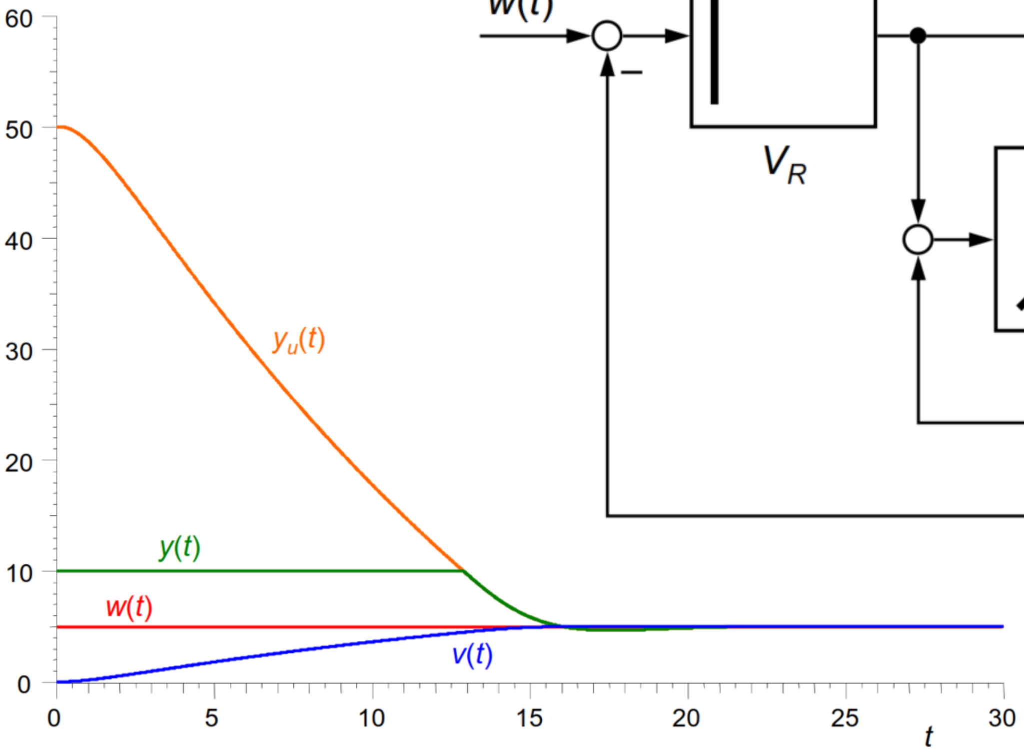
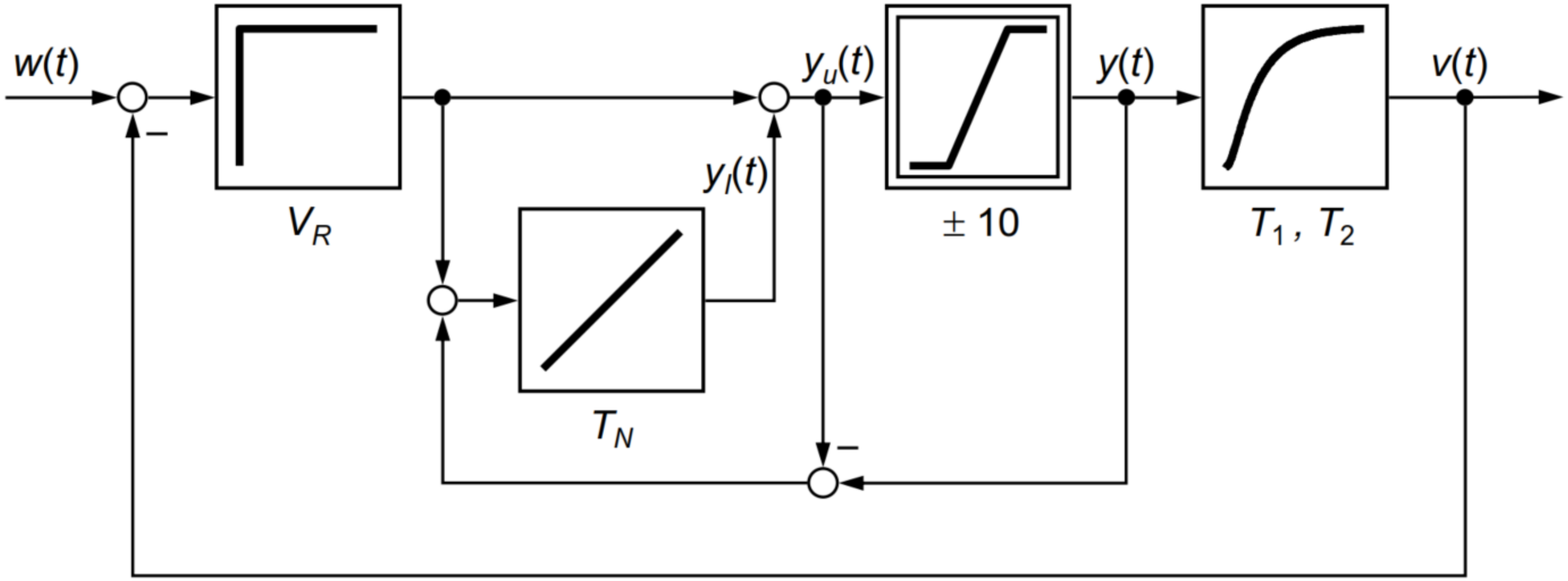
Regelungstechnik

für BEI4, BMEI4 und IBT

Prof. Dr. B. Wagner





$$\underline{\underline{G_R(s)}} = \frac{\frac{Z_W(s)}{N_W(s)}}{\frac{Z_S(s)}{N_S(s)}(s) \cdot \left(1 - \frac{Z_W(s)}{N_W(s)}\right)} = \underline{\underline{\frac{Z_W(s) \cdot N_S(s)}{Z_S(s) \cdot \left(N_W(s) - Z_W(s)\right)}}}$$

Kap. 5 Regler und Regelkreise
Teil 2: der PI-Regler mit Stellsignalbegrenzung
der Kompensationsregler

DER Standard-Regler überhaupt!

