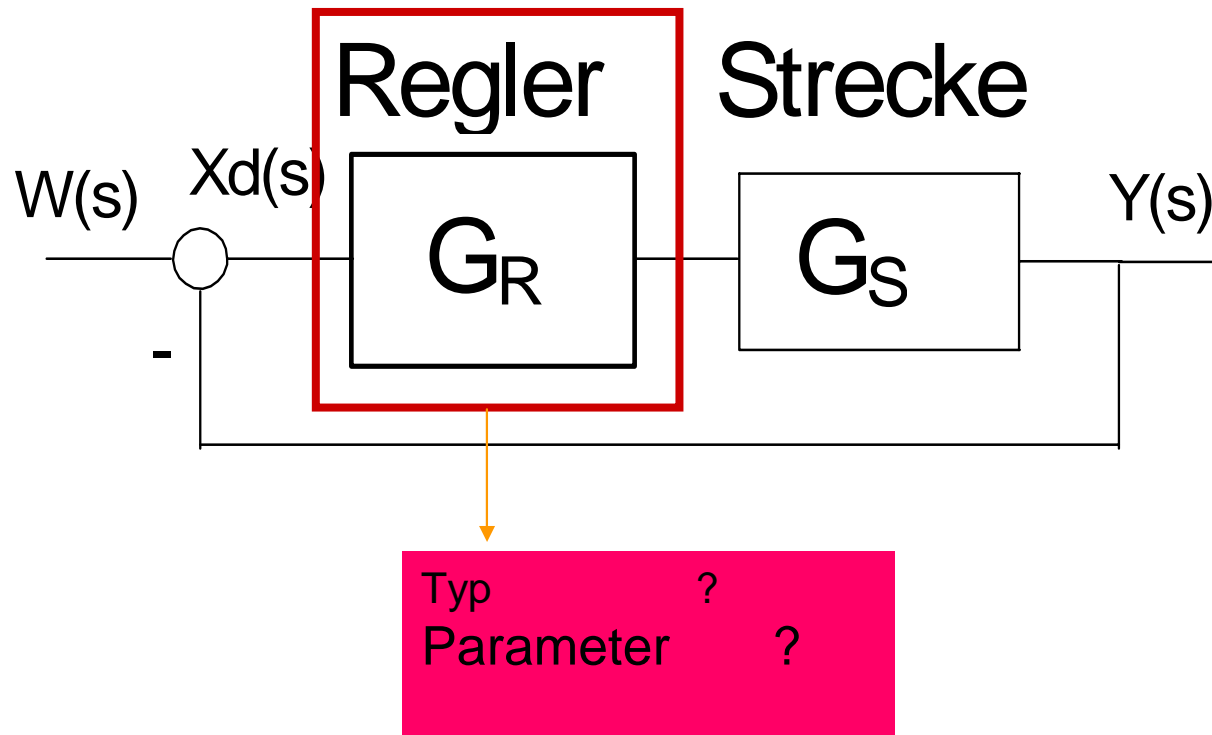


Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

Zur Auswahl von Reglertyp und Reglerparameter



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

1. Typauswahl (P, PI, PD, PID ????)

A) nach Tabellen

(Faustformel mit “welcher Reglertyp zu welcher Strecke”)

B) nach analytisch hergeleiteten Gesichtspunkten

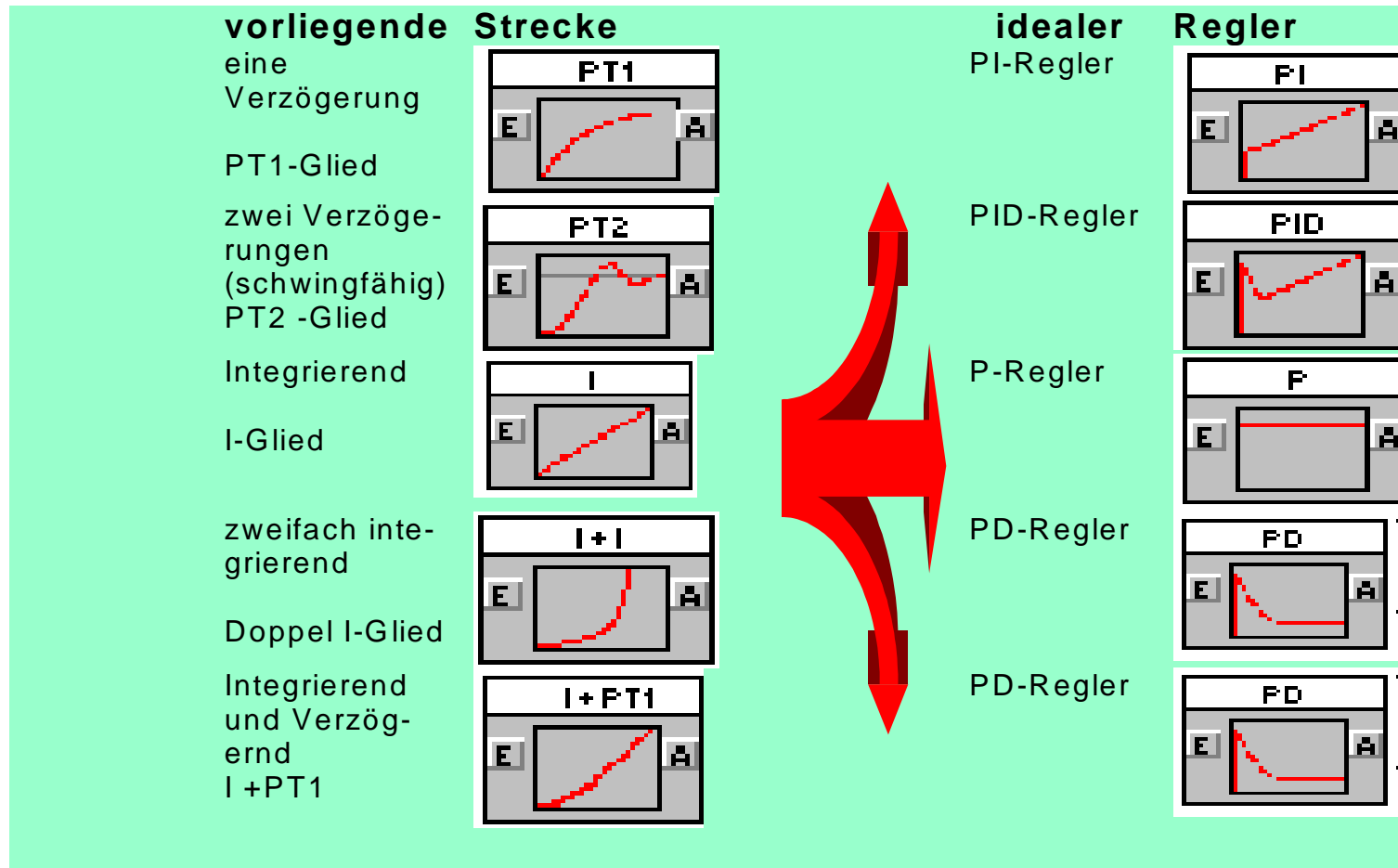
(z.B. strukturoptimaler Regler = Kompensationsreglerverfahren)

Das bedeutet, aus einem selbstgesteckten Ziel (Regelverhalten) wird analytisch der notwendige Regler berechnet!

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

Typauswahl: A) Tabelle



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

Typauswahl: B) Kompensationsreglerverfahren

<p>PT1-Strecke</p> $G_{Strecke}(S) = \frac{K_{PS}}{1 + T_S S}$	$K_{pr} = \frac{T_N}{T_{RK} K_{PS}}$ <p style="text-align: center;"><i>Handwritten: $\sqrt{\frac{1}{K_{PS}}}$ $\frac{1}{K_{PS}}$</i></p> $T_n = T_S$	<p>PI-Regler</p> $G_{PI-Regler}(S) = K_{PR} \frac{1 + T_N S}{T_N S}$
<p>PT2-Strecke</p> $G_{Strecke}(S) = \frac{K_{PS}}{1 + 2D_S T_S S + T_S^2 S^2}$	$K_{pr} = \frac{T_N}{T_{RK} K_{PS}}$ <p style="text-align: center;"><i>Handwritten: $\sqrt{\frac{1}{K_{PS}}}$ $\frac{1}{K_{PS}}$</i></p> $T_n = 2 * D_S * T_S$ $T_V = \frac{T_S}{2 * D_S}$	<p>PID-Regler</p> $G_{PID-Regler}(S) = K_{PR} \frac{1 + T_N S + T_N T_V S^2}{T_N S}$
<p>PT1*I-Strecke</p> $G_{Strecke}(S) = \frac{1}{1 + T_S S} \frac{K_I}{S}$	$K_{PR} = \frac{1}{K_{IS} T_{RK}}$ $T_V = T_S$	<p>PD-Regler</p> $G_{Regler}(S) = K_{PR} (1 + T_D S)$
<p>I-Strecke</p> $G_{Strecke}(S) = \frac{K_I}{S}$	$K_{PR} = \frac{1}{K_I T_{RK}}$	<p>P-Regler</p> $G_{Regler}(S) = K_{PR}$

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

2. Parametereinstellverfahren

A) Durch Probieren vor Ort, wenn eine gutmütige Regelstrecke vorliegt.

B) Erst Identifikation der Regelstrecke mittels Sprungantwort
=> P, PT1, PT2, I, DT1 + Parameterwerte K_{PS} , T_S , D_S

dann

a) analytische Berechnung der Parameter nach gewünschter Vorgabe
(Kompensationsreglerentwurf)

b) Simulation des Regelkreis und Einstellung durch Probieren
(Simulationstechnischer Entwurf).

c) Anwendung von tabellarischen und empirischen Einstellregeln
(Einstellregeln nach Kuhn und nach CHR)

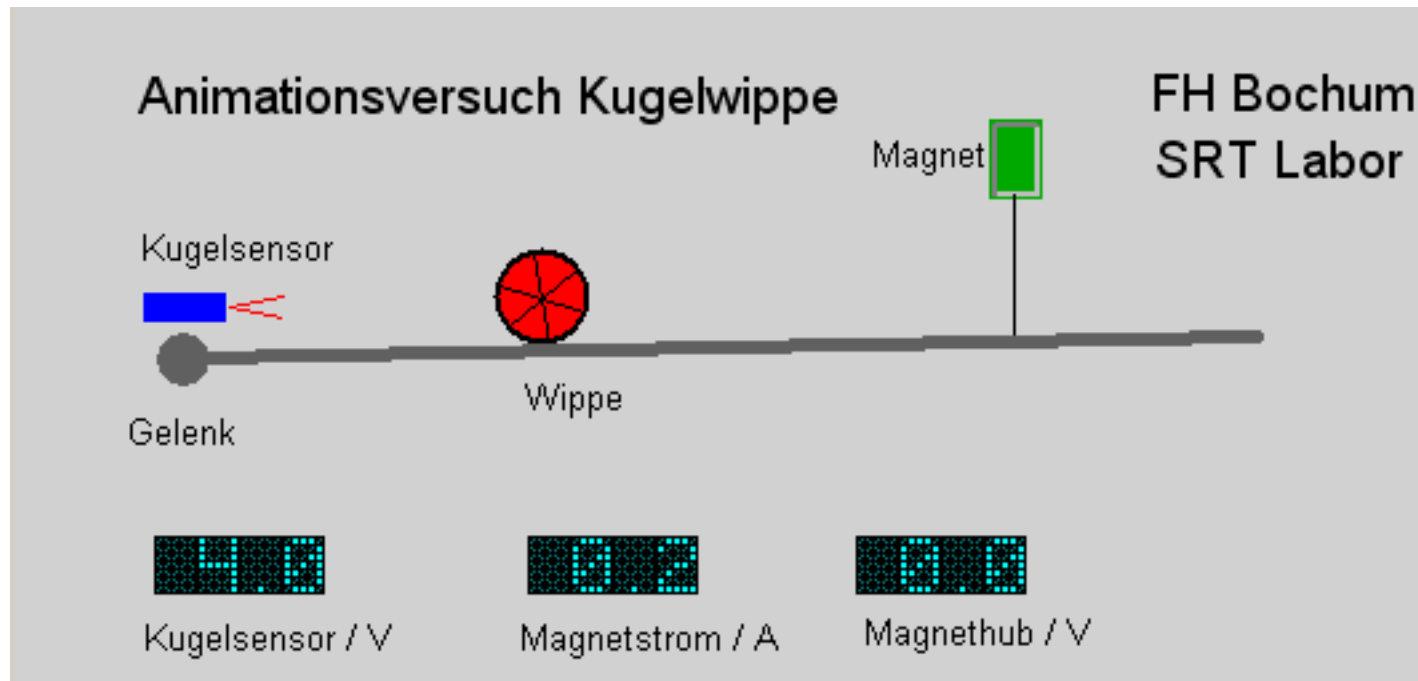
Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

2. Parametereinstellverfahren: A) Probieren vor Ort

Einstellung mit „Schraubenzieher“ am Schaltschrank mit gleichzeitigem Testen des Regelkreisverhaltens.

Ablauf am Beispiel PT2 Regelstrecke Kugelwippe



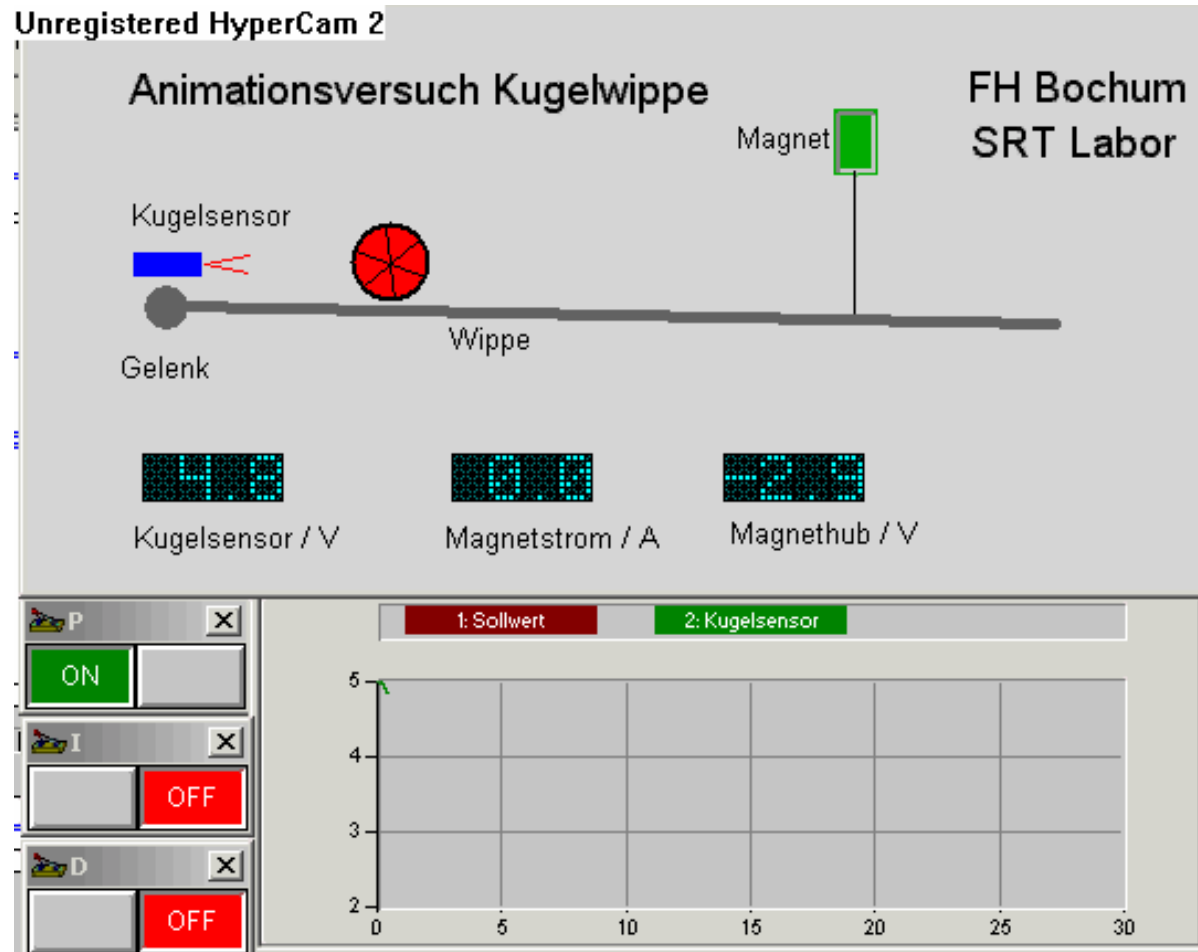
Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

