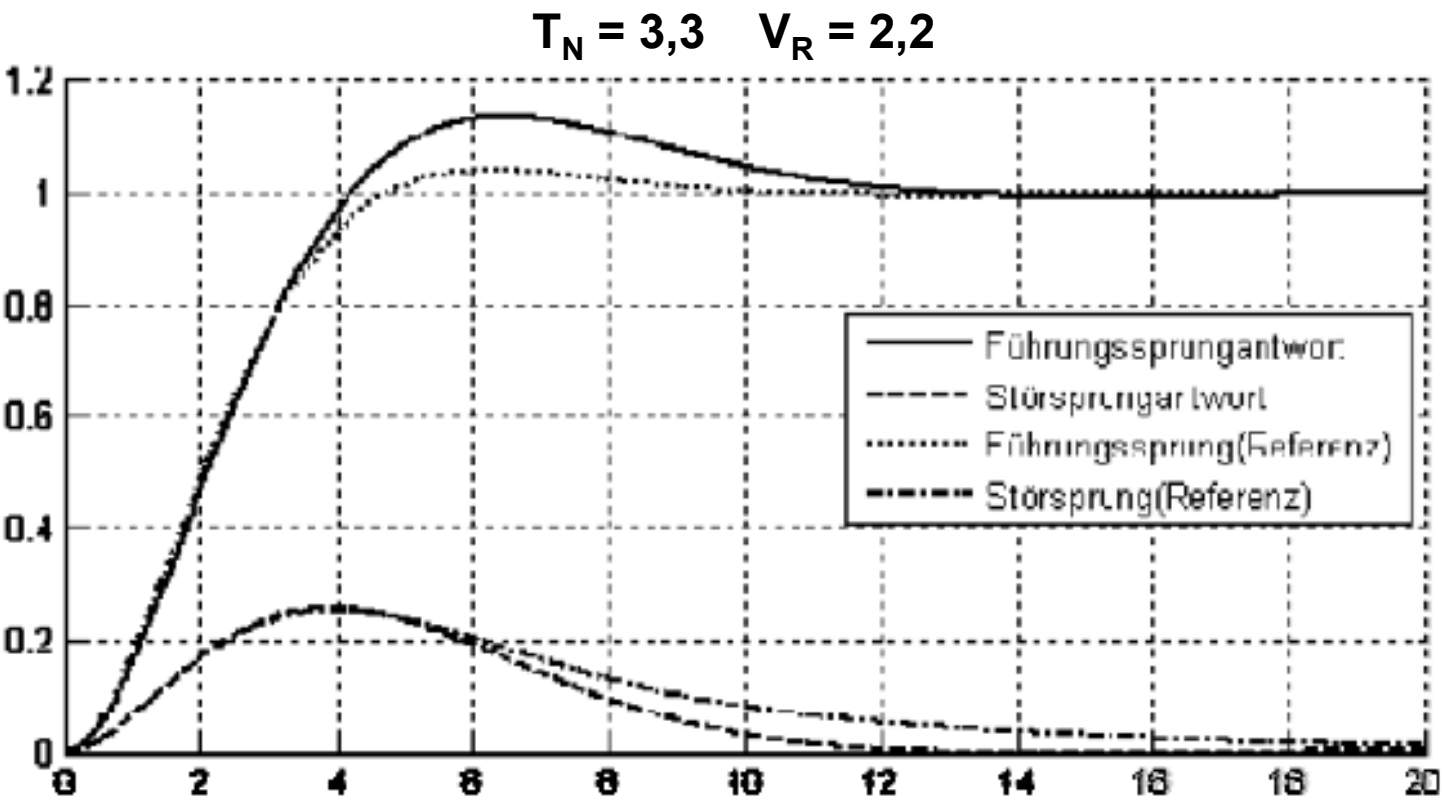
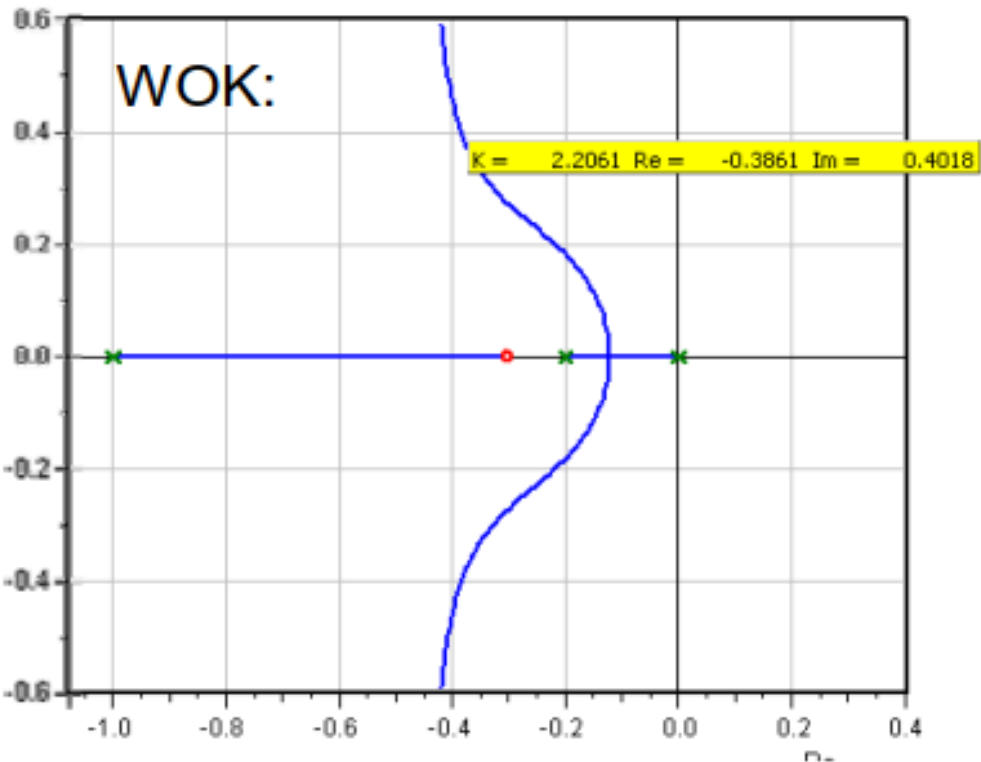