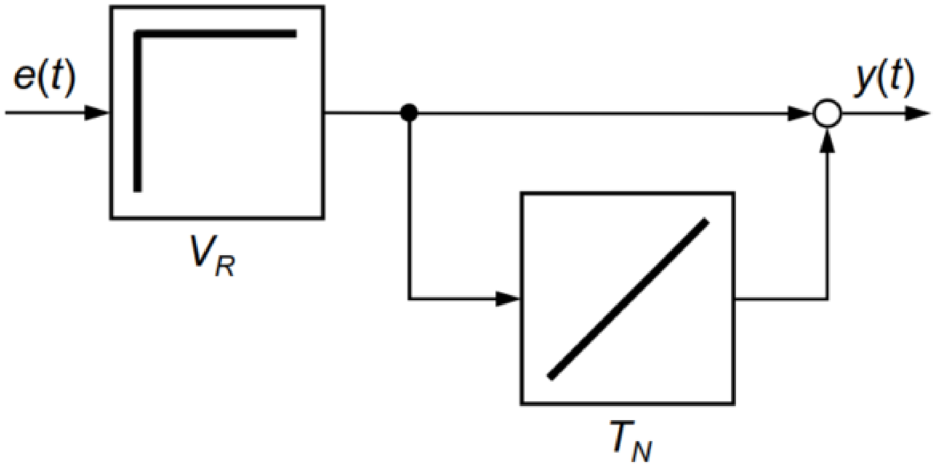
Vorteile:

$\Rightarrow$ **Stationäre Genauigkeit durch I-Anteil**
keine bleibende Regelabweichung im Führungsverhalten
keine bleibende Regelabweichung im Störverhalten

$\Rightarrow$ **Deutlich schnellerer Regelkreis als mit reinem I-Regler**

Definition in Standardform:

$$G_R(s) = V_R\left(1 + \frac{1}{sT_N}\right) = V_R\,\frac{1+sT_N}{sT_N}$$



Parameter: Reglerverstärkung V_R, Nachstellzeit T_N

Beispiel aus dem Skript, S. 5.10:
PI-Regler mit Stellsignalbegrenzung

$$G_R(s) = V_R \frac{1 + sT_N}{sT_N} = 10 \frac{1 + 20s}{20s} \qquad G_S(s) = \frac{V_S}{(1 + sT_{S1})(1 + sT_{S2})} = \frac{1}{(1 + s20)(1 + s)}$$

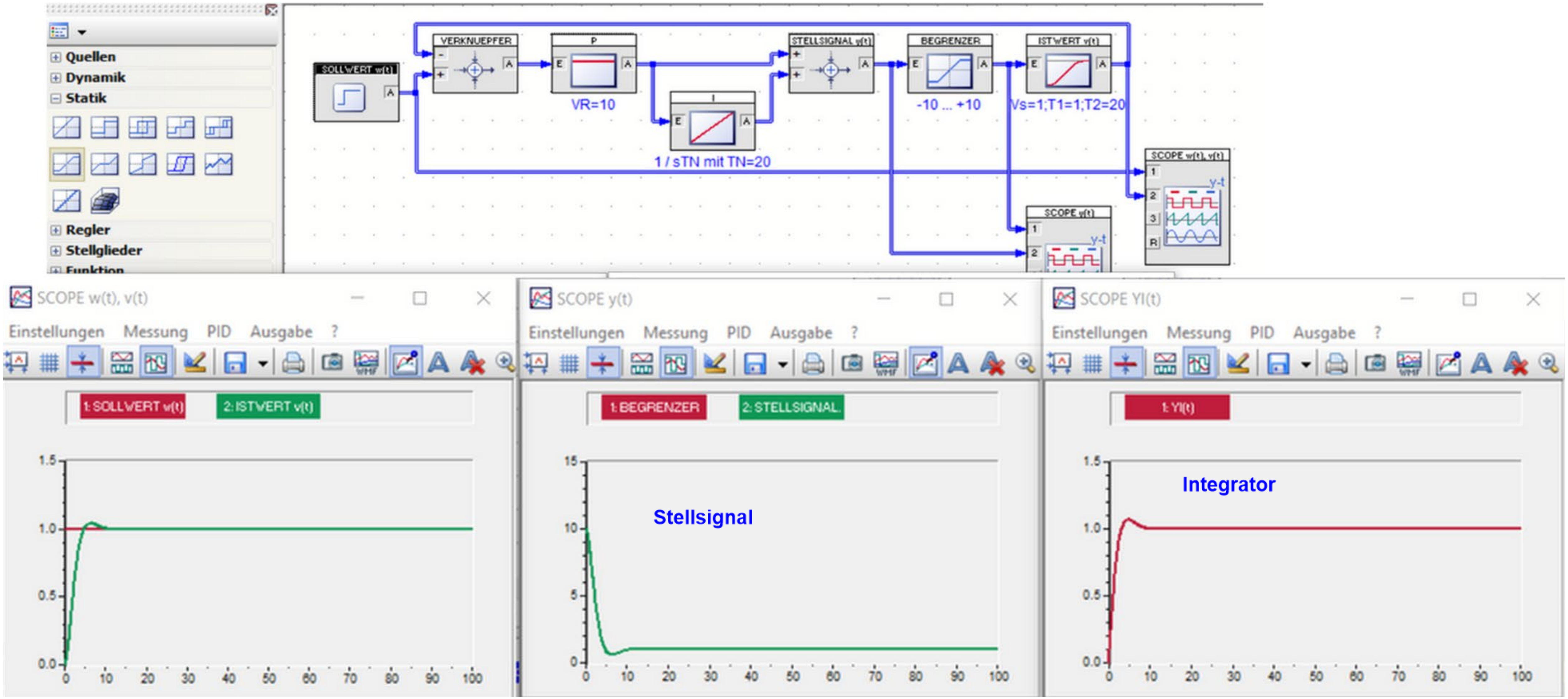
--> Kompensation der größeren Streckenzeitkonstante

Stellsignalbegrenzung -10 … +10

Auf den folgenden Seiten: 4 Simulationen:

1. Simulation: Lineares Verhalten, ohne Ansprechen der Stellsignalbegrenzung (Sollwert = 1)
2. Simulation: Mit Ansprechen der Stellsignalbegrenzung, ohne zusätzliche Maßnahme (Sollwert = 5)
3. Simulation: Mit rampenförmigem Sollwertübergang (Sollwert = 5, Rampe über 20 Zeiteinheiten)
4. Simulation: Mit Sollwertsprung und „Begrenzungsbeobachter“ (Sollwert = 5)