2. Parametereinstellverfahren:

A) Probieren vor Ort

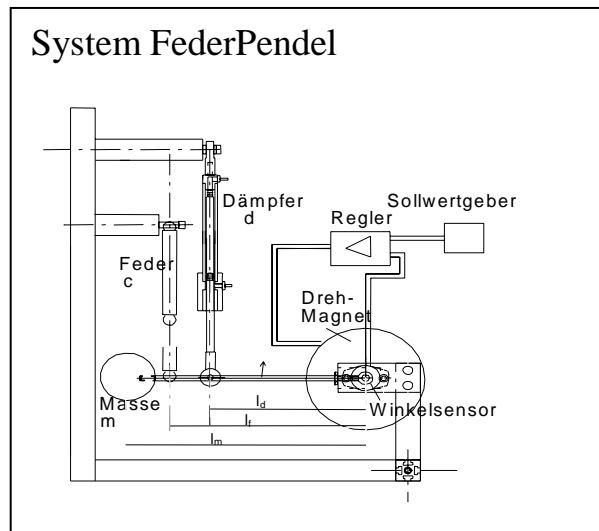
- 1. P-Anteil erhöhen, bis Dauerschwingung
- 2. D-Anteil ein, um zu dämpfen. T_v nach Schwingungsdauer
- 3. I einschalten und so einstellen, dass schnell ausgeregelt und kein starkes Nachschwingen



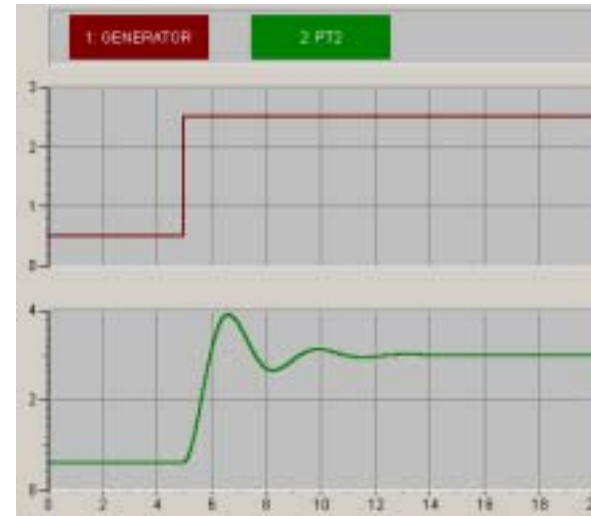
Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

2. Parametereinstellverfahren: B) mit identifizierter Regelstrecke



$$G(s) = \frac{Kp}{1 + 2DTS + T^2S^2}$$



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

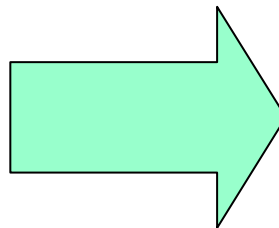
2. Parametereinstellverfahren: B) mit identifizierter Regelstrecke

a) Kompensationsreglerverfahren

PT1-Strecke $G_{Strecke}(s) = \frac{K_{PS}}{1 + T_S s}$	$K_{PR} = \frac{T_N}{T_{RK} K_{PS}}$ $T_n = T_s$	PI-Regler $G_{PI-Regler}(s) = K_{PR} \frac{1 + T_N s}{T_N s}$
PT2-Strecke $G_{Strecke}(s) = \frac{K_{PS}}{1 + 2D_s T_S s + T_S^2 s^2}$	$K_{PR} = \frac{T_N}{T_{RK} K_{PS}}$ $T_n = 2 * D_s * T_s$ $T_V = \frac{T_s}{2 * D_s}$	PID-Regler $G_{PID-Regler}(s) = K_{PR} \frac{1 + T_N s + T_N T_V s^2}{T_N s}$
PT1*I-Strecke $G_{Strecke}(s) = \frac{1}{1 + T_S s} \frac{K_I}{s}$	$K_{PR} = \frac{1}{K_I T_{RK}}$ $T_V = T_s$	PD-Regler $G_{Re-gler}(s) = K_{PR} (1 + T_D s)$
I-Strecke $G_{Strecke}(s) = \frac{K_I}{s}$	$K_{PR} = \frac{1}{K_I T_{RK}}$	P-Regler $G_{Re-gler}(s) = K_{PR}$

$$G(s) = \frac{K_p}{1 + 2DTS + T^2 S^2}$$

$T_S = 0.08 \text{ sec}$ $D = 0.1$
 $K_{PS} = 1$



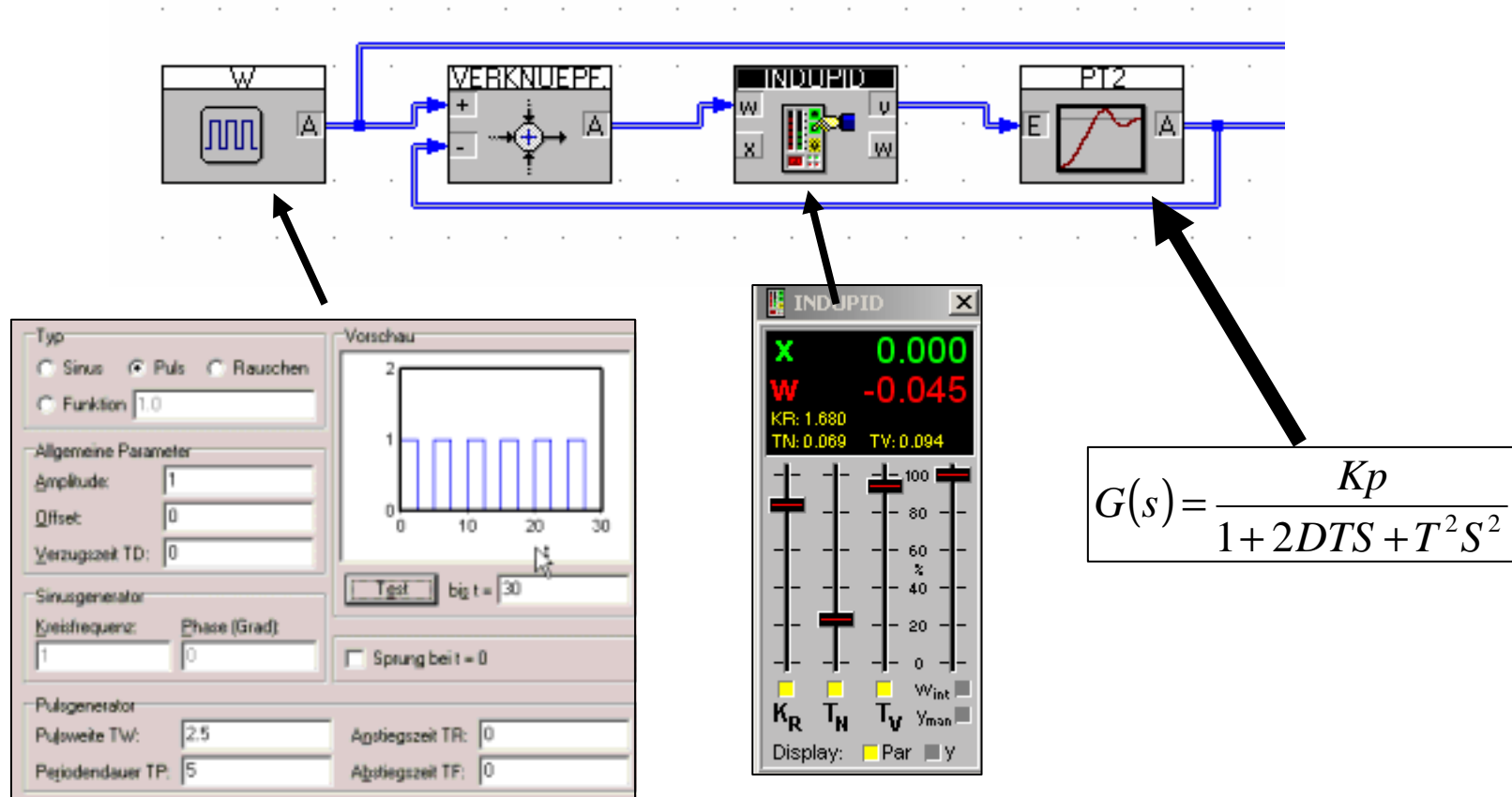
$$G_{PID-Regler}(s) = K_{PR} \frac{1 + T_N s + T_N T_V s^2}{T_N s}$$

$T_N = 0.016 \text{ sec}$ $T_V = 0.4 \text{ sec}$ $K_{PR} = 1$

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

2. Parametereinstellverfahren: B) mit identifizierter Regelstrecke
- b) Simulation des Regelkreis und Einstellung durch Probieren

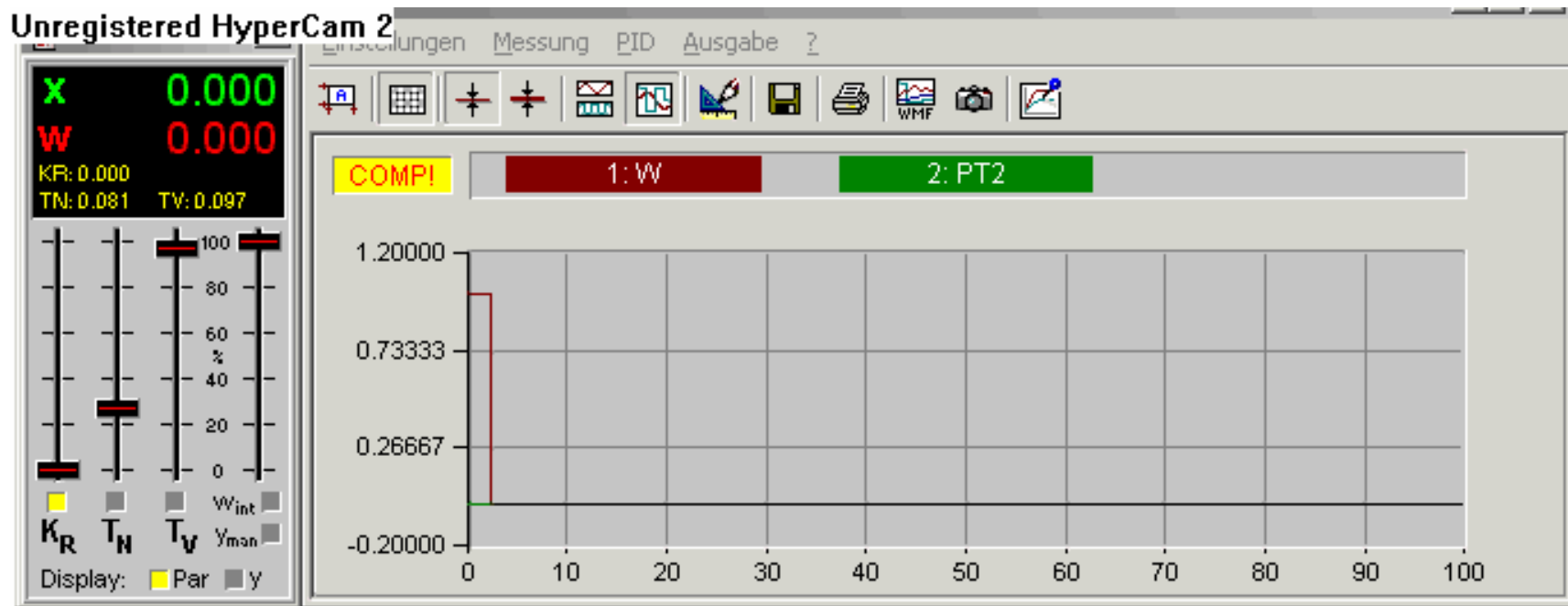


$$G(s) = \frac{Kp}{1 + 2DTS + T^2 S^2}$$

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

2. Parametereinstellverfahren: B) mit identifizierter Regelstrecke
 - b) Simulation des Regelkreis und Einstellung durch Probieren

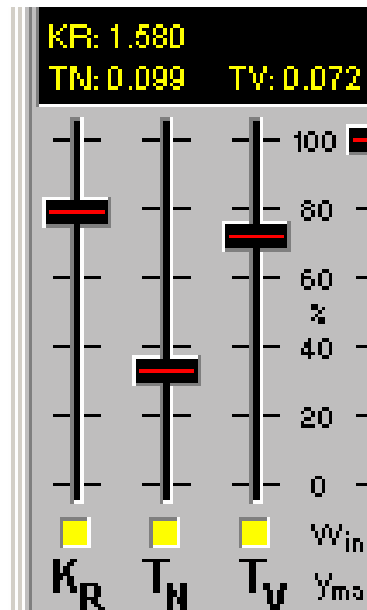


Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

2. Parametereinstellverfahren: B) mit identifizierter Regelstrecke

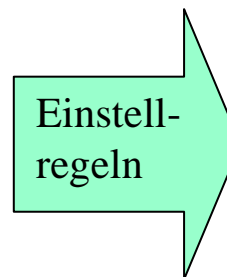
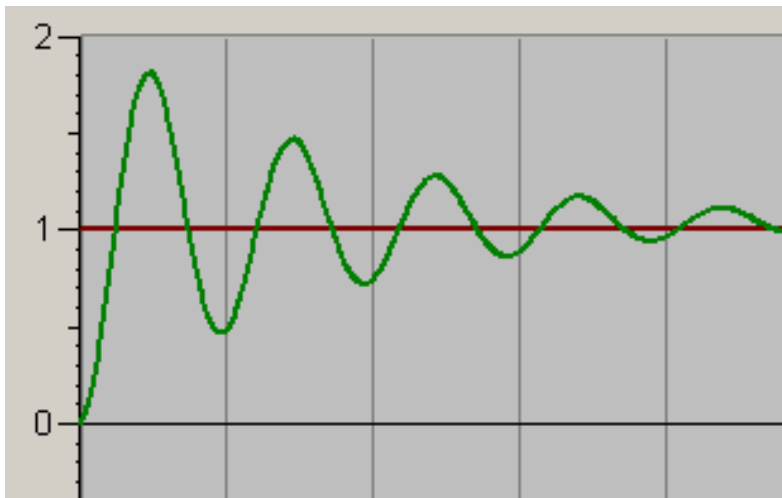
Ergebnis:



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

2. Parametereinstellverfahren: B) mit identifizierter Regelstrecke
 - c) Anwendung von tabellarischen und empirischen Einstellregeln (Einstellregeln nach Kuhn und nach CHR)



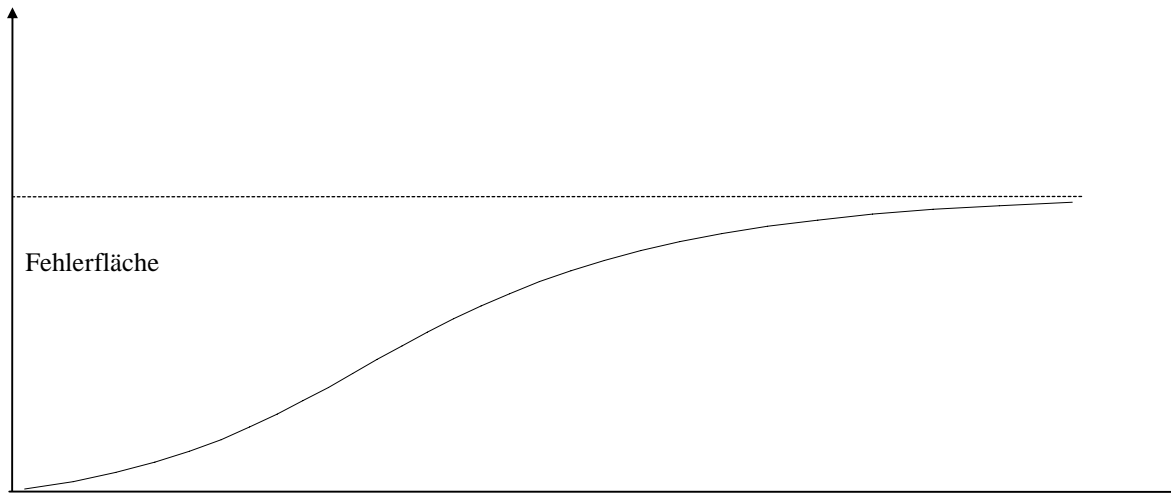
Reglertyp
Einstellwerte
mehrere
Möglichkeiten

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

A) Einstellregeln nach Kuhn für träge, gut gedämpfte Regelstrecken.