# Zur „kreativen“ Arbeit mit Wurzelortskurven: Nutzung eines WOK-Tools „control system designer“



Vierte Strategie zur Festlegung von  $T_N$ : keine Kompensation einer Zeitkonstante der Regelstrecke, hier  $T_N=3,3$

4. Fall:  $T_N = 3,3$  (keine Kompensation)



--> besseres Störverhalten, da kein Kriechen mehr

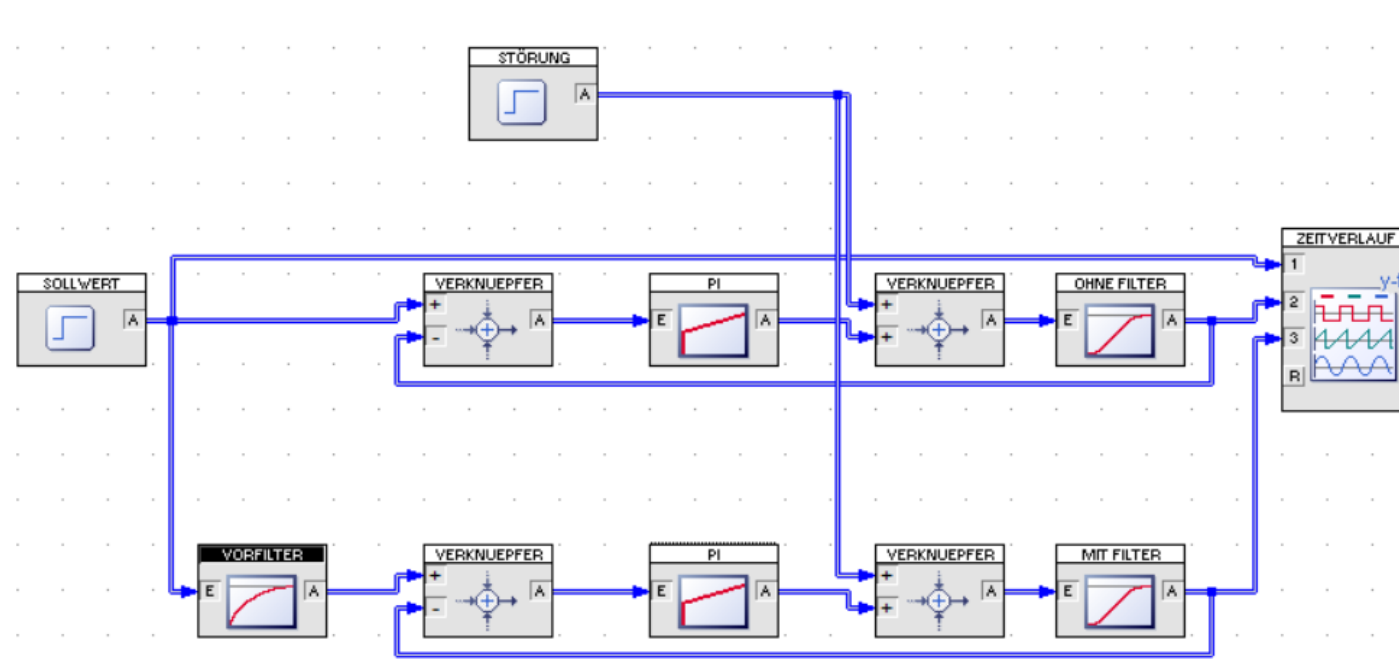
Ohne Kompensation kommt es durch die Nullstelle in  $G_w(s)$  (PDT<sub>3</sub>-Übertragungsfunktion!) zu einem deutlichen „Überschwinger“. Abhilfe: zum Beispiel PT<sub>1</sub>-Filter im Sollwertkanal.