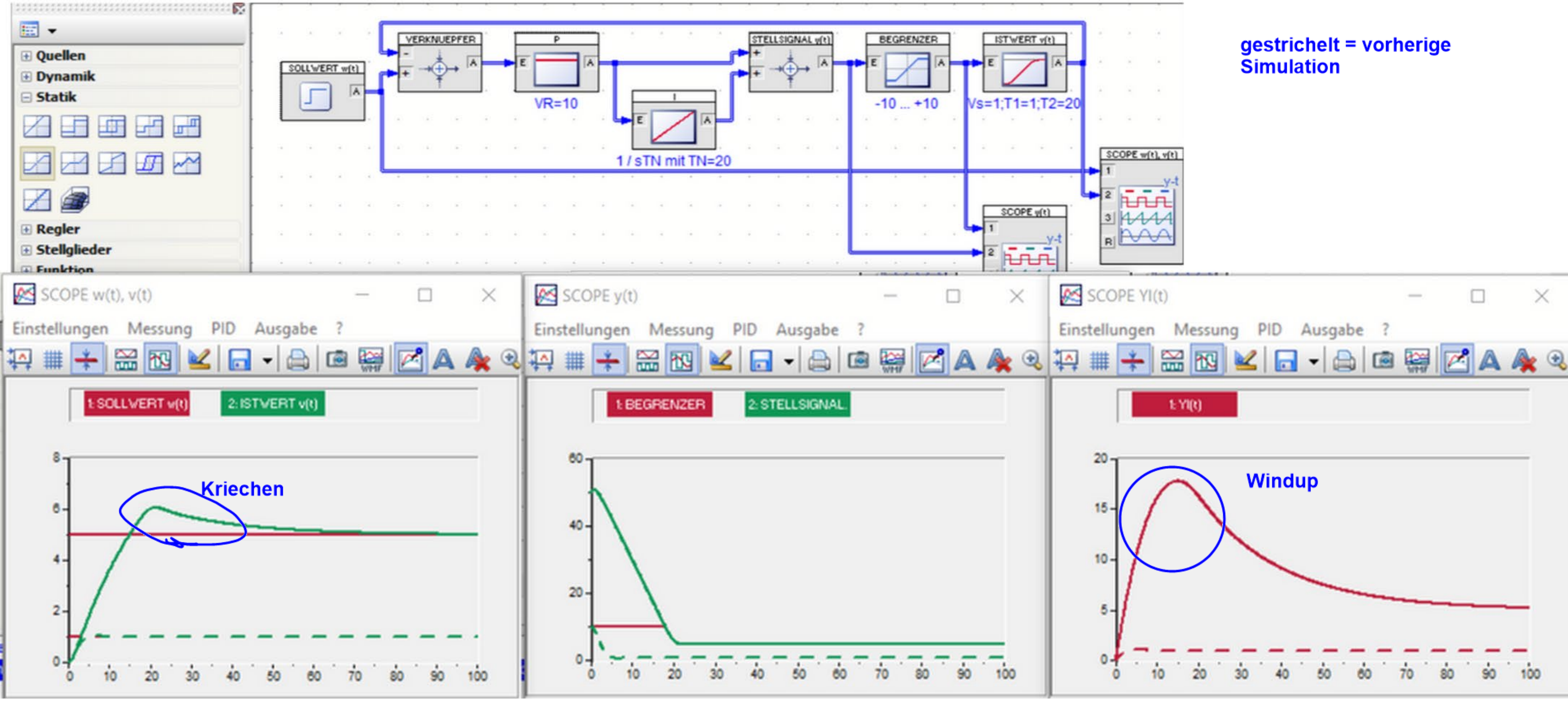
1. Simulation: Sollwert = 1, lineares Verhalten, Stellsignalbegrenzung spricht nicht an



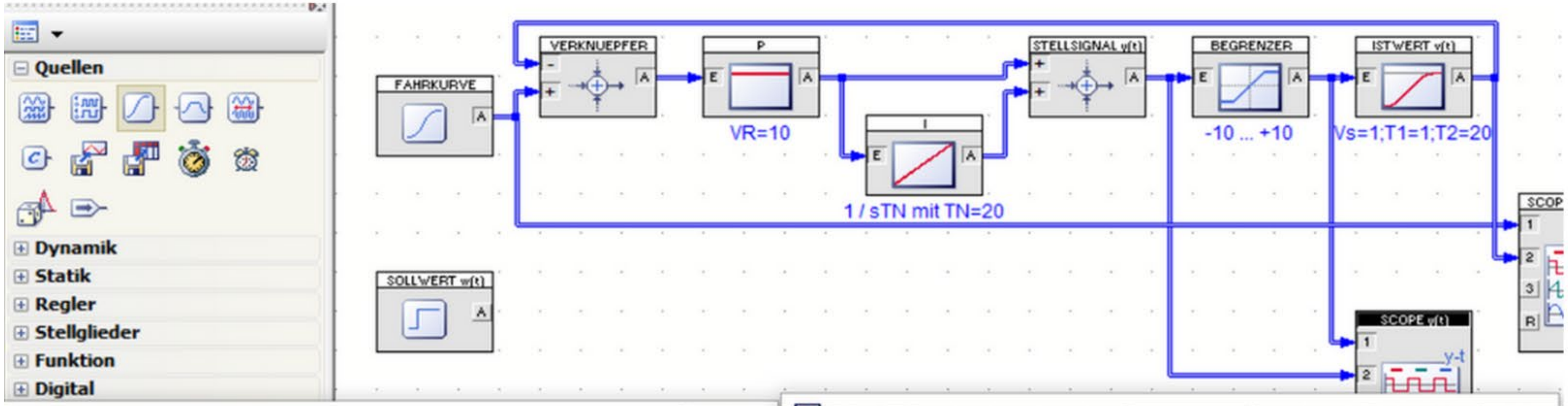
2. Simulation: Sollwert = 5, nichtlineares Verhalten, Stellsignalbegrenzung spricht an