Idee:

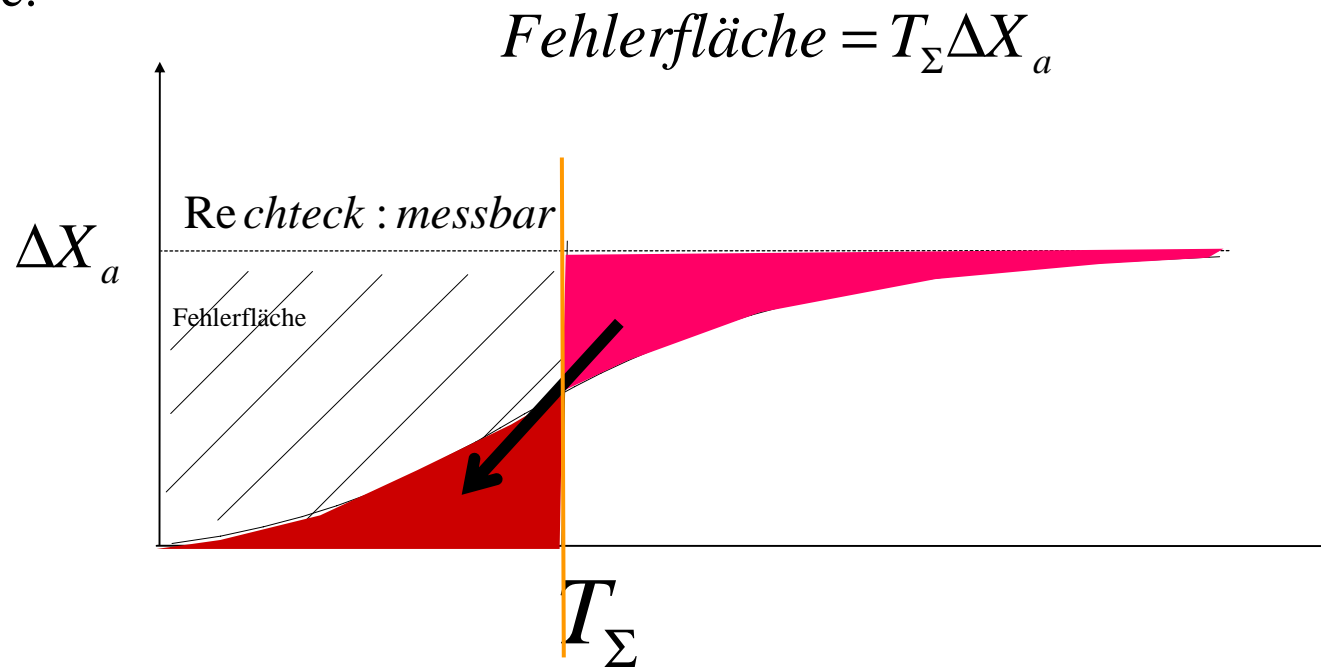


Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

A) Einstellregeln nach Kuhn

Idee:



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

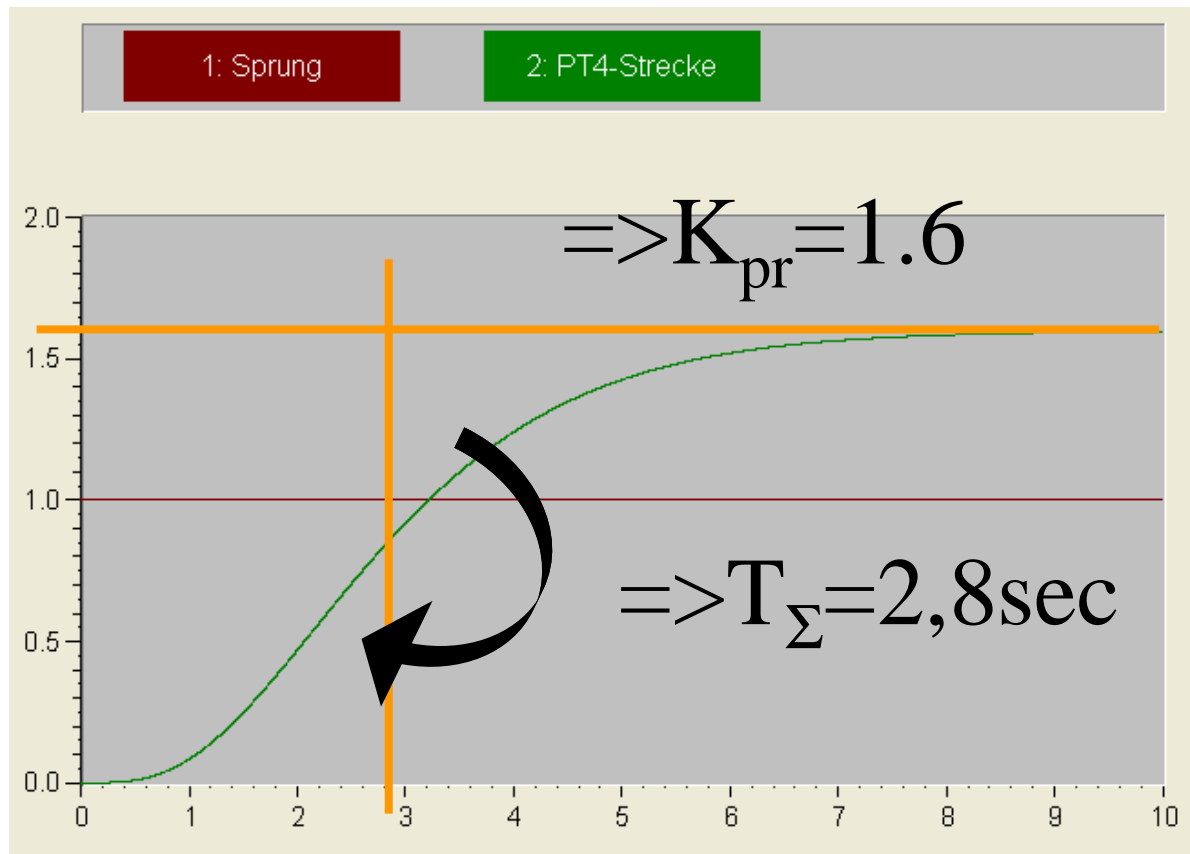
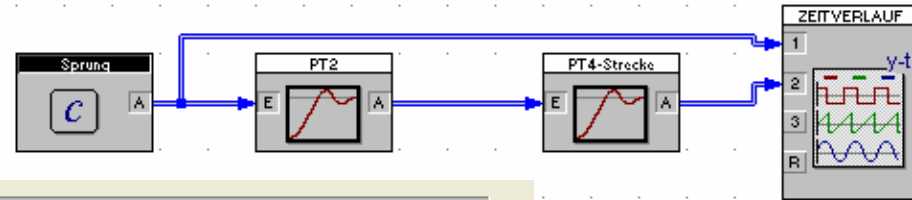
A) Einstellregeln nach Kuhn

Regler	Parameter		
	K_{pr}	T_n	T_d
P	$1/K_S$	-	-
PD	$1/K_S$	-	$0.33 T_\Sigma$
PI	$0.5/K_S$	$0.5 T_\Sigma$	-
PID	$1/K_S$	$0.66 T_\Sigma$	$0.167 T_\Sigma$

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

A) Einstellregeln nach Kuhn BEISPIEL



Kuhn-PID:

$$K_{pr} = 1/1.6 = 0.66$$

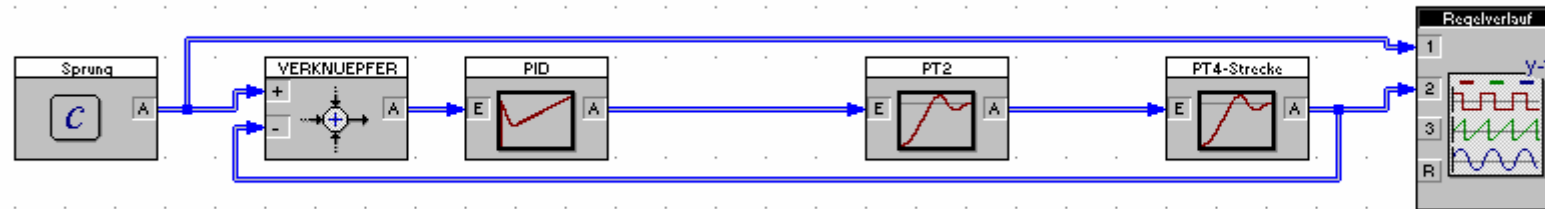
$$T_n = 0.66 * T_{\Sigma} = 1.8 \text{sec}$$

$$T_v = 0.167 * T_{\Sigma} = 0.45 \text{sec}$$

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

A) Einstellregeln nach Kuhn BEISPIEL



Kuhn-PID:

$$K_{pr} = 1/1.6 = 0.66$$

$$T_n = 0.66 \quad T_{\Sigma} = 1.8 \text{sec}$$

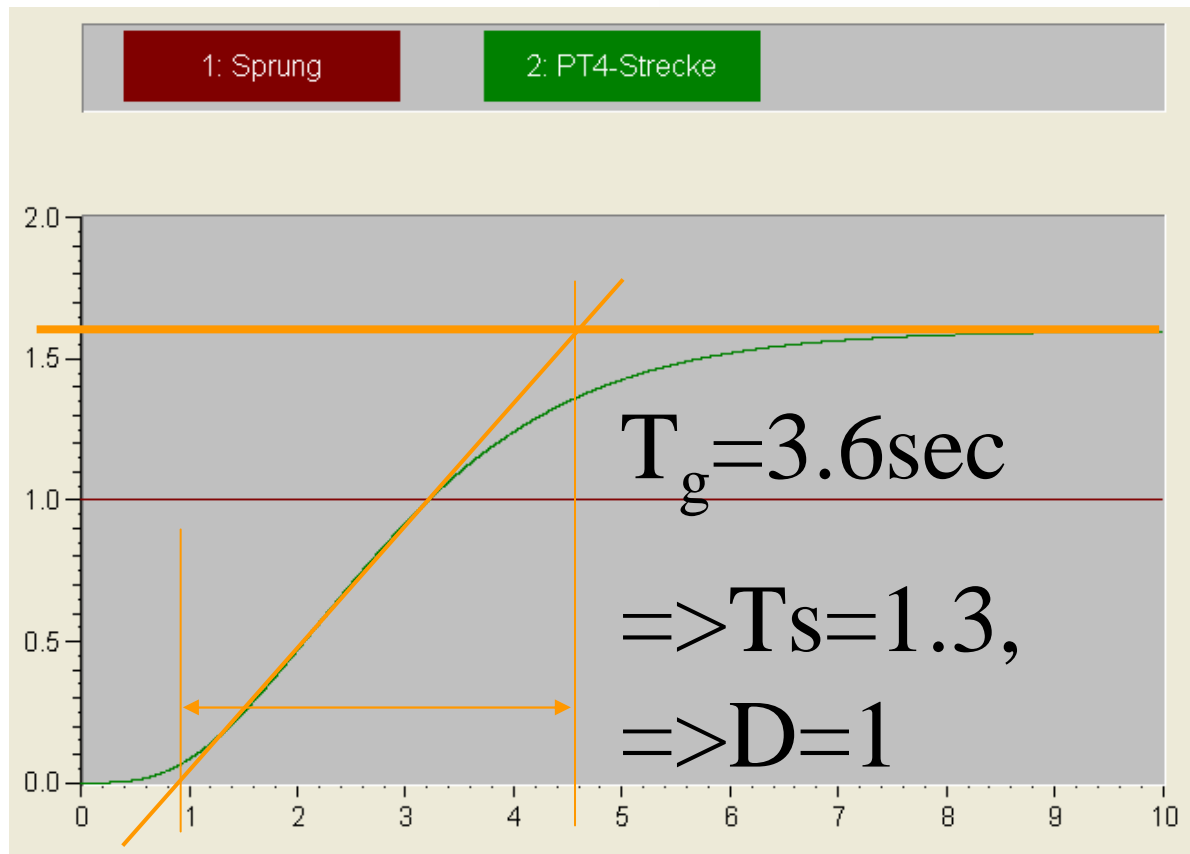
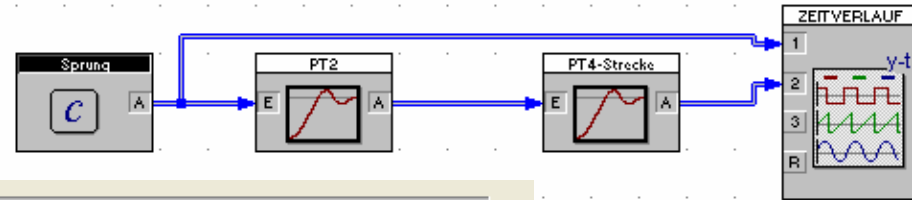
$$T_v = 0.167 \quad T_{\Sigma} = 0.45 \text{sec}$$



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

A) Kompensationsregler
(als Vergleich)



