

## PRÜFUNGSVORBEREITUNGSPLAN

December 2023						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
49 4	5	6	7	8	9	10
50 11	12	13	14	15	16	17
51 18	19	20	21	22	23	24
52 25	26	27	28	29	30	31

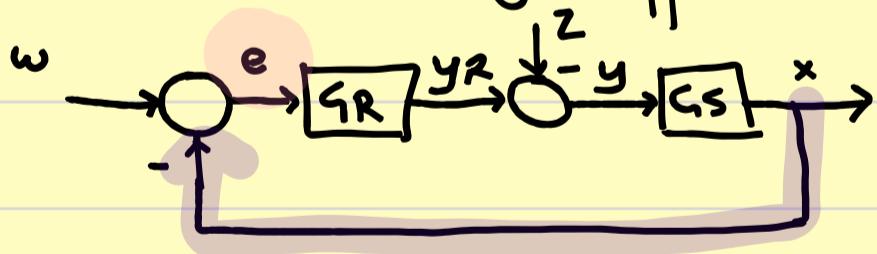
January 2024						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
1 1. Jan	2	3	4	5	6	7
2 8	9	10	11	12	13	14
3 15	16	17	18	19	20	21
4 22	23	24	25	26	27	28
5 29	30	31	1. Feb	2	3	4
6 5	6	7	8	9	10	11

09/26 · 10/11 · 10/17  
10/24 · 10/30 · 11/07  
11/14 · 11/21 · 11/28

12/04 · 12/12  
12/19

## STÖRGROßENAUFSCHALTUNG

Eine Beseitigung der Auswirkung von Störgrößen durch eine Regelung hat den Nachteil, dass der Regler immer erst korrigierend eingreifen kann, wenn eine Regeldifferenz vorliegt.

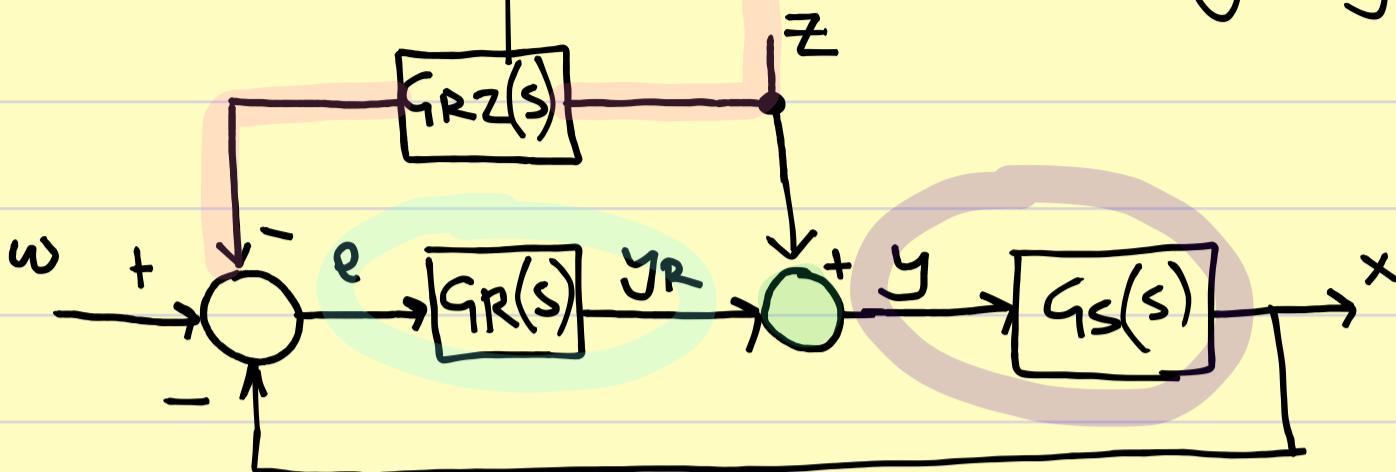


Verzögerung

Wegen der Verzögerung in der Strecke erscheint die Störung erst verspätet am Eingang des Reglers.

Um eine Auswirkung der Störgröße auf die Regelgröße zu verhindern und dabei die vorhandene optimale Reglereinstellung auszunutzen, schaltet man

die messbare Störgröße über ein korrigierendes Glied  $G_{RZ}(s)$  auf den Streckeneingang auf.