ohm Technische Hochschule Nürnberg

gestrichelt = vorherige Simulation

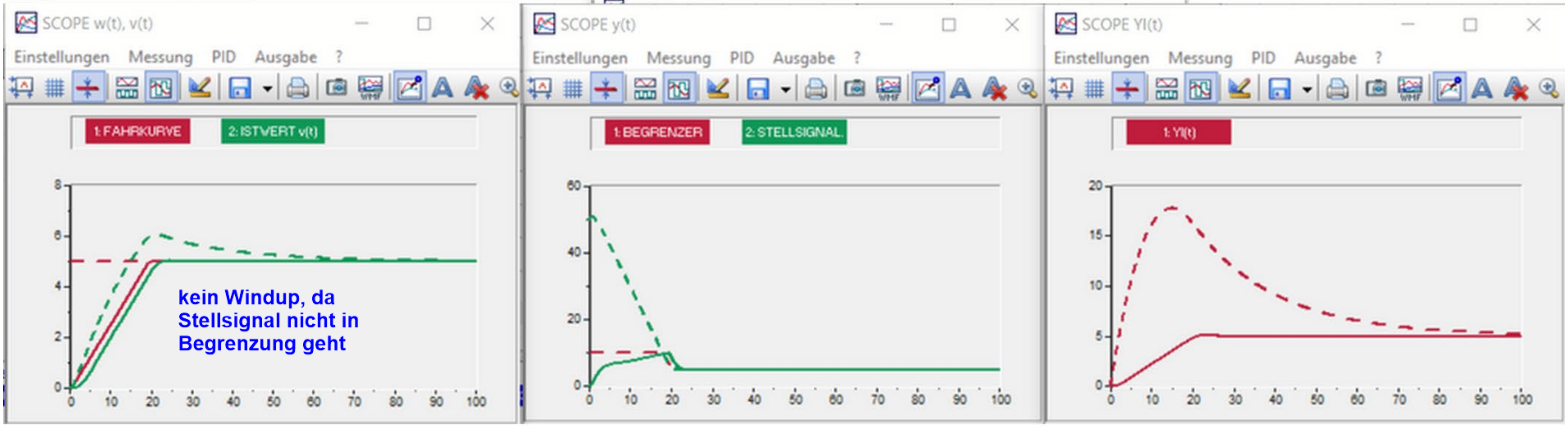


3. Simulation: Sollwert = 5, Sollwert-Rampe statt Sollwert-Sprung vermeidet Ansprechen der Stellsignalbegrenzung (Block „Fahrkurve“) in BORIS



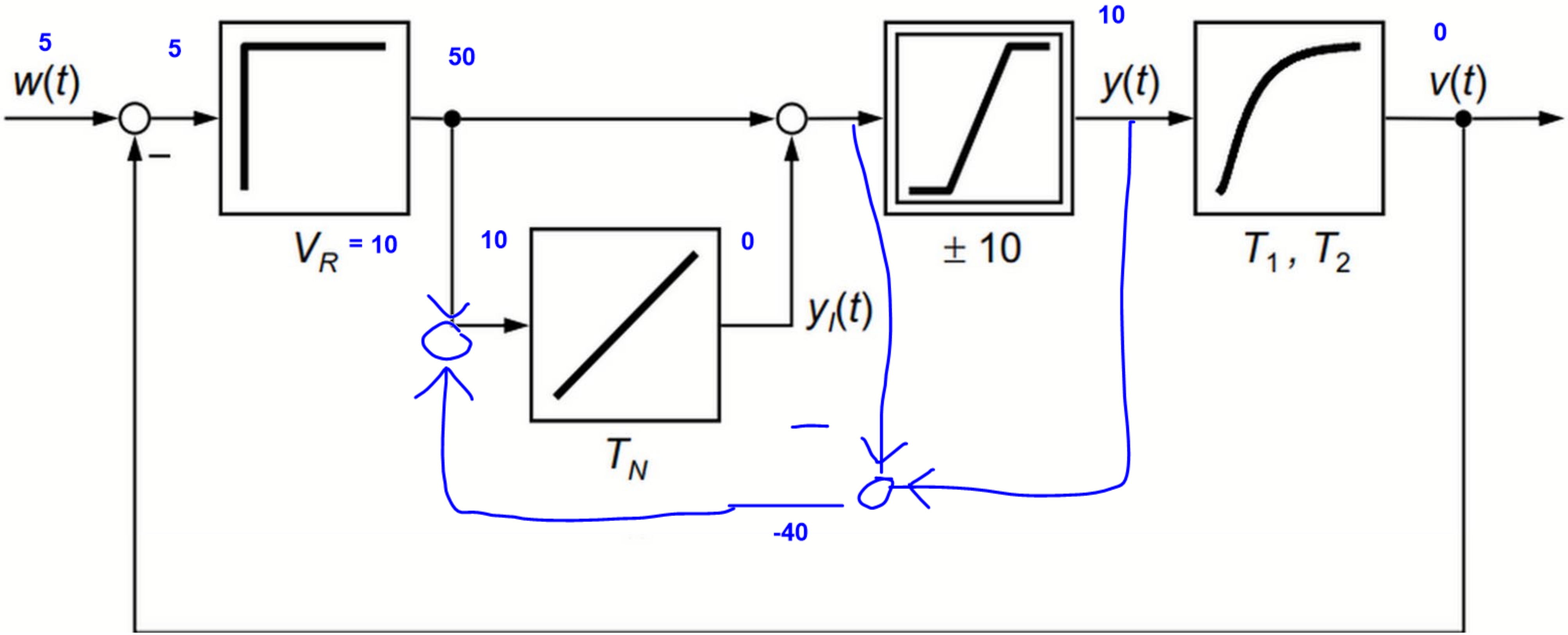
langsamerer Führungsübergang --> kein Windup

Nachteil: Amplitudenabhängig, bei Abweichung wieder Windup möglich



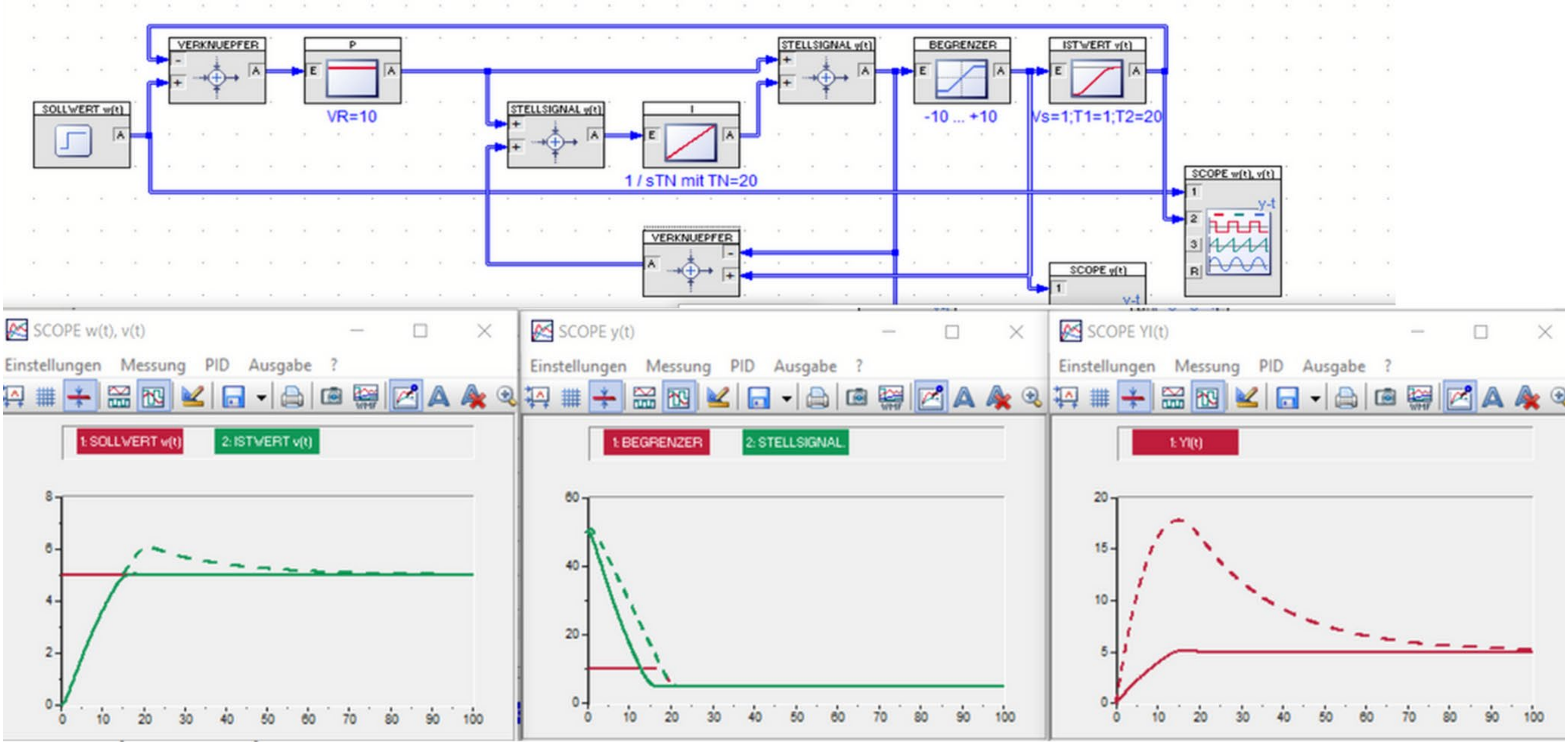
kein Windup, da Stellsignal nicht in Begrenzung geht