Komp-PID:

$$K_{pr} = 1/1.6 = 0.66$$

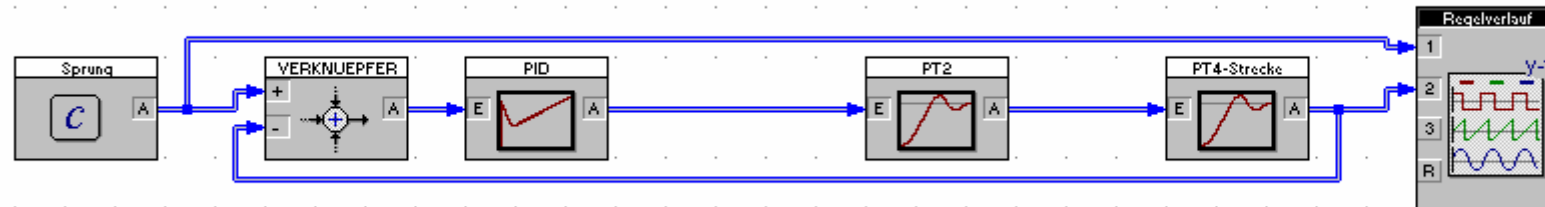
$$T_n = 2DT_s = 2.6 \text{ sec}$$

$$T_v = T_s/2D = 0.65 \text{ sec}$$

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

A) Kompensationsregler zum Vergleich

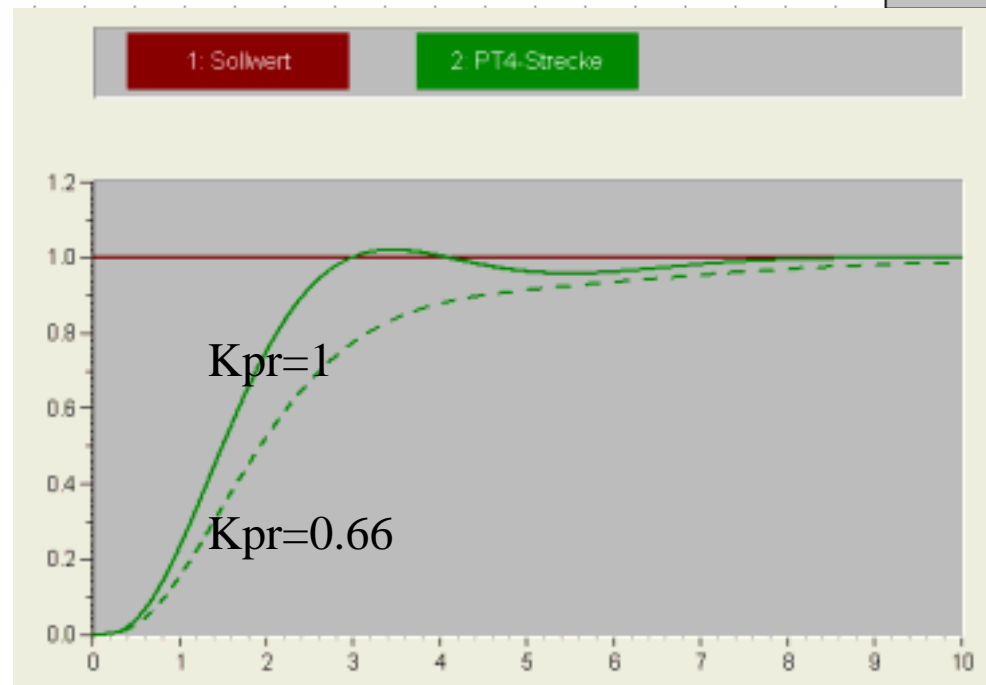


Komp-PID:

$$K_{pr} = 1/1.6 = 0.66$$

$$T_n = 2DT = 2.6 \text{ sec}$$

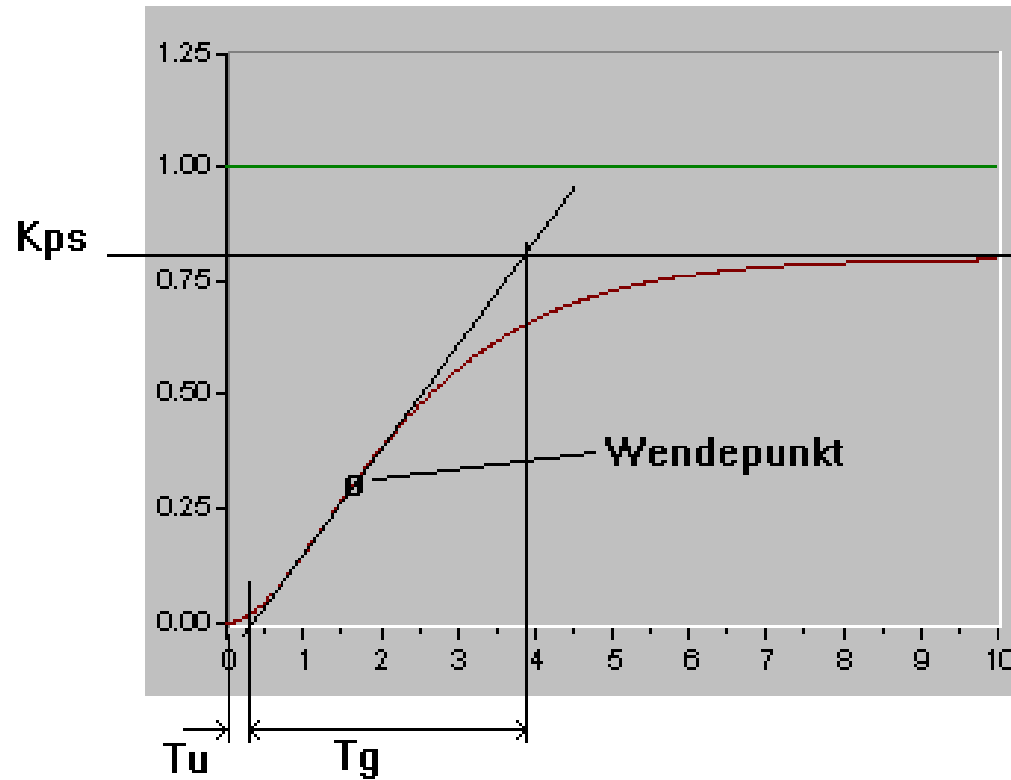
$$T_v = T/2D = 0.65 \text{ sec}$$



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

B) Einstellregeln nach CHR Strecken mit Ausgleich



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

B) Einstellregeln nach CHR Strecken mit Ausgleich

Regler Führungsregelung

PI

$$K_{pr} = \frac{T_g}{1.6K_{ps} T_u}$$

$$T_n = T_g$$

PID

$$K_{pr} = \frac{T_g}{1.05K_{ps} T_u}$$

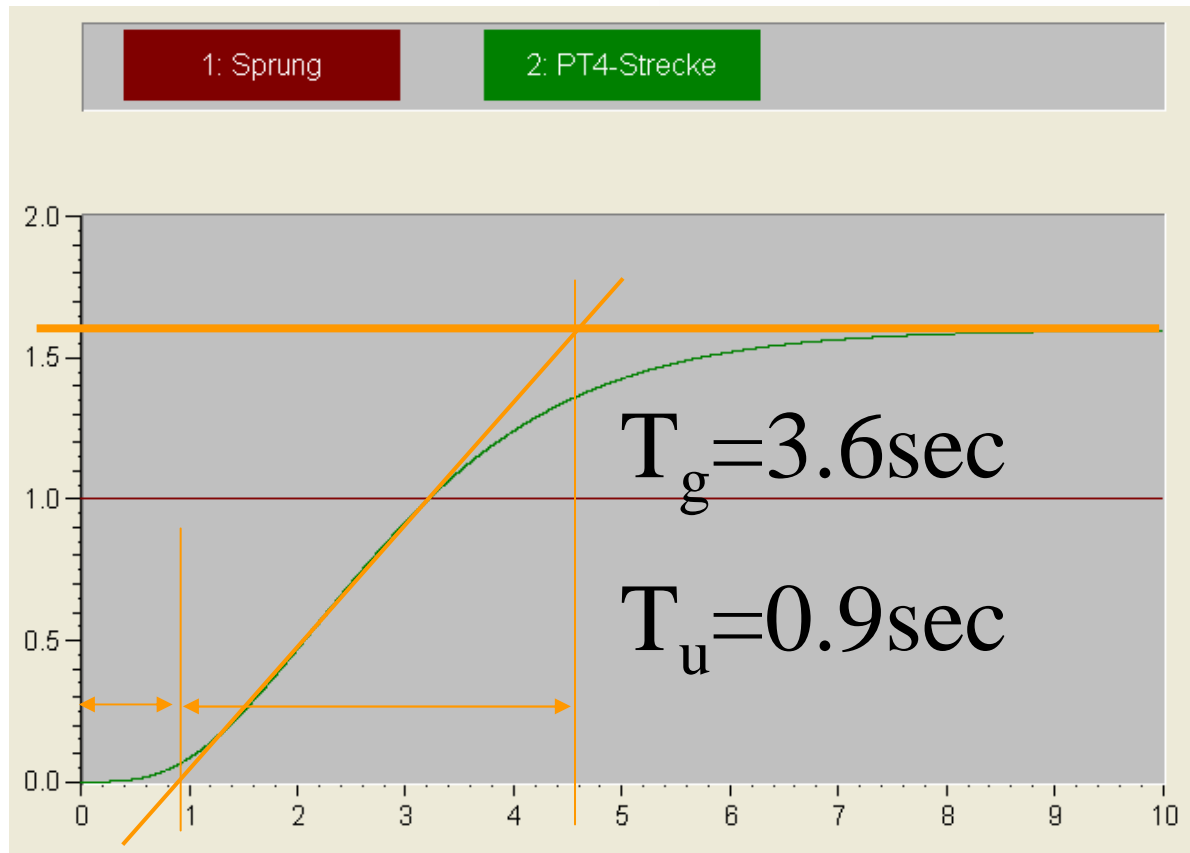
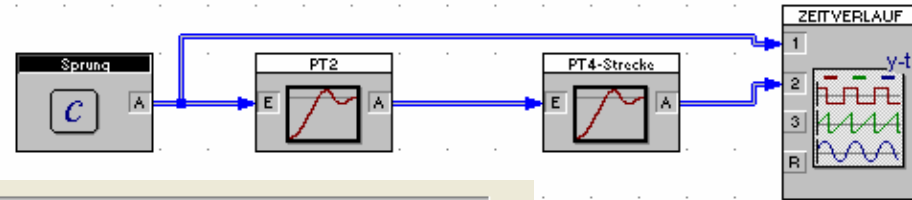
$$T_n = 1.35T_u$$

$$T_v = 0.47T_u$$

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

B) CHR PID-Regler



CHR-PID:

$$K_{pr} = T_g / 1.05 T_u K_{ps} = 2.38 \text{ sec}$$

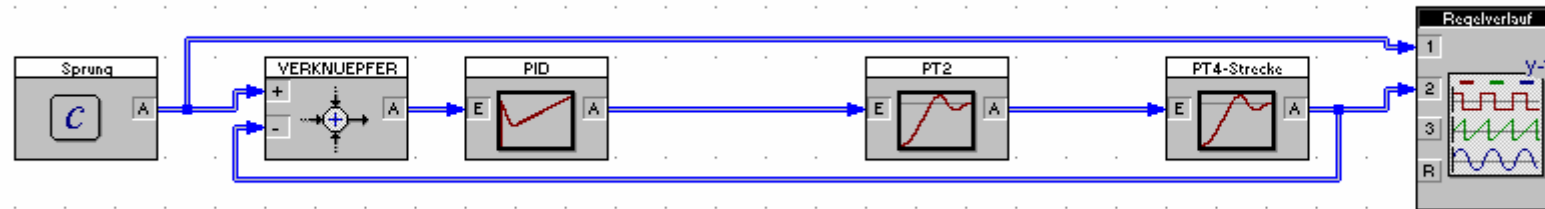
$$T_n = 1.35 T_u = 1.21 \text{ sec}$$

$$T_v = 0.47 T_u = 0.42 \text{ sec}$$

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

CHR PID-Regler

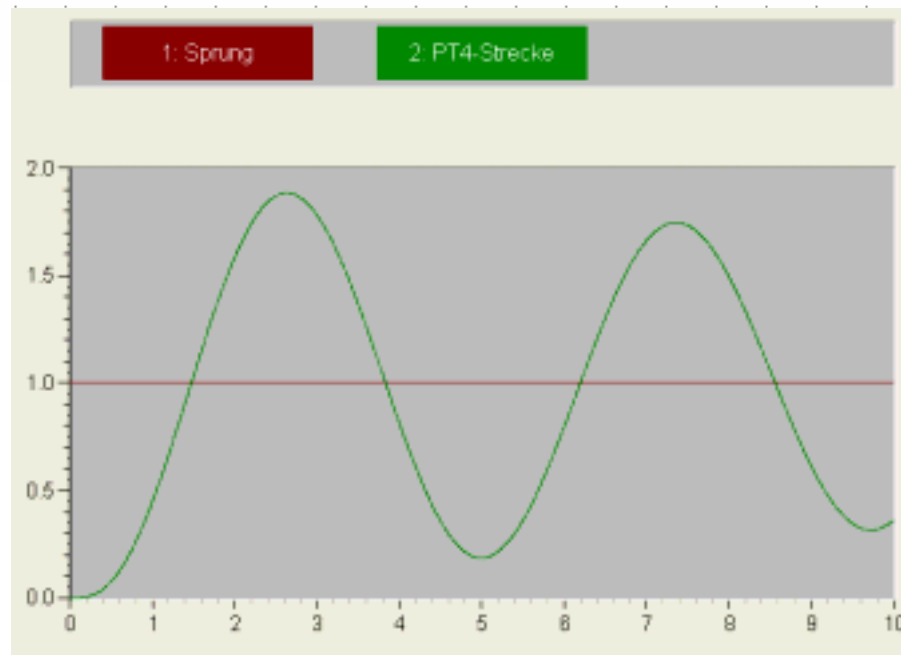


CHR-PID:

$$K_{pr} = T_g / 1.05 T_u K_{ps} \\ = 2.38 \text{ sec}$$

$$T_n = 1.35 T_u \\ = 1.21 \text{ sec}$$

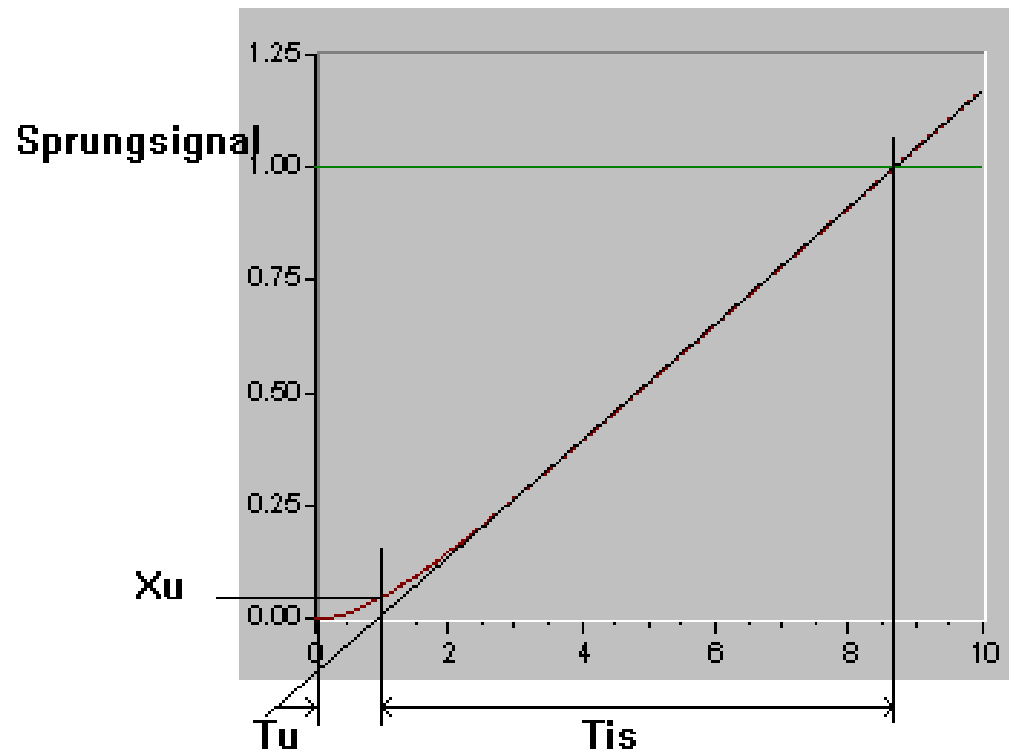
$$T_v = 0.47 T_u \\ = 0.42 \text{ sec}$$



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

B) Einstellregeln nach CHR Strecken ohne Ausgleich



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

B) Einstellregeln nach CHR Strecken ohne Ausgleich

Regler Führungsregelung

P

$$K_{pr} = 0.48 \frac{T_{IS}}{T_s} \Delta X_e / \Delta X_a = 0.48 \frac{1}{T_s K_{IS}}$$