--> Formel mit 45° als Ergebnis gilt nicht mehr, da nur für PT2 gültig !! (--> deshalb nichtmehr  $\ddot{u} = 4\%$ )

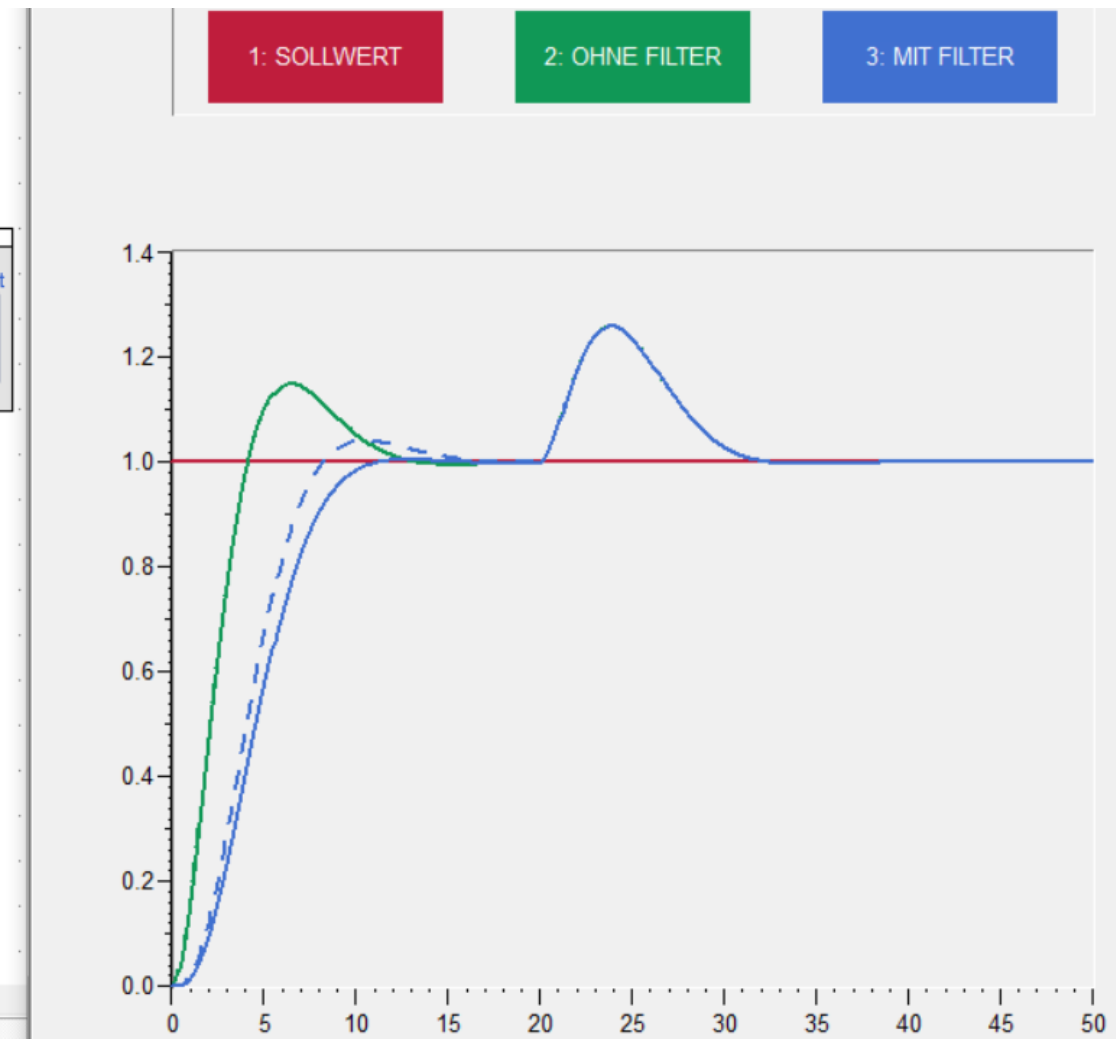
# Lösung für das Problem des Überschwingens in der Führungssprungantwort: Ein Vorfilter im Sollwert-Kanal

⇒ Außerhalb des Regelkreises ⇔ das Störverhalten wird dadurch nicht beeinflusst!