Zur Herleitung des „Begrenzungsbeobachters“



--> falls Begrenzung aktiv --> Integration langsamer --> kein "Windup-Effekt" (
--> falls Begrenzung nicht aktiv --> Zusatzmaßnahme passiv

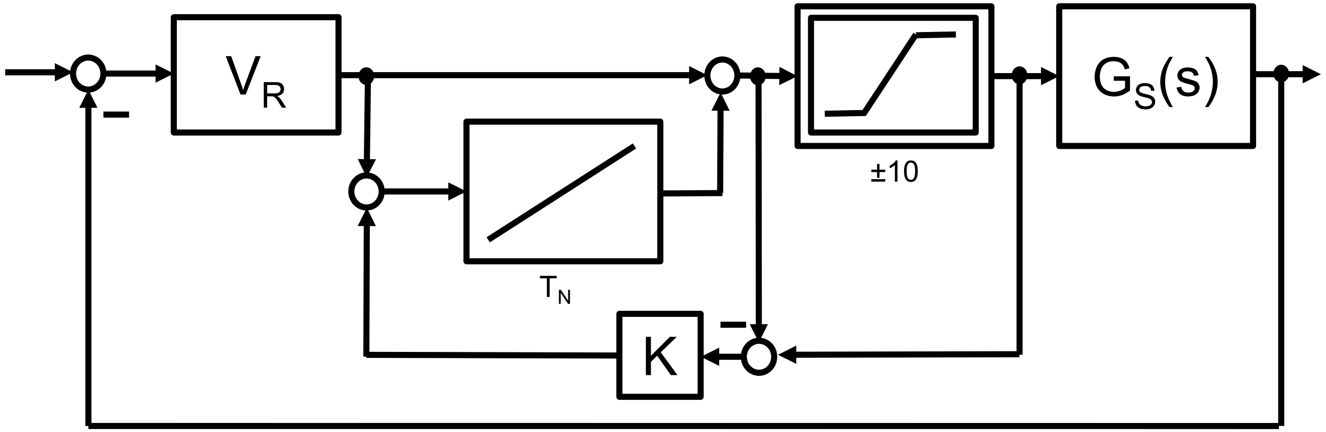
4. Simulation: Sollwert = 5, Sollwert-Sprung, Stellsignalbegrenzung spricht an, führt aber wegen der Schaltung „Begrenzungsbeobachter“ zu keinem unerwünschten Überschwinger => optimaler Umgang mit Stellsignalbegrenzung!

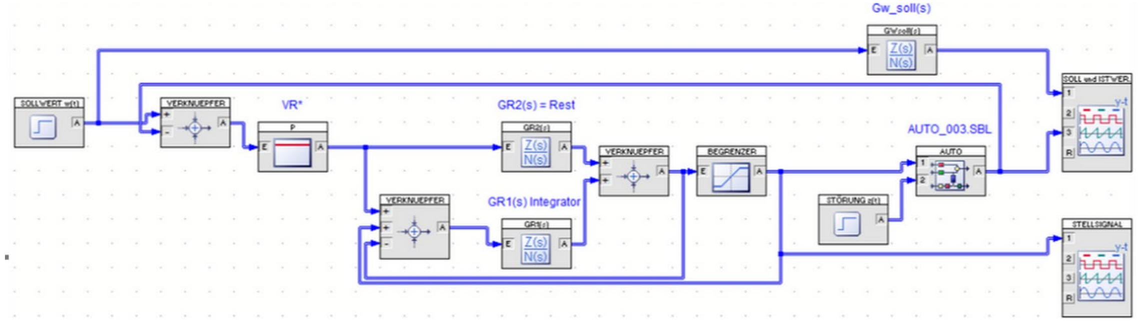


⇒ Der I-Anteil jedes Reglers mit I-Anteil muss überwacht werden!

⇒ Optimale Methode: „Begrenzungsbeobachter“-Struktur

- ⇒ **In der Literatur / in Software auch als „Back Calculation“ – Methode bezeichnet**
- ⇒ **Oft auch mit zusätzlichem Rückführ-Koeffizient K (Tuning-Parameter):**
- ⇒ **Bei PID- / PIDT1- Reglern:**
  äquivalentes Vorgehen
  Begrenzungsbeobachter soll nur auf den I-Anteil wirken
  Siehe Praktikumsversuch 3!