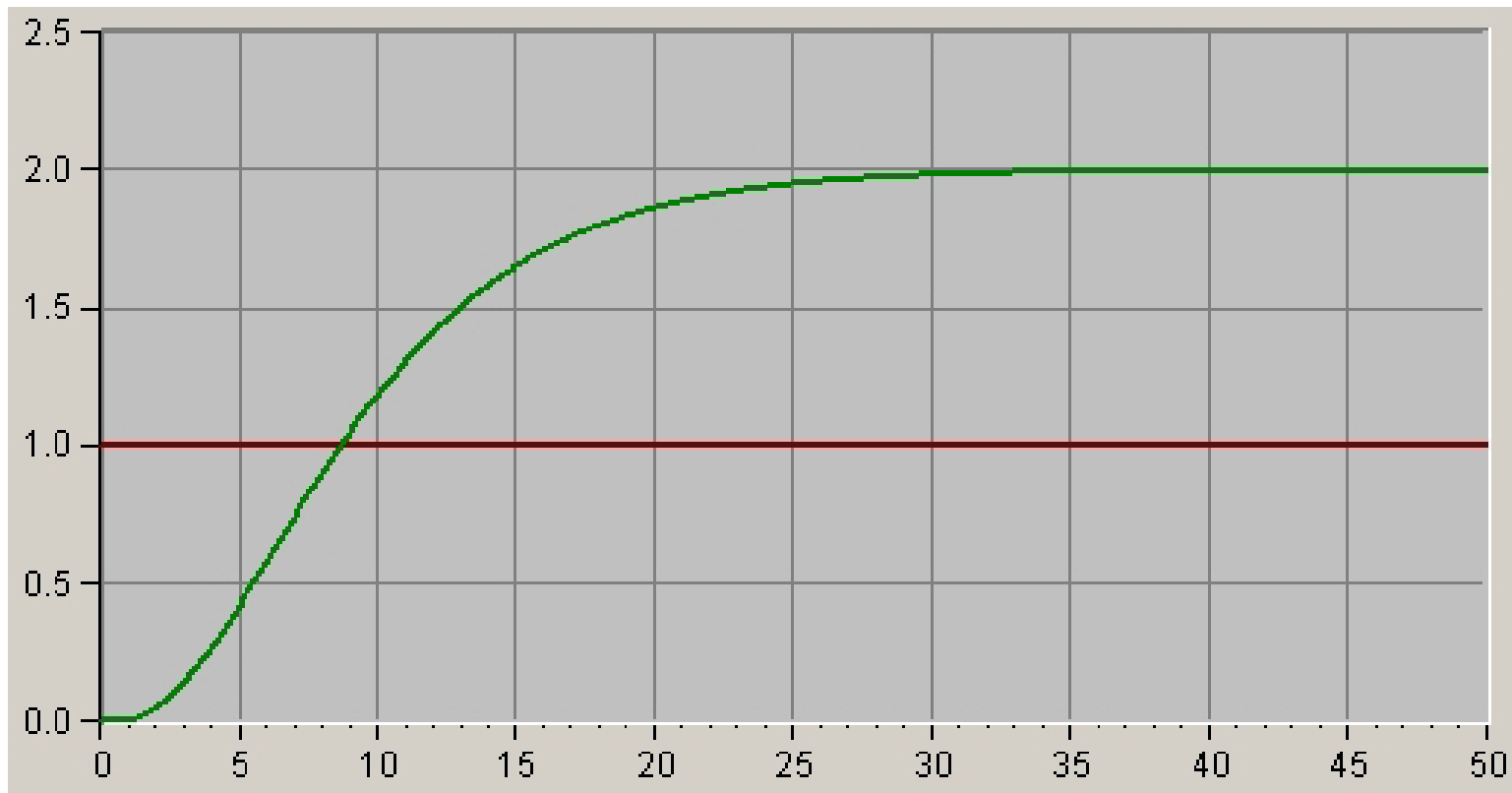
Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

D

1. Übung: Reglerentwurf nach Kuhn

Entwerfen Sie für die Regelstrecke nach gegebener Sprungantwort mit der T_Σ -Regel einen PID-Regler! Geben Sie zunächst K_{PR} und T_Σ an!



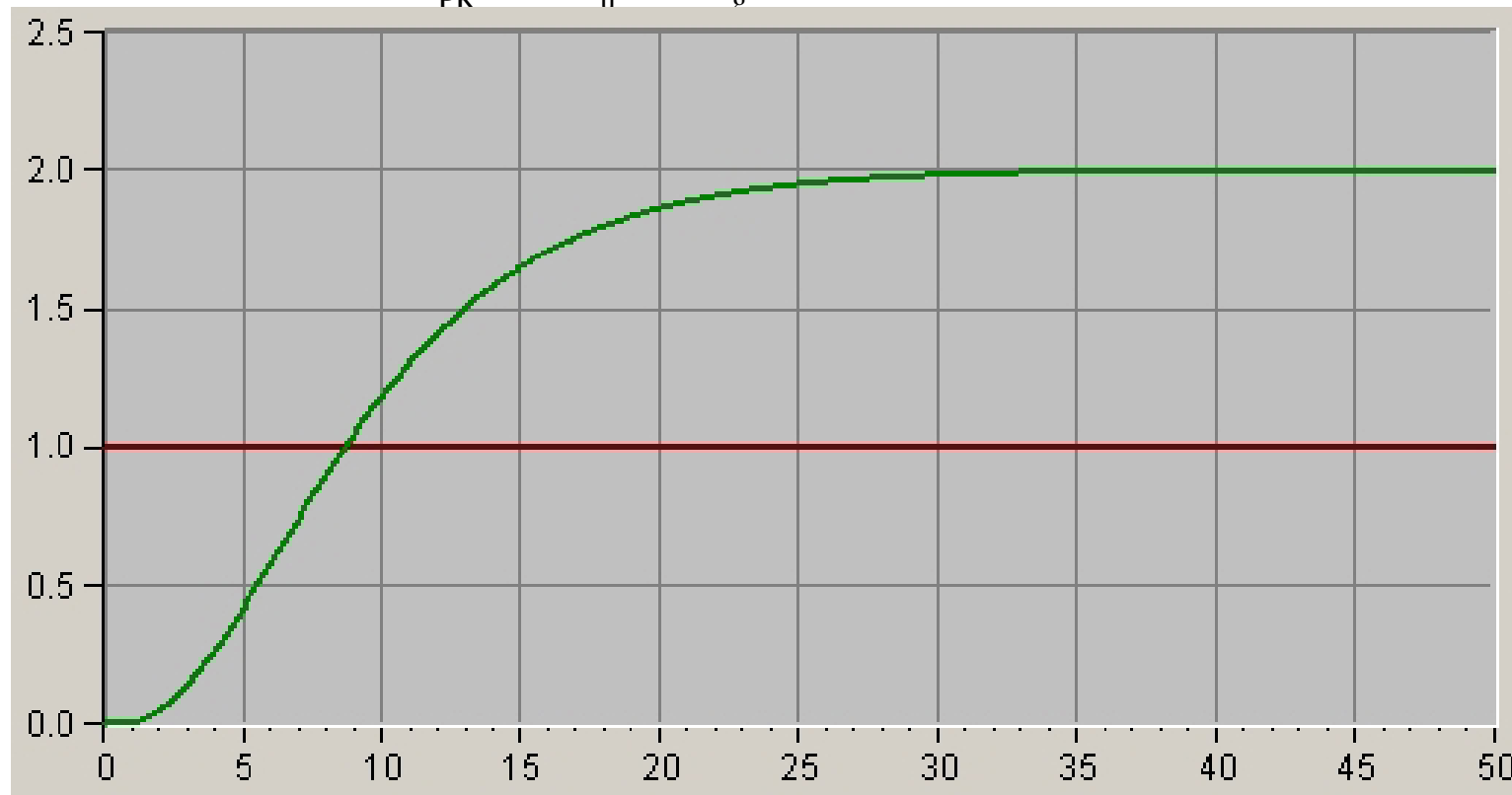
Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

D

2. Übung: Reglerentwurf nach CHR für P-Strecken

Entwerfen Sie für die Regelstrecke nach gegebener Sprungantwort mit der CHR-Methode einen PID-Regler für Führung und 20% Überschwingen! Geben Sie zunächst K_{PR} und T_{II} und T_{σ} an!



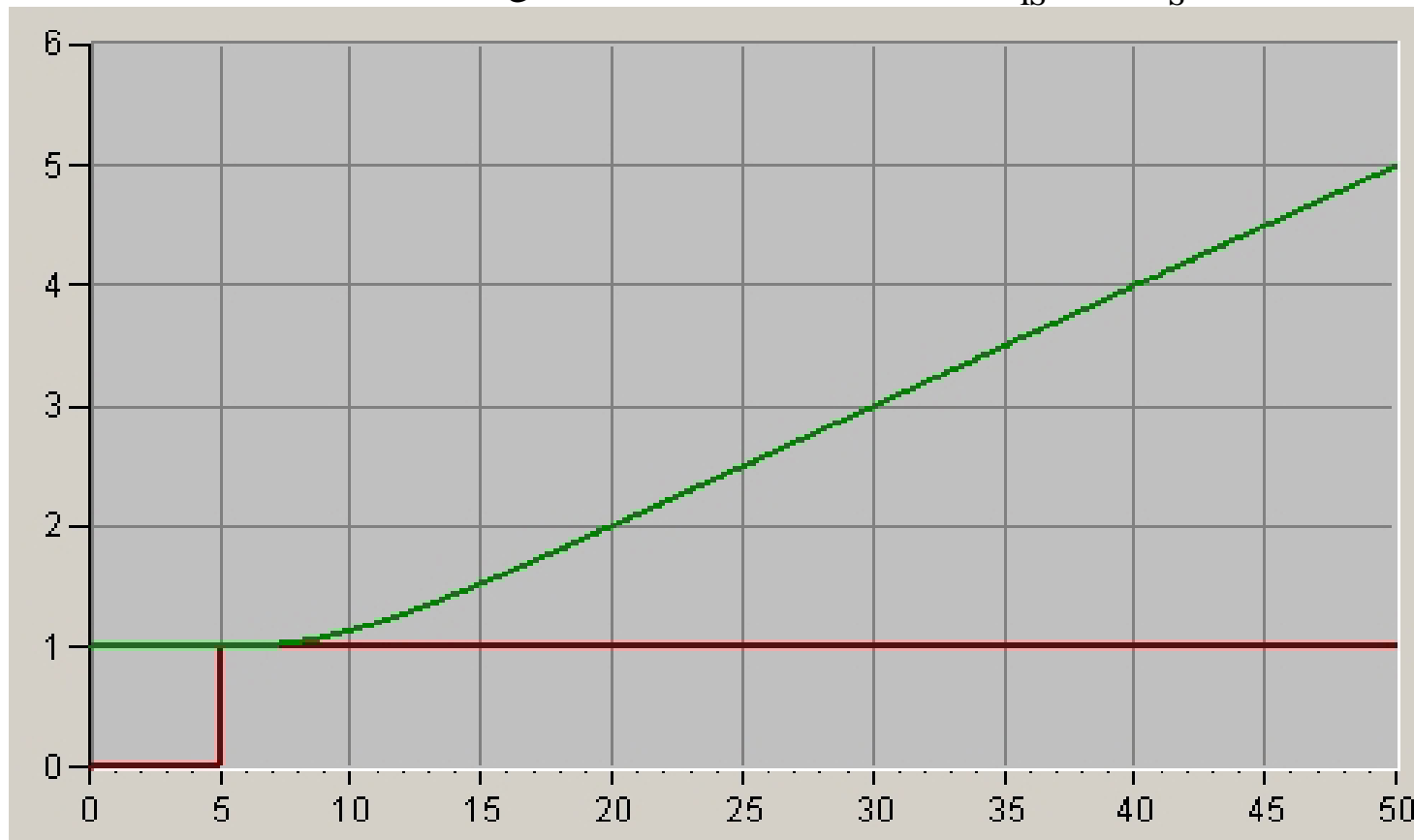
Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

D

3. Übung: Reglerentwurf nach CHR für I-Strecken

Entwerfen Sie für die Regelstrecke nach gegebener Sprungantwort mit der CHR-Methode einen P-Regler! Geben Sie zunächst K_{IS} und T_S an!

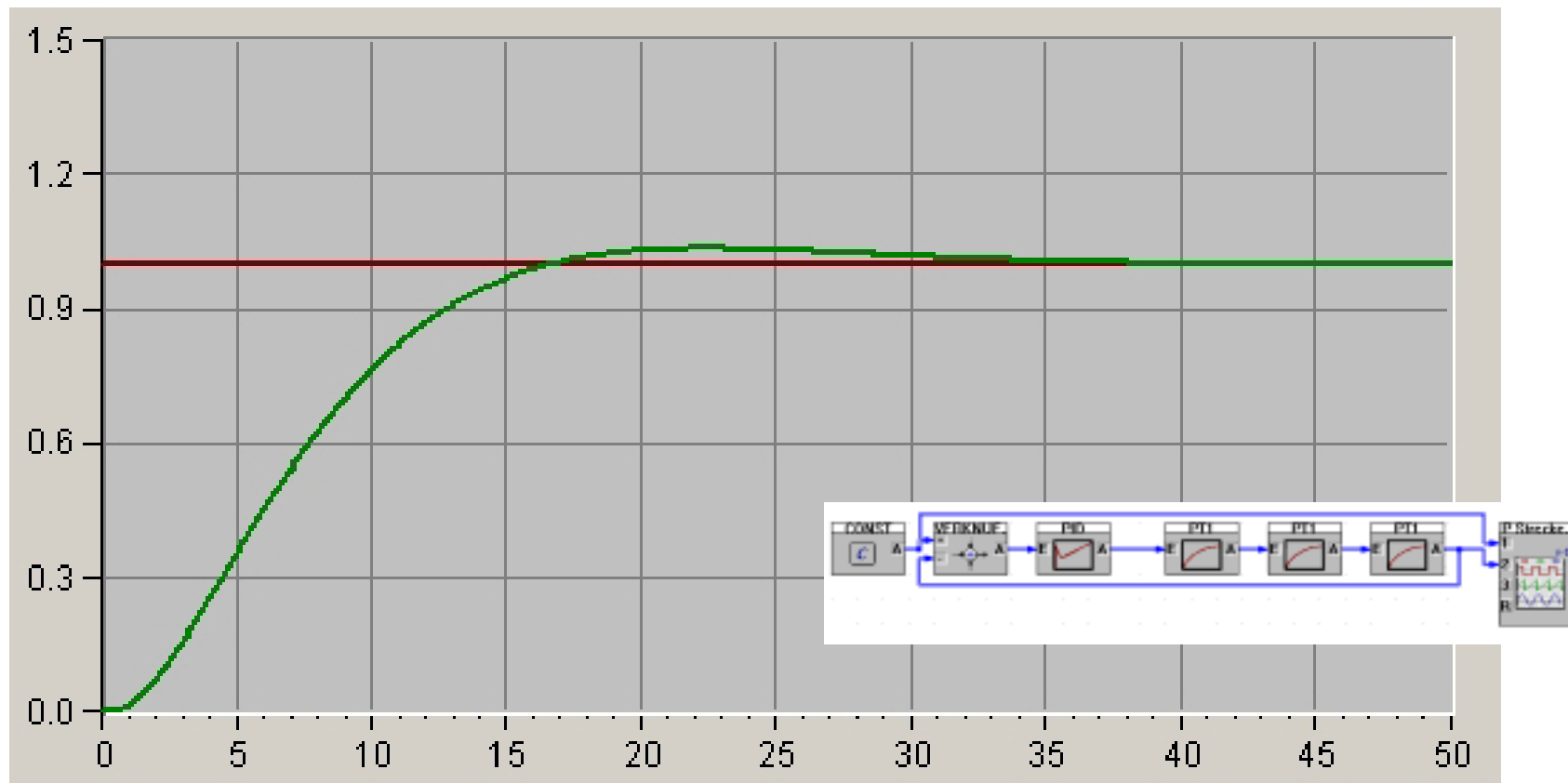


Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

1. Übung:

Lösung Kuhn: $K_{ps} = 2$ und $T_{\Sigma} = 10\text{sec}$; $K_{pr} = 0,5$, $T_n = 6,67\text{sec}$, $T_v = 1,67\text{sec}$,
 $T_{vz} = 0,167\text{sec}$ Regelergebnis:

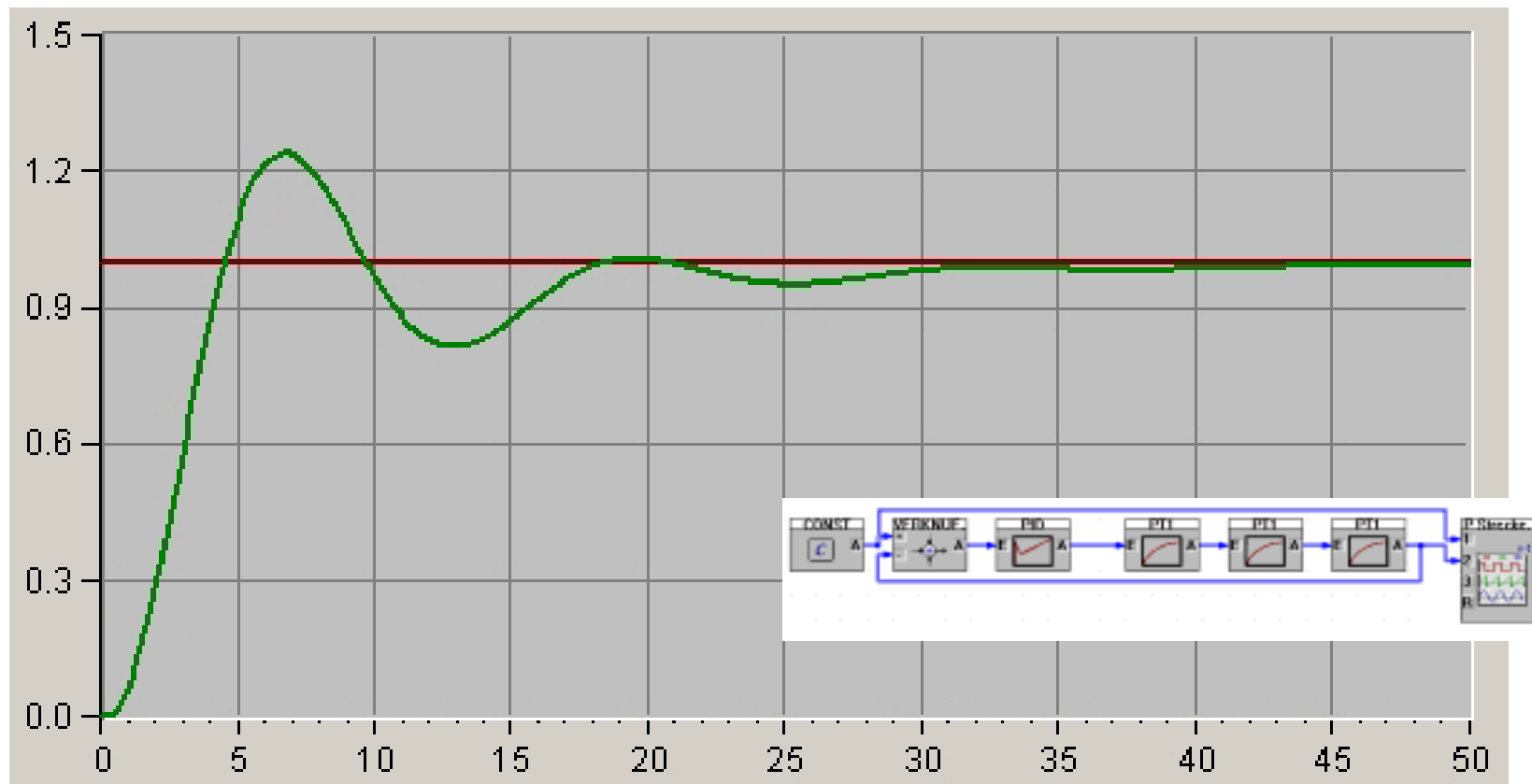


Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

2. Übung:

Lösung CHR: $K_{ps} = 2$ und $T_u = 2,5\text{sec}$, $T_g = 12,5\text{s}$; $K_{pr} = 2,38$, $T_n = 16,9\text{sec}$,
 $T_v = 1,18\text{sec}$, $T_{vz} = 0,12\text{sec}$ Regelergebnis:

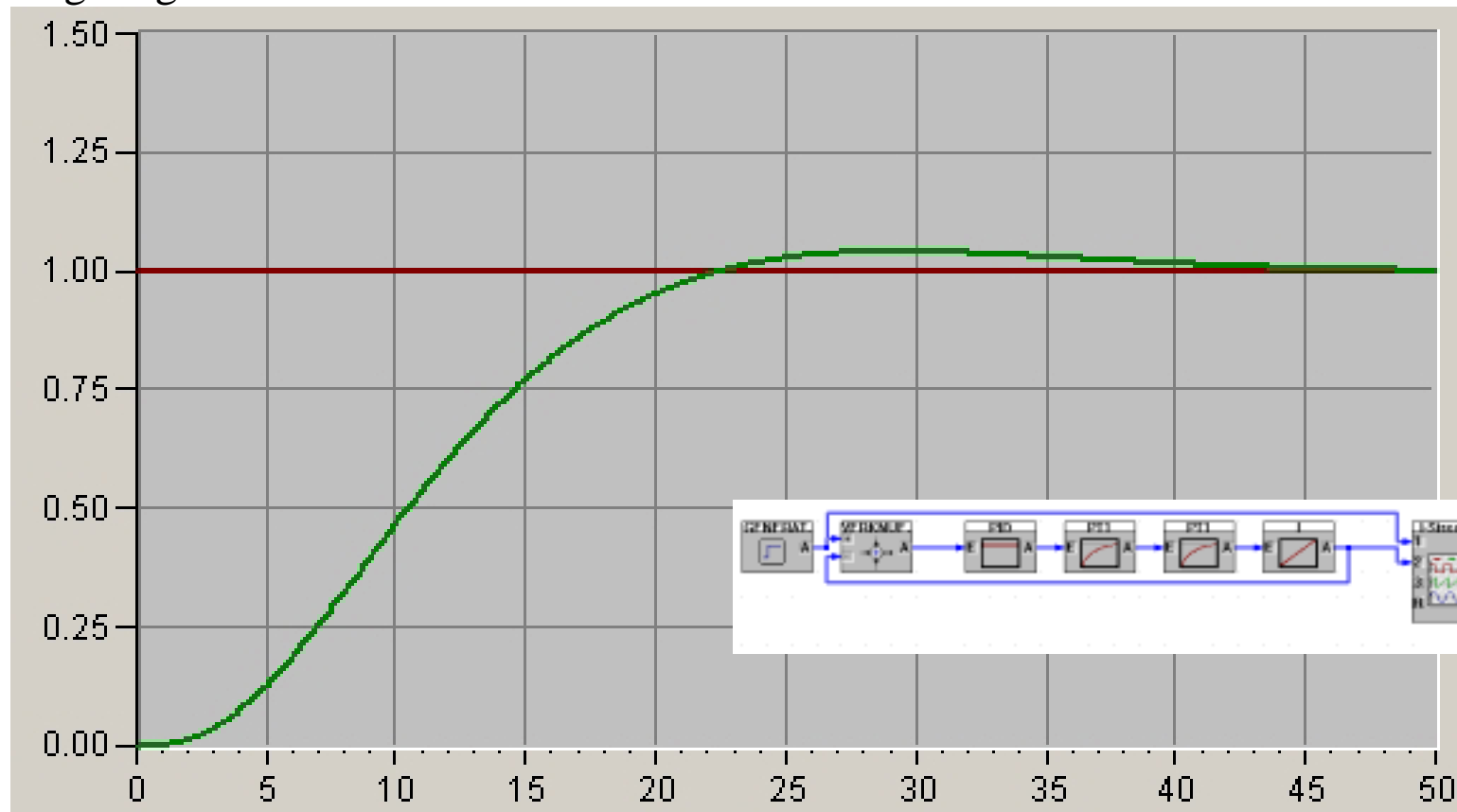


Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

3. Übung:

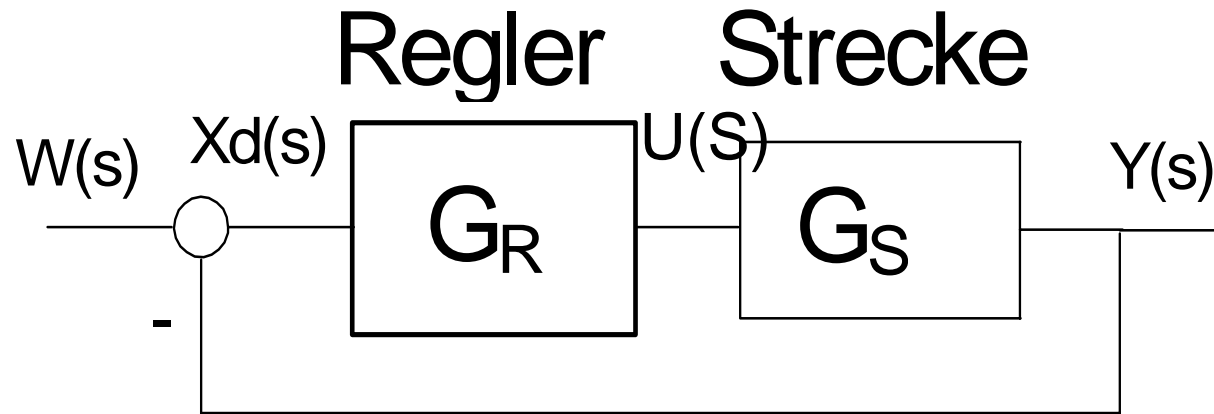
Lösung CHR I-System: $K_{IS} = 0,1 \text{ 1/s}$ und $T_S = 5 \text{ sec}$; $K_{pr} = 0,96$,
Regelerggebnis:



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

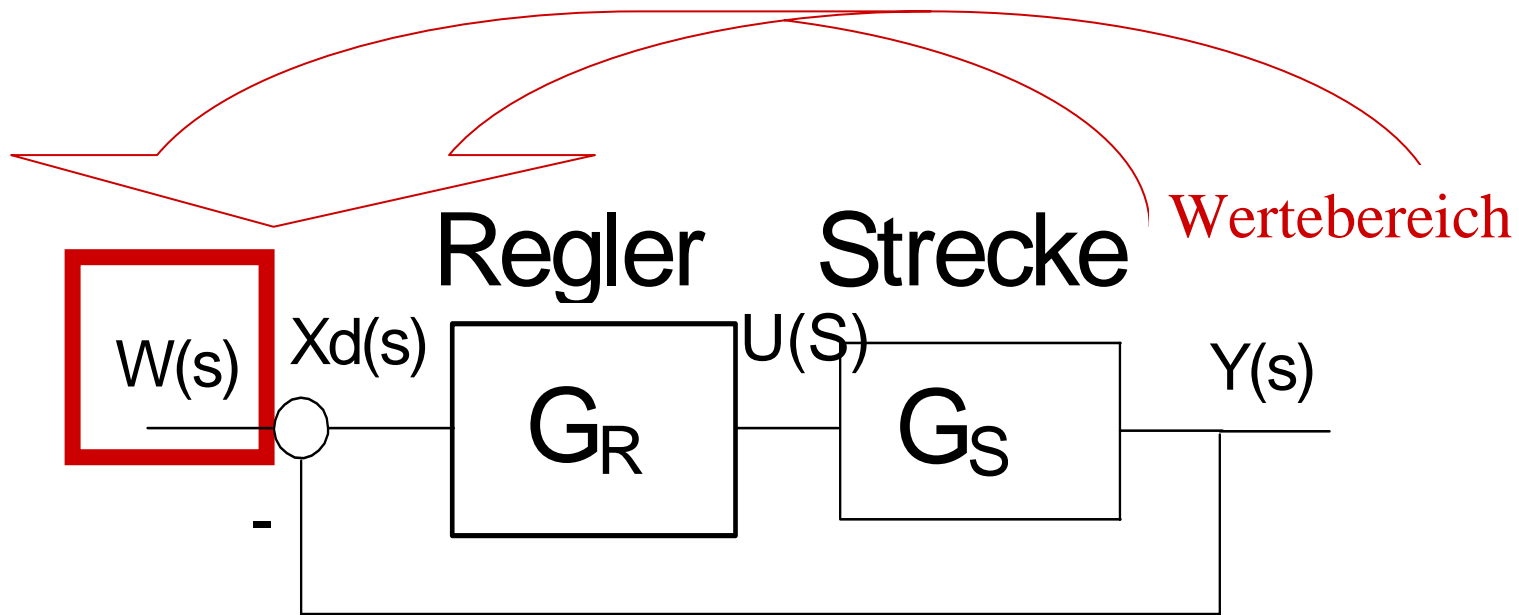
Anmerkungen zum Aufbau von Regelkreisen im Laborversuch:



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

1. Sollwertbereich finden

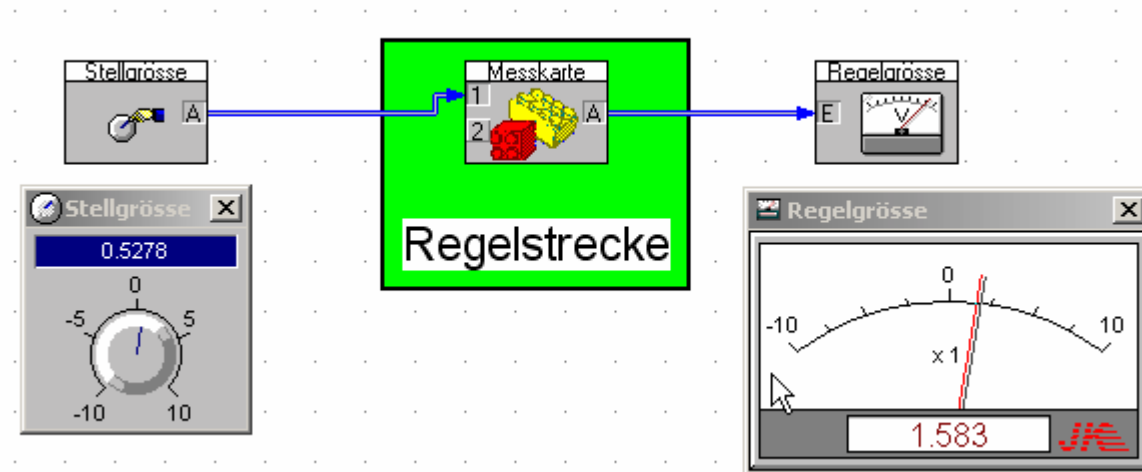


Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

1. Teststruktur

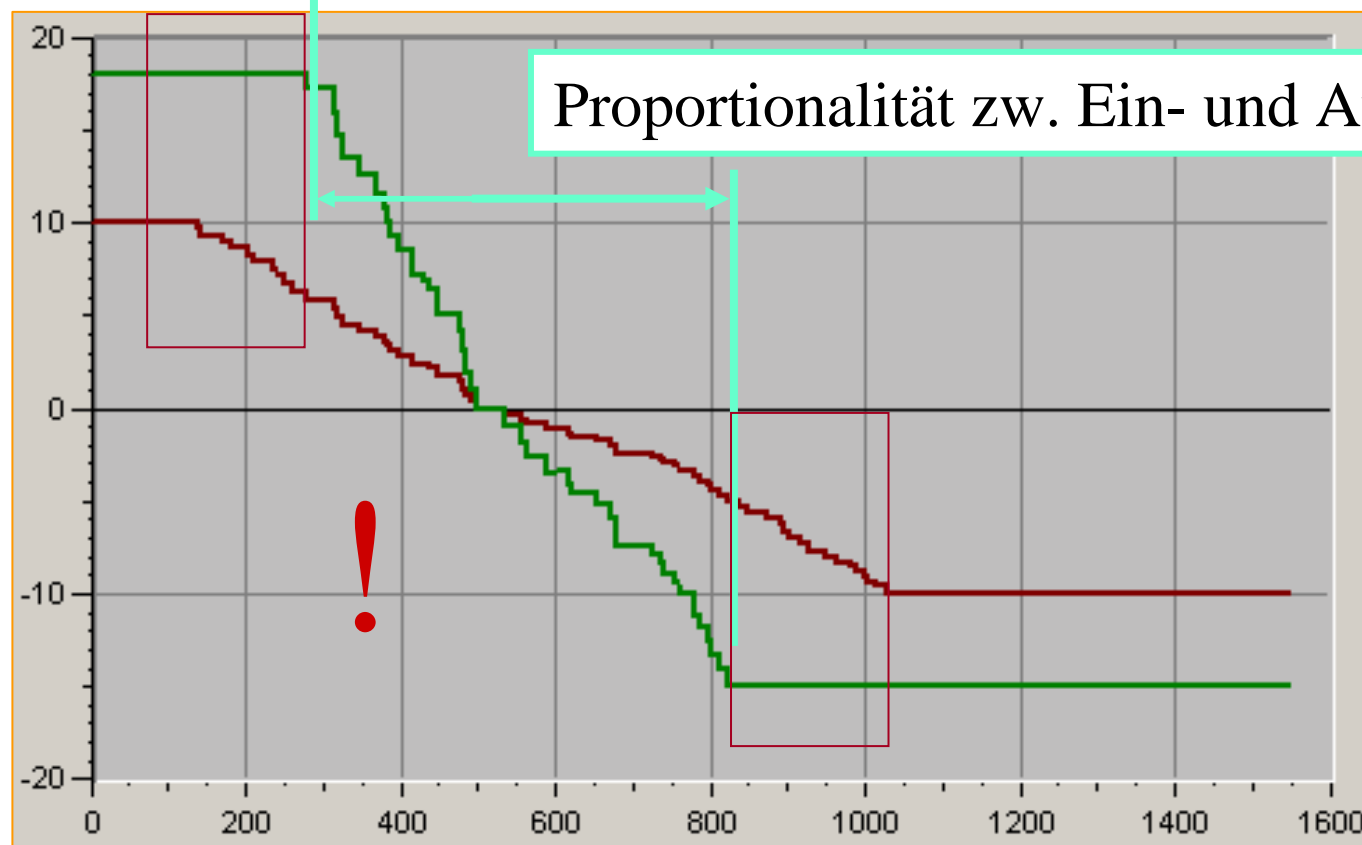
- mit Drehgeber für Streckeneingang und
- Anzeige für Regelgrössenausgang