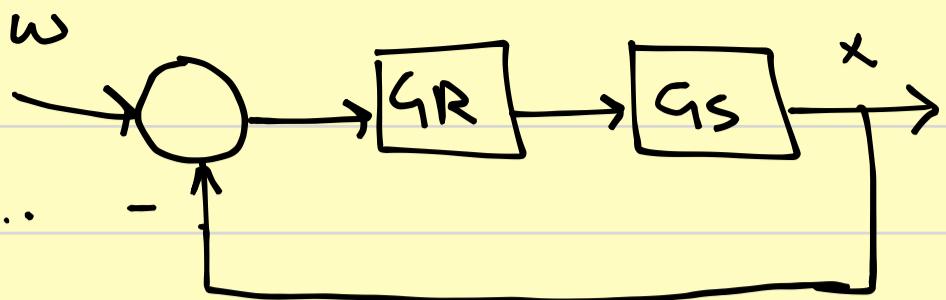


$$\begin{aligned}
 x &= y \cdot G_S(s) = (z + y_R) \cdot G_S(s) = \\
 &= (z + e G_R(s)) \cdot G_S(s) = \\
 &= (z + (w - z G_{RZ}(s) - x) G_R(s)) \cdot G_S(s) = \\
 &= (z + w G_R(s) - z G_{RZ}(s) G_R(s) - x G_R(s)) G_S(s) \\
 x &= \boxed{(z(1 - G_{RZ}(s) G_R(s)) + w G_R(s) - x G_R(s)) G_S(s)}
 \end{aligned}$$

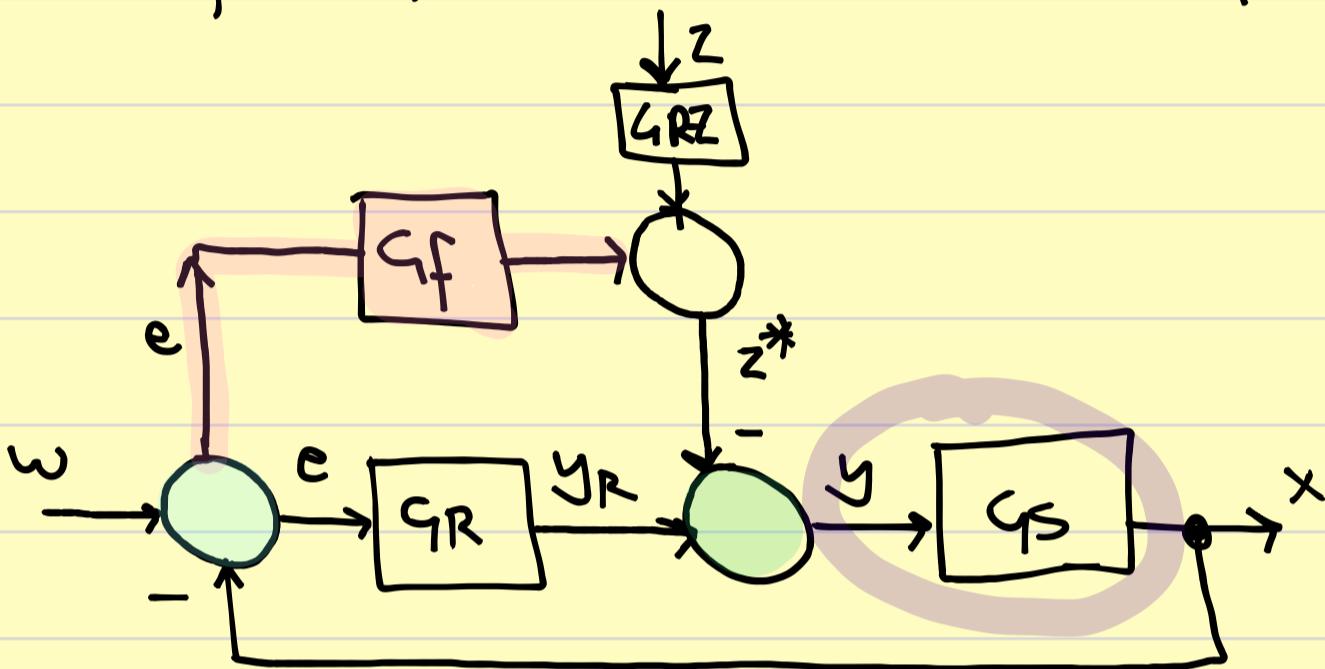
$$G_{RZ}(s) = \frac{1}{G_R(s)} \rightarrow x = \left( z \left( 1 - \frac{G_R(s)}{G_R(s)} \right) + w G_R(s) - x G_R(s) \right) G_S(s)$$

$$x = w G_R(s) G_S(s) - x G_R(s) G_S(s)$$

$$\text{FÜHRUNGSVERHALTEN} \rightarrow \frac{x}{w} = \frac{G_R(s) G_S(s)}{1 + G_R(s) G_S(s)}$$