Standard-Regler

- z. B. P, PI, $PIDT_1$, …
- „klassische Regelungstechnik“
- Reglerparameter (z. B. V_R, T_N, …) werden über Tabellen / Optimierungsrechnung / Experimente angepasst

Modellbasierte Regelung

- Reglerstruktur /-typ passt sich dem Regelstreckenmodell an
- „moderne Verfahren der Regelungstechnik“
- in RT-Vorlesung: „Kompensationsregler“ ⇔ vorgegebenes Führungsverhalten
- im Master MSY / Modul AUT5: Zustandsregler, Entkopplungsregler, exakte Ein-/Ausgangslinearisierung, …
- in der Literatur etliche weitere Methoden (Internal model control, H_∞-Regelung, …)

Idee: Gebe das Führungsverhalten des Regelkreises $G_W(s)$ vor und berechne den dazu passenden Regler $G_W(s)$

Gegeben: $G_S(s)$ Vorgabe: $G_{Wsoll}(s)$

Wir wissen: $G_W(s) = \frac{G_R(s)G_S(s)}{1+G_R(s)G_S(s)}$ Auflösen nach $G_R(s)$ ergibt $\boxed{G_R(s) = \frac{G_{Wsoll}(s)}{G_S(s)(1-G_{Wsoll})}}$

Für die praktische Berechnung des Reglers bietet sich die folgende Umformung an:

$$G_R(s) = \frac{G_{Wsoll}(s)}{G_S(s)(1-G_{Wsoll})} = \frac{\frac{Z_W(s)}{N_W(s)}}{\frac{Z_S(s)}{N_S(s)}\left(1-\frac{Z_W(s)}{N_W(s)}\right)} \quad \boxed{\rightarrow G_R(s) = \frac{Z_W(s)N_S(s)}{Z_S(s)(N_W(s)-Z_W(s))}}$$

Rechenbeispiel für den Kompensationsregler:

Gegeben: $$G_S(s) = \frac{2}{(1+4s)(1+s)} = \frac{2}{(1+5s+4s^2)}$$

Gesucht: Geeignetes $G_{wsoll}(s)$?!

$\Rightarrow$ **Z. B. „der Regelkreis soll fünfmal so schnell sein wie die ungeregelte Strecke, schwingfrei“**

$\Rightarrow$ **Summenzeitkonstante der Strecke** 5 **Einschwingdauer der Strecke** 20

$\Rightarrow$ **Summenzeitkonstante des Regelkreises:** 1 **Einschwingdauer des Regelkreises** 4

$\Rightarrow$ **PT2-Soll-Übertragungsfunktion $G_{wsoll}(s) =$**

$$= \frac{1}{(1+s\cdot 0{,}5)(1+s\cdot 0{,}5)} = \frac{1}{1+s+0{,}25s^2}$$

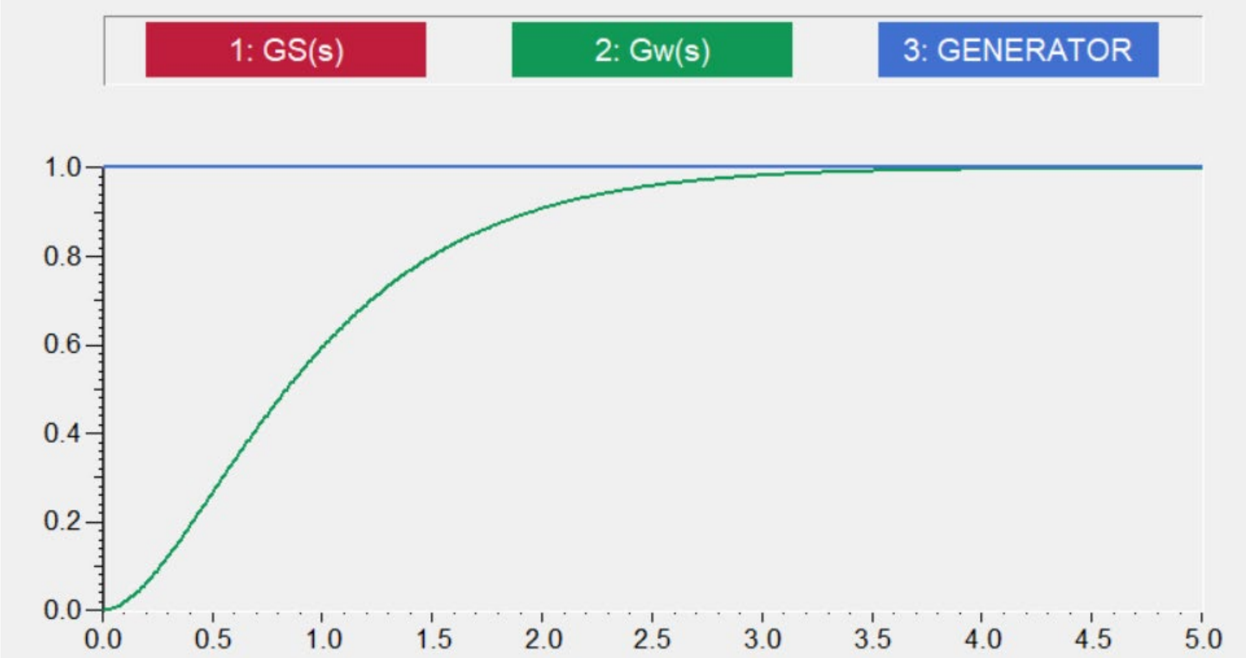
Fortsetzung Rechenbeispiel für den Kompensationsregler:

Gegeben: $$G_S(s) = \frac{2}{(1+5s+4s^2)} \qquad G_{Wsoll}(s) = \frac{1}{(1+s+0{,}25s^2)}$$

Regler berechnen:

$$G_R(s) = \frac{Z_W(s) \cdot N_S(s)}{Z_S(s) \cdot \left(N_W(s) - Z_W(s)\right)} = \frac{1 + 5s + 4s^2}{2 \cdot (s + 0{,}25s^2)}$$

--> PIDT1



Warum heißt dieser Reglertyp „Kompensationsregler“?

$$\underline{\underline{G_R(s)}} = \underline{\underline{\frac{Z_W(s)\cdot N_S(s)}{Z_S(s)\cdot(N_W(s)-Z_W(s))}}}$$

Im Zähler des Reglers steht Nenner der Strecke $N_s(s)$

$\Rightarrow$ Alle Pole der Regelstrecke werden durch Zählernullstellen kompensiert

Im Nenner des Reglers steht Zähler der Regelstrecke $Z_s(s)$

$\Rightarrow$ Alle Nullstellen der Regelstrecke werden durch Zählerpole kompensiert

Also:

$\Rightarrow$ Das <u>gesamte</u> dynamische Verhalten der Regelstrecke wird durch den Regler kompensiert!