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

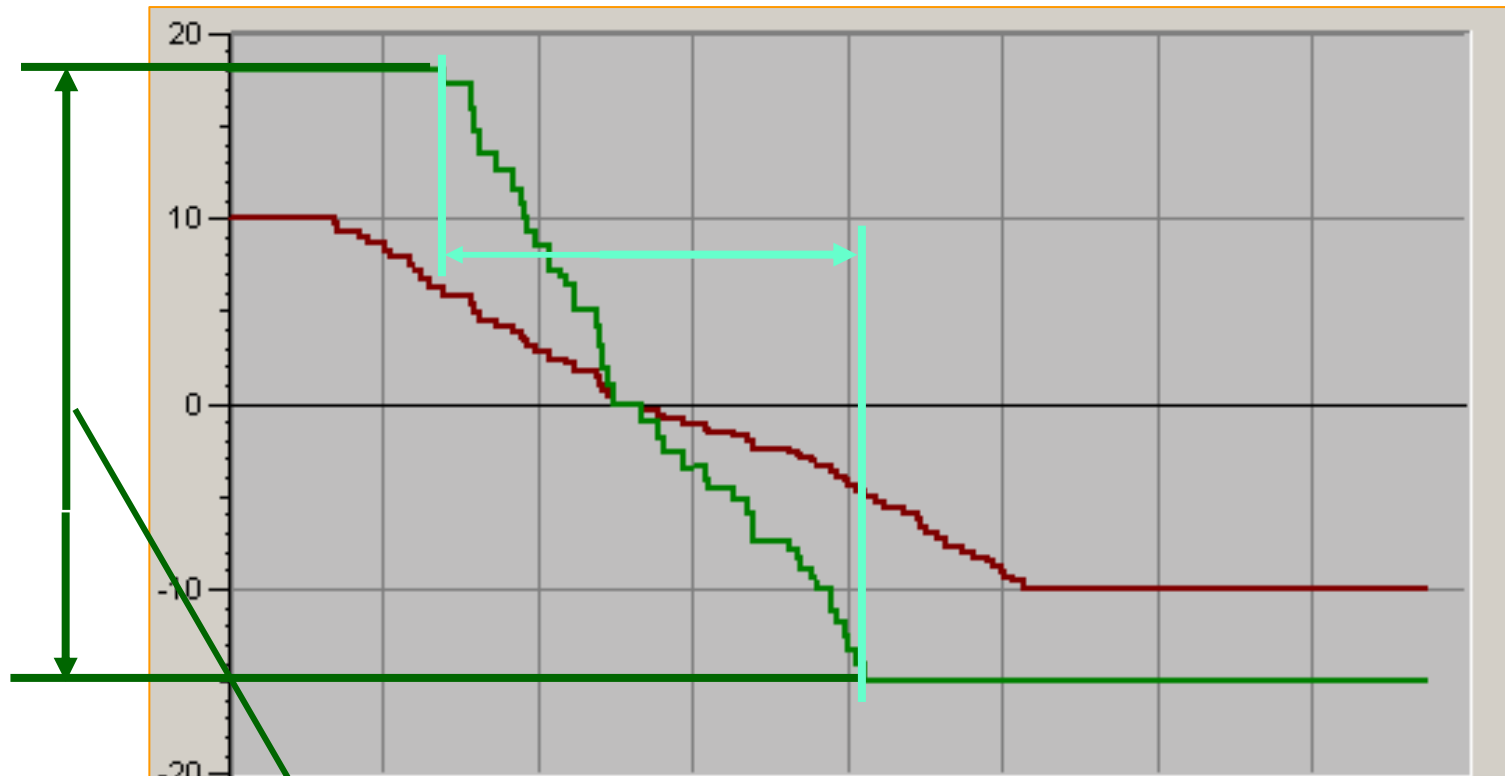
1. Aufzeichnung Stellbereich (-10 ..+10) und sich ergebendem Regelgrössenbereich



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

1. Aufzeichnung Stellbereich und Regelgrössenbereich

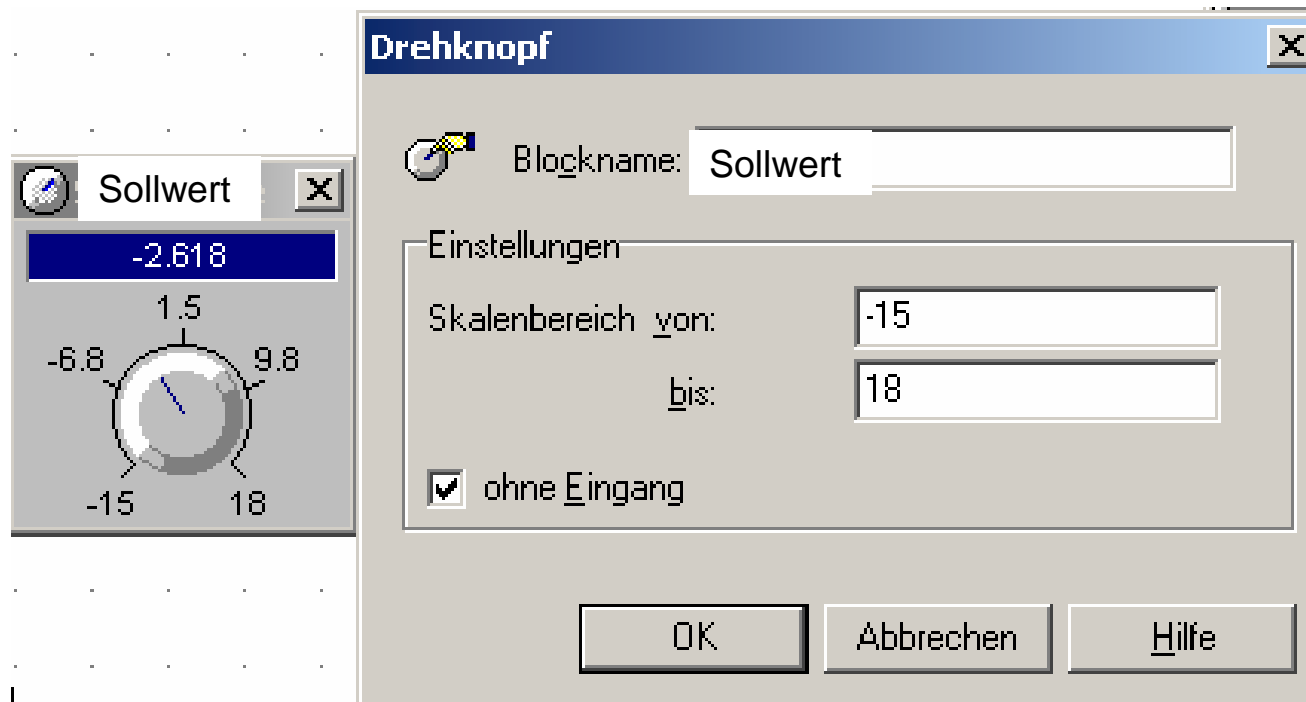


Wertebereich der **Regelgrösse** von 18 bis -15

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

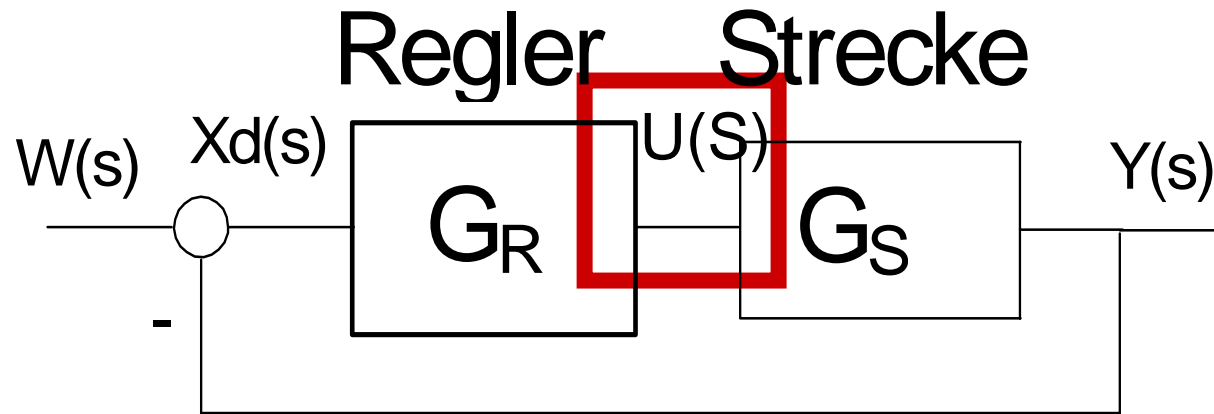
1. Sollwertgeber z.B. als Drehgeber mit 18/-15 einstellen



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

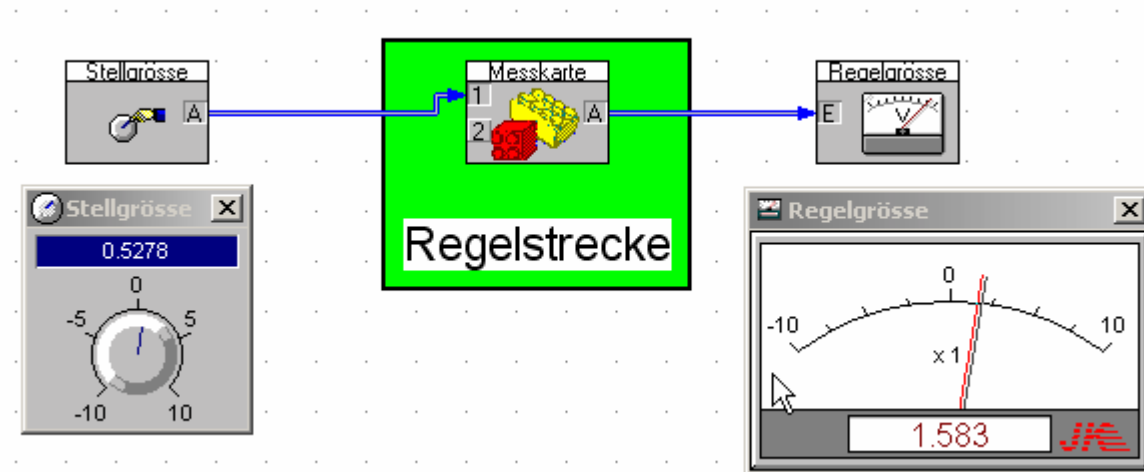
2. Stellbereich des Reglers finden:



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

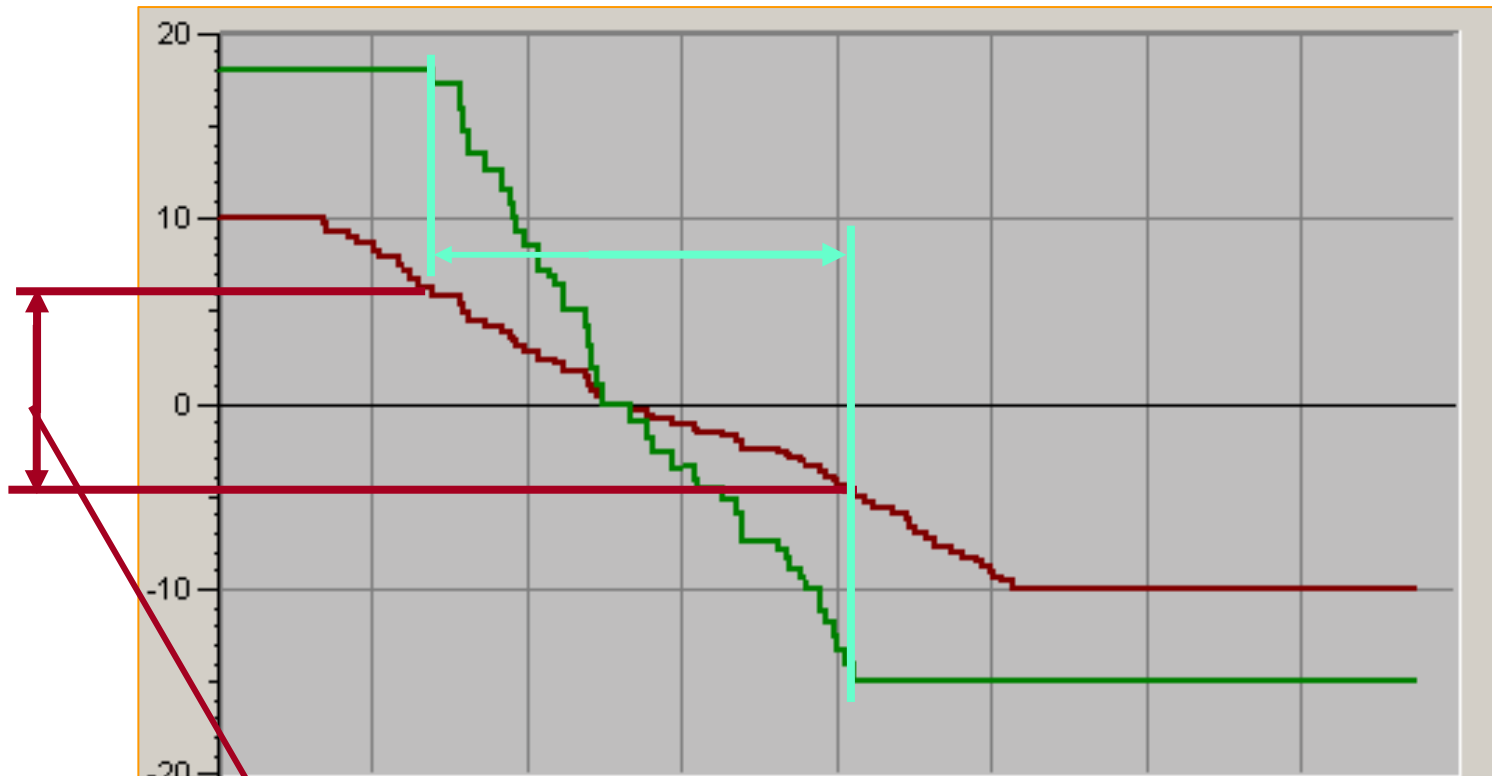
2. Gleiche Teststruktur



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

2. Aufzeichnung Stellbereich und Regelgrössenbereich

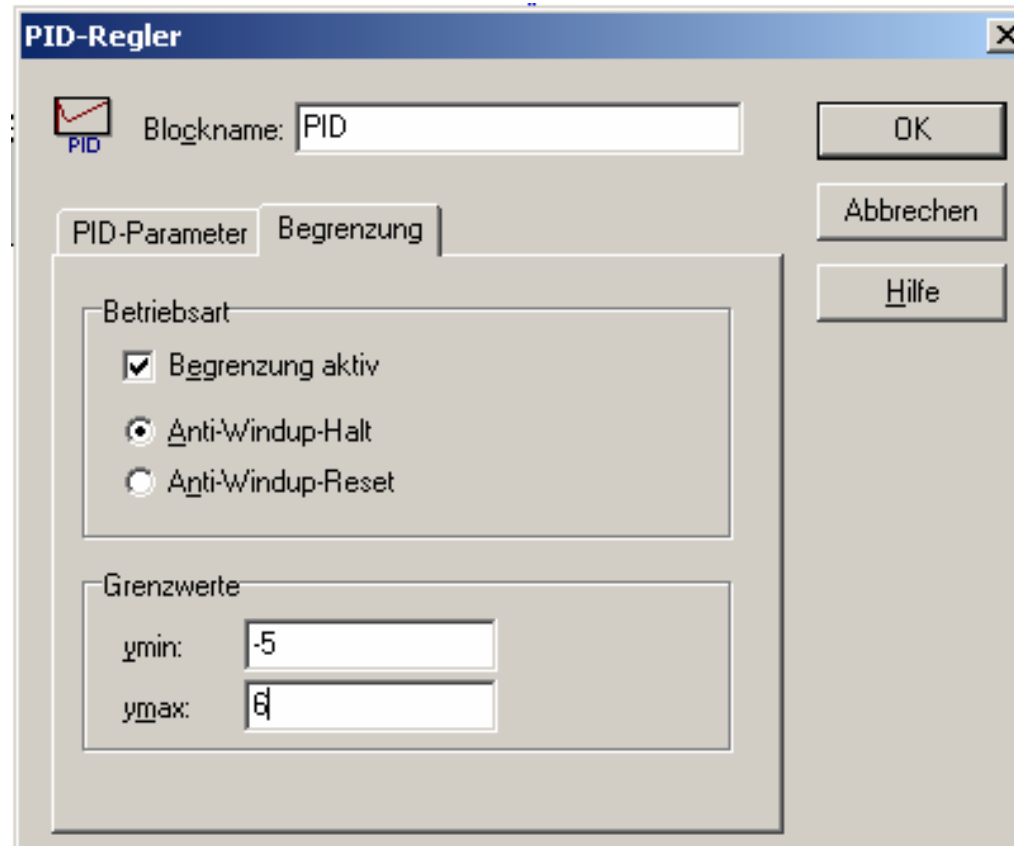


Proportionaler Wertebereich der **Stellgrösse** von 6 bis -5

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

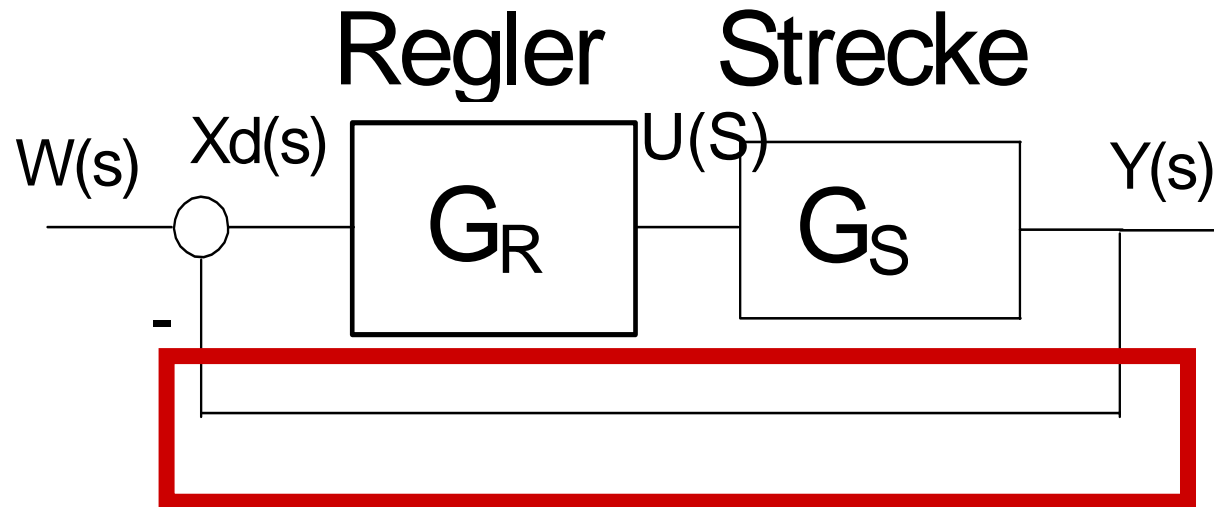
2. Im Regler auf die Werte 6 / -5 begrenzen



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

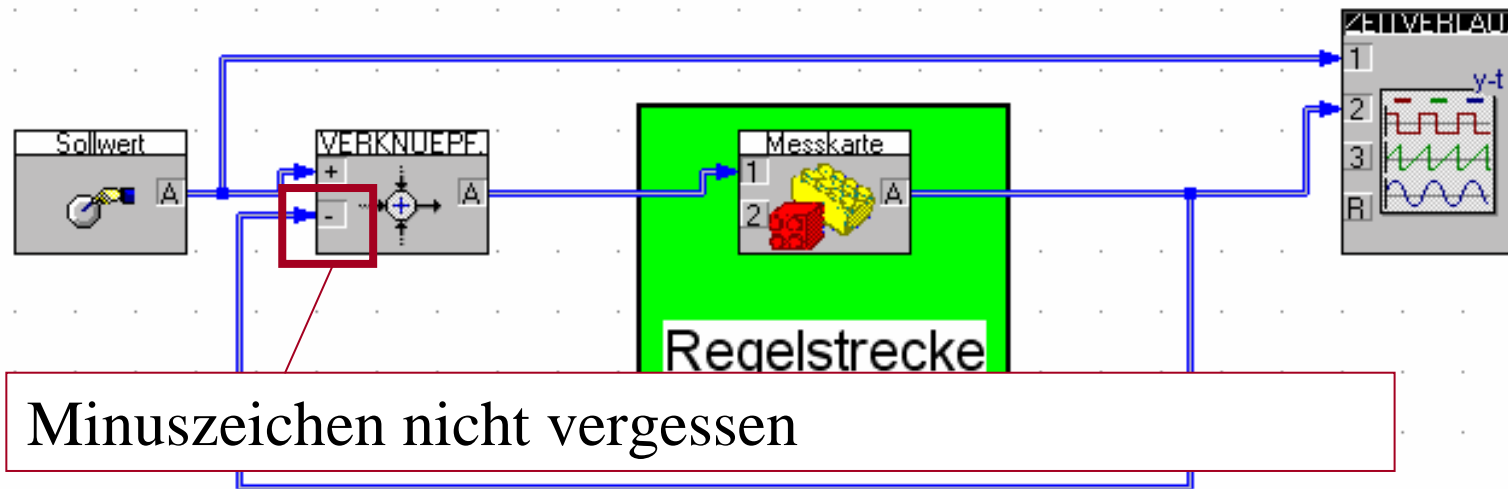
3. Rückkopplung ermöglichen:



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

3. Struktur zeichnen:

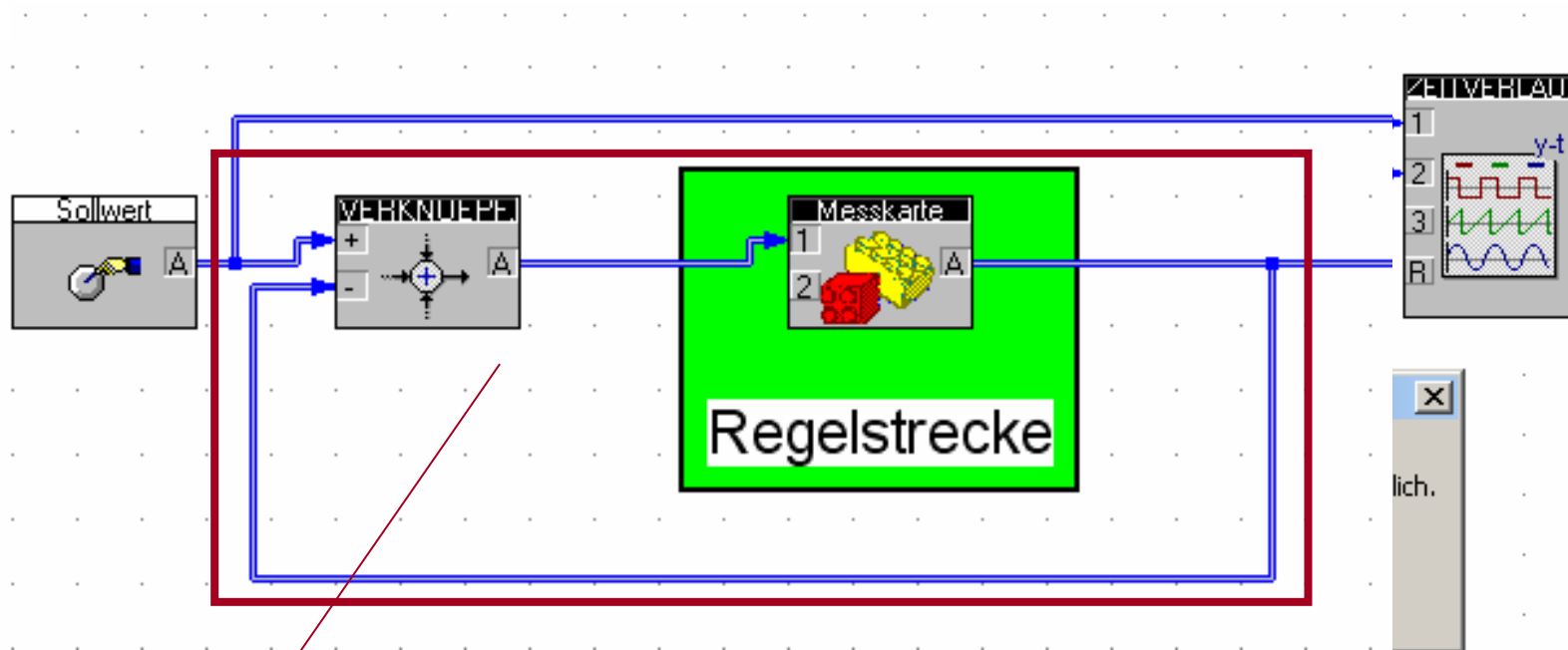


Minuszeichen nicht vergessen

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

3. Simulationsstart: Fehlermeldung



Algebraische Schleife

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

3. Eine Algebraische Schleife kann nicht simuliert werden

Problem:

- Eine Algebraische Schleife enthält nur algebraische Funktionsblöcke (brauchen Eingangswert, bevor Ausgangswert berechnet werden kann)
- Die Simulationsorganisation findet keinen Startblock
- auch der Messblock zählt zu den algebraischen Blöcken

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

3. Eine Algebraische Schleife kann nicht simuliert werden

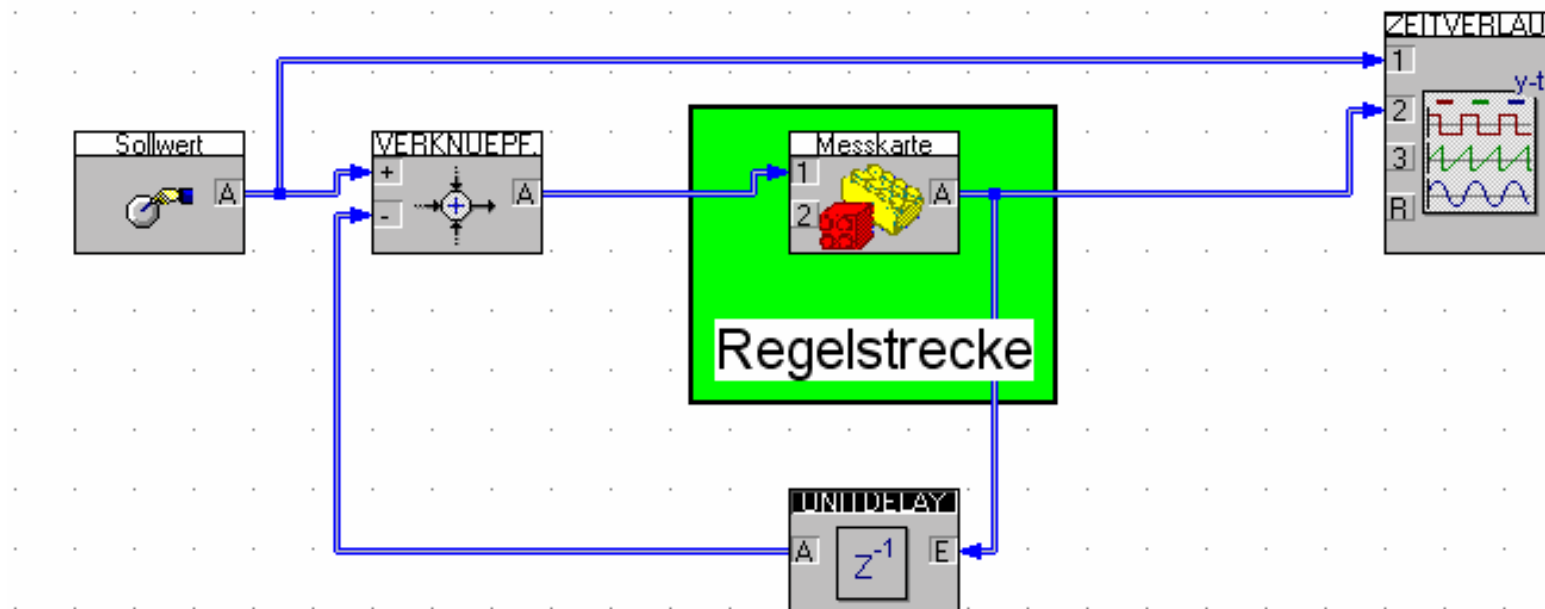
Abhilfe:

- Abhilfe durch einen dynamischen Block (I, PT1, PT2, DT1..), alle diese Blöcke haben Anfangswerte, mit denen die Simulationsorganisation starten kann
- aber: obige Blöcke würden den Regelkreis verfälschen
- Kniff: Einschrittverzögerung(UNITDELAY oder Z^{-1}) speichert nur einen Zeitschritt zwischen (stört nicht), aber Anfangswert

Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

3. Struktur:



Vorlesung 11

Reglerentwurfsverfahren

3. Einstellung ist wichtig:

The screenshot shows a dialog box titled "Einheitsverzögerung" (Unit Delay) with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains the following fields and controls:

- Blockname:** A text field containing "UNITDELAY".
- Anzahl Ein-/Ausgänge:** A spin box set to "1".
- Abtastzeit (Sampling Time):** A group box containing three options:
 - Abtastzeit = 1
 - Abtastzeit = Simulationsschrittweite
 - Abtastzeit in alle zeitdiskreten Blöcke übernehmen
- Anfangswert (Initial Value):** A group box containing a text field for "Anfangswert" set to "0".
- Buttons:** "OK", "Abbrechen", and "Hilfe" (Help) buttons are located on the right side of the dialog.