### (FORWARD REGELUNG) STÖRGROßEN & ERROR AUFSCHALTUNG



$$e = -x + w = -y_Gs(s) + w =$$

$$= -((y_R - z^*) G_s(s)) + w =$$

$$= -\left( e G_R(s) - (e G_f(s) + z G_{RZ}(s)) G_s(s) \right) + w =$$

$$= -\left( e (G_R(s) - G_f(s)) + z G_{RZ}(s) G_s(s) \right) + w =$$

$$w - x = -((w - x)(G_R(s) - G_f(s)) + z G_{RZ}(s) G_s(s)) + w$$

$$w - x = -\left( w(G_R(s) - G_f(s)) - x(G_R(s) - G_f(s)) + z G_{RZ}(s) G_s(s) \right) + w$$

$$x = w(G_R(s) - G_f(s))G_S(s) - x(G_R(s) - G_f(s))G_S(s) +$$

$$+ z G_{RZ}(s) G_S(s)$$

KORREKTUR 5.12.23

$$x \left( 1 + (G_R(s) - G_f(s))G_S(s) \right) = w(G_R(s) - G_f(s))G_S(s) +$$

$$z G_{RZ}(s) G_S(s)$$

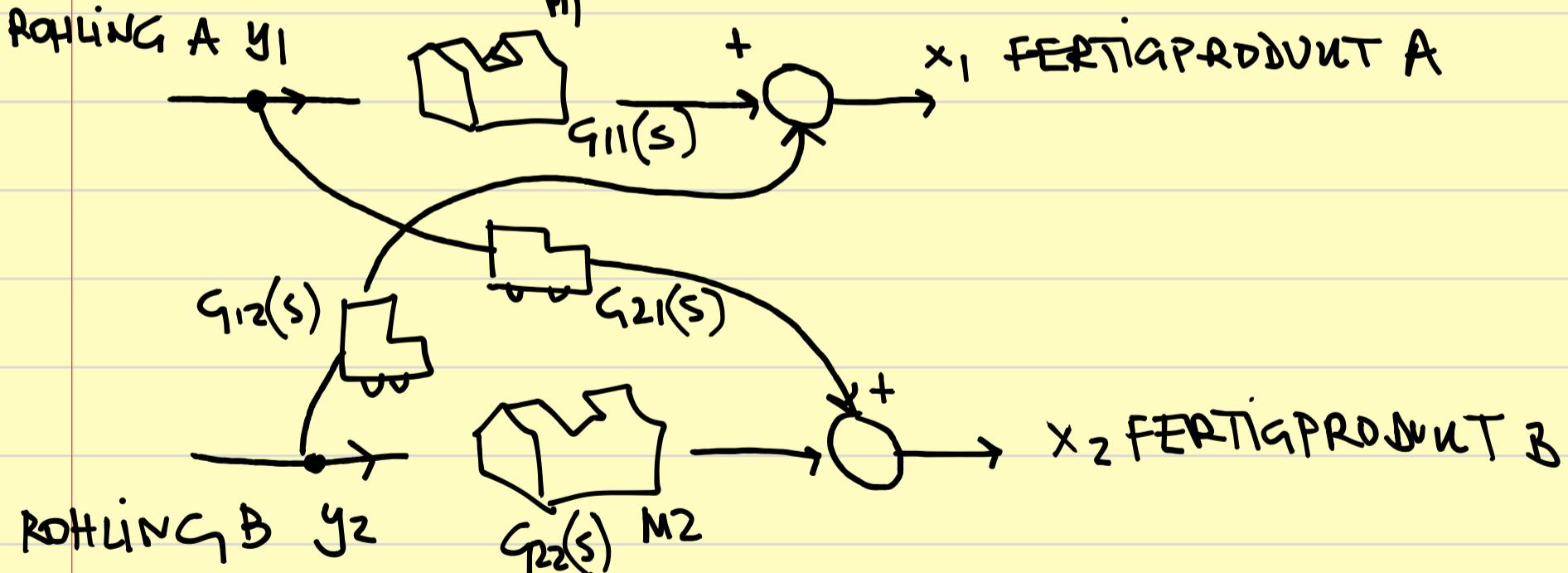
$$G_R(s) = G_f(s) \rightarrow x = z G_{RZ}(s) G_S(s)$$

$$\text{STÖRVERHALTEN} \quad \frac{x}{z} = G_{RZ}(s) G_S(s)$$


---

### MEHRGRÖBENREGELUNG