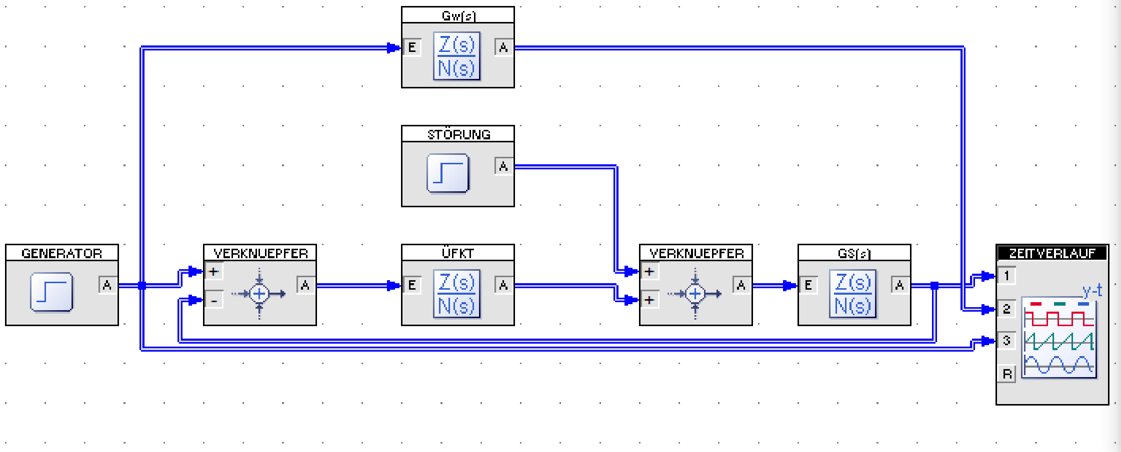
Durch $N_w(s)$ und $Z_w(s)$ wird das gewünschte Führungsverhalten eingestellt

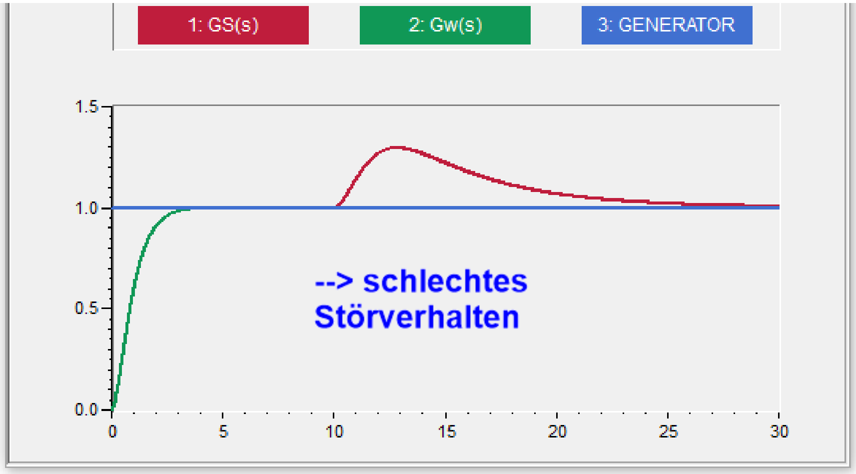
$\Rightarrow$ Sehr gutes, vorgebbares Führungsverhalten

$\Rightarrow$ Wie ist das Störverhalten?

Betrachte das Störverhalten im Beispiel

Simulation:





Woher kommt das Kriechen im Störverhalten ⬄ langsame Pole in $G_z(s)$?

$$G_Z(s) = \frac{G_S}{1 + G_S \cdot G_R} = \frac{\frac{Z_S}{N_S}}{1 + \frac{Z_S}{N_S} \cdot \frac{Z_W N_S}{Z_S(N_W - Z_W)}} = \frac{Z_S(N_W - Z_W)}{N_S \cdot N_W}$$

--> N_S enthält T=5 --> Einschwingdauer = 20 --> schlecht !!

Im Störverhalten treten die "kompensierten" Streckenpole in Erscheinung und können sich durch "Kriechen" auswirken!

Achtung: Der „Kompensationsregler“ darf nicht angewandt werden bei instabilen oder nichtminimalphasigen Strecken!!!

Welche Ordnung muss $G_{Wsoll}(s)$ haben?

Beispiel einer zu klein gewählten Ordnung:

grundsätzlich für stationäre Genauigkeit:
G_W(s=0) = 1

$$G_S(s) = \frac{2}{(1+5s+4s^2)}; \qquad G_{Wsoll}(s) = \frac{1}{(1+s)};$$

$$G_R(s) = \frac{Z_W(s)N_S(s)}{Z_S(s)(N_W(s)-Z_W(s))} = \qquad G_R(s) = \frac{1+5s+4s^2}{2s}$$

--> nicht realisierbar
Regler PID ideal

Für eine Vorgabefunktion $G_W(s)$ muss gelten:

$$\boxed{n_W - m_W \geq n_S - m_S}$$

mit
n_S = Anzahl Streckenpole
m_S = Anzahl Streckennullstellen
n_W = Anzahl Pole von $G_{Wsoll}(s)$
m_W= Anzahl Nullstellen von $G_{Wsoll}(s)$

Was passiert, wenn man einen Kompensationsregler bei einer nichtminimalphasigen Strecke anwendet?

Beispiel: $G_S(s) = \frac{1-3s}{(1+5s+4s^2)}$; $\quad G_{Wsoll}(s) = \frac{1}{(1+s)^2}$;

$$G_R(s) = \frac{Z_W(s)N_S(s)}{Z_S(s)(N_W(s) - Z_W(s))} = \frac{1+5s+4s^2}{(1-3s)\cdot((1+s)^2-1)} = \frac{1+5s+4s^2}{(1-3s)\cdot(2s+s^2)} = \frac{1+5s+4s^2}{2s-5s^2-3s^3}$$