⇒ Mit  $T_N = 3,3$   $V_R = 2,2$  Vorfilter-Zeitkonstante  $T_F = 3,3$  bzw.  $T_F = 2,5$  (gestrichelt):



Vorfilter dämpft Überschwinger

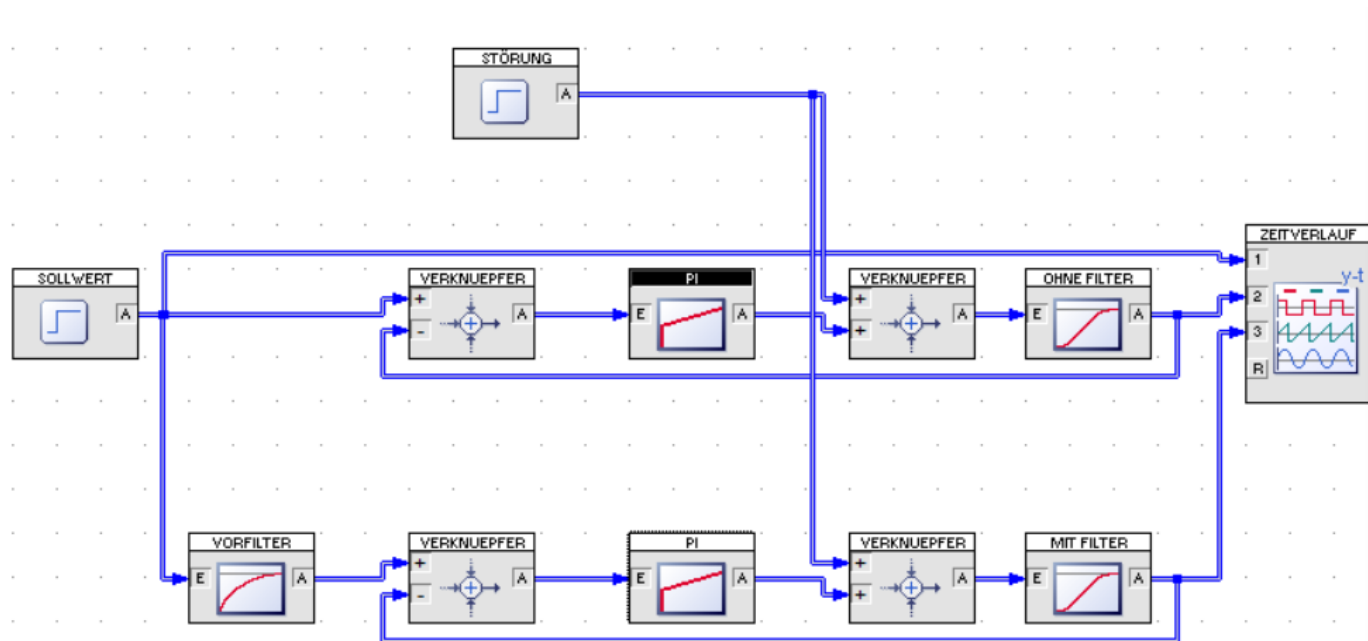


# Lösung für das Problem des Überschwingens in der Führungssprungantwort: Vorfilter im Sollwert-Kanal

Was man noch machen kann:

⇒  $V_R$  noch weiter erhöhen (bessere Störunterdrückung!)