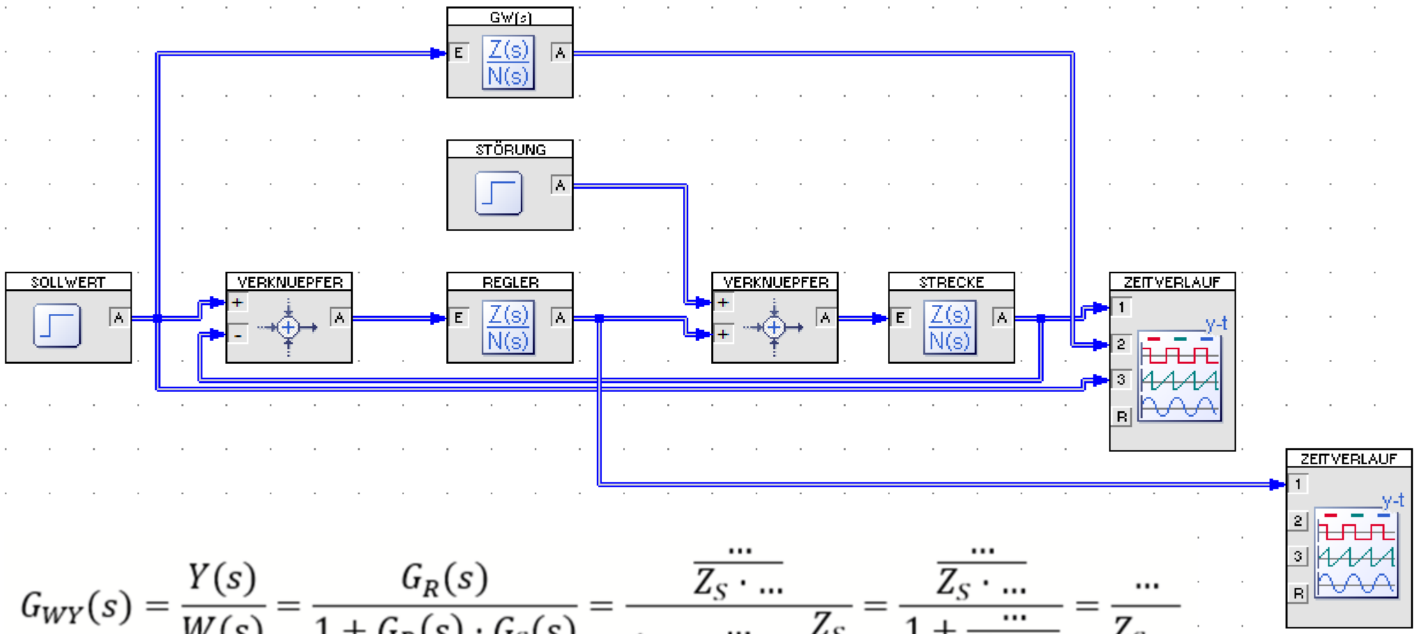
??? „Kompensationsregler“ bei instabilen oder nichtminimalphasigen Strecken ???

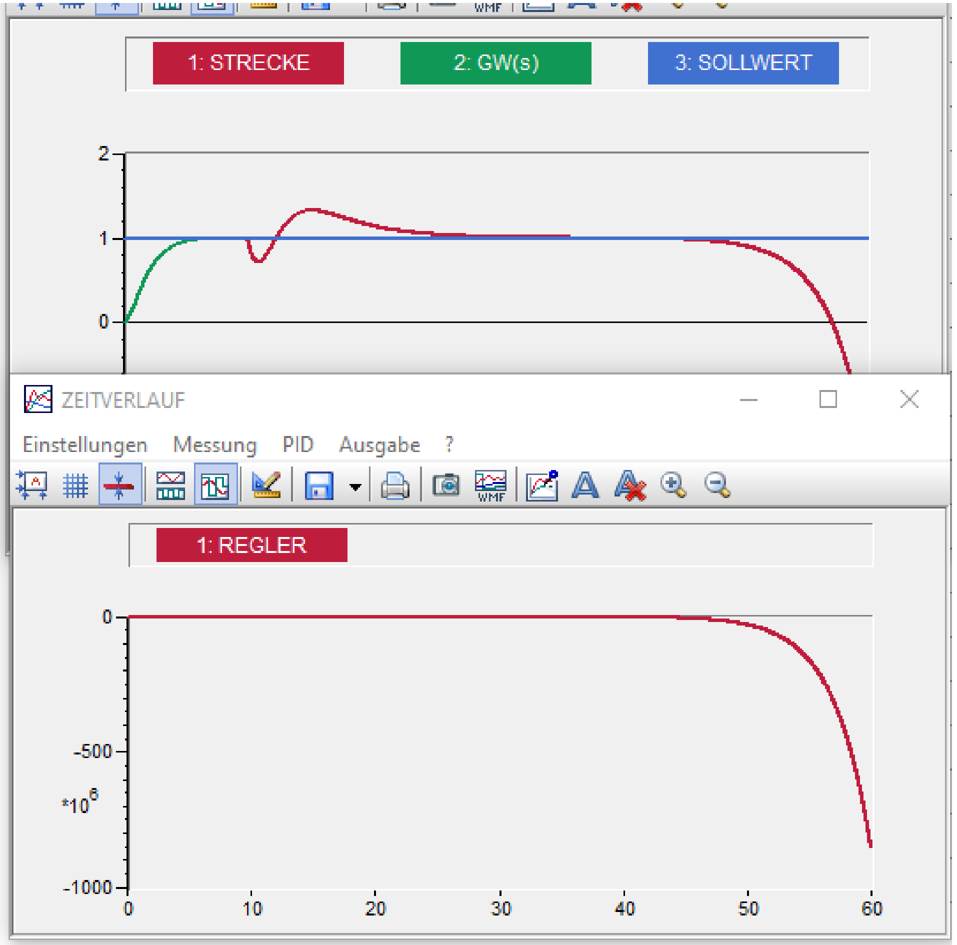
ohm Technische Hochschule Nürnberg

Was passiert, wenn man einen Kompensationsregler bei einer nichtminimalphasigen Strecke anwendet?

$$G_R(s) = \frac{4s^2+5s+1}{-3s^3-5s^2+2s}; \quad G_S(s) = \frac{1-3s}{(1+5s+4s^2)}$$

Simulation:





$$G_{WY}(s) = \frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{G_R(s)}{1+G_R(s)\cdot G_S(s)} = \frac{\frac{\dots}{Z_S\cdot\dots}}{1+\frac{\dots}{Z_S\cdot\dots}\cdot\frac{Z_S}{N_S}} = \frac{\frac{\dots}{Z_S\cdot\dots}}{1+\frac{\dots}{N_S\cdot\dots}} = \frac{\dots}{Z_S\dots}$$

--> G_WY ist instabil --> Stellsignal gegen -Unendlich

Fazit: Man darf bei nichtminimalphasigen (und instabilen) Regelstrecken keinen Kompensationsregler einsetzen!

Zusammenfassung Kompensationsregler:

=> Formel $$\underline{\underline{G_R(s)}} = \underline{\underline{\frac{Z_W(s) \cdot N_S(s)}{Z_S(s) \cdot (N_W(s) - Z_W(s))}}}$$

=> Führungsverhalten sehr gut, da vorgebbar

=> Ggf. ungünstiges Störverhalten ("Kriechen")

=> "kompensierte" Streckendynamik ist nicht "weg", sondern tritt im Störverhalten in Erscheinung

=> Kompensationsregler darf NICHT für instabile oder nichtminimalphasige Strecken angewandt werden

=> Vorgabefunktion Gw(s) muss geeignet gewählt werden: N>n-m