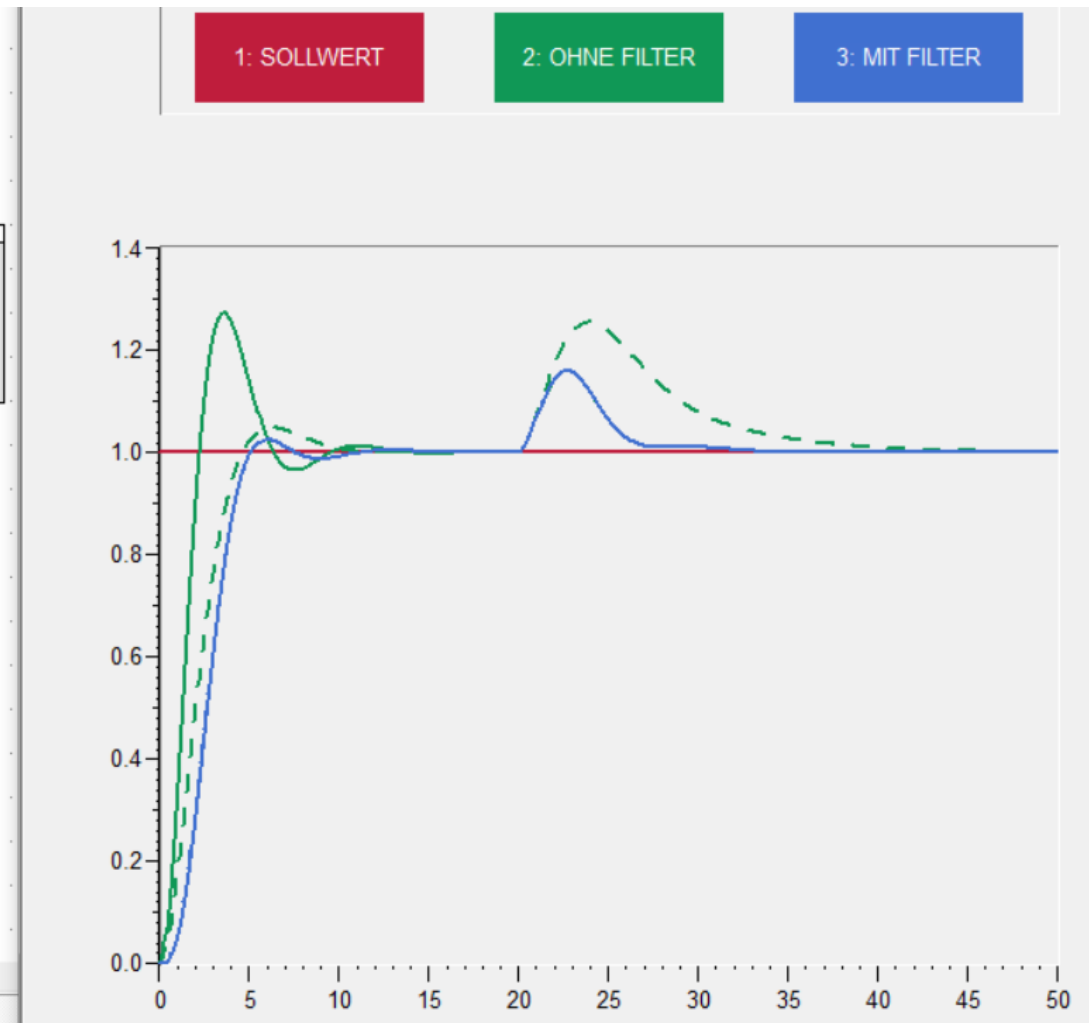
⇒ ... sowie Anpassung des Vorfilters:



Grün: Ohne Vorfilter  $T_N = 3,3$   $V_R = 5$

Grün gestrichelt: Referenz, ohne Vorfilter  $T_N = 5$ ;  $V_R = 2,5$

Blau: Mit Vorfilter  $T_N = 3,3$ ;  $V_R = 5$ ;  $T_F = 2$



- ⇒ Anwenden der Regeln für die Skizze von WOKn
- ⇒ Verständnis für die Wirkung von Nullstellen auf die Regelkreisdynamik  $\Leftrightarrow$  „Verbiegen“ der WOK-Äste (da wäre man beim Vorgehen im Bode-Diagramm vielleicht gar nicht darauf gekommen?!)
- ⇒ Somit Finden einer geeigneten Reglereinstellung für gutes Störverhalten (Will man NUR ein gutes Führungsverhalten: Kompensation von (langsamen) Streckenpolen!)
- ⇒ Die „kreative“ Arbeit mit WOKn erfordert etwas Einarbeitung / Erfahrung
- ⇒ Eine allgemeine Erkenntnis aus dieser Aufgabe:
  - ⇒ Will man SOWOHL gutes Störverhalten ALS AUCH gutes Führungsverhalten:
  - ⇒ Lege den REGLER für gutes STÖRVERHALTEN aus
  - ⇒ Falls das resultierende FÜHRUNGSVERHALTEN nicht gefällt: Setze ein VORFILTER im Führungskanal ein  $\Leftrightarrow$  „Zwei-Freiheitsgrade-Struktur“
- ⇒ Weitere strukturelle Maßnahmen (Störgrößenaufschaltung, Vorregelung, Kaskadierung) in Kapitel 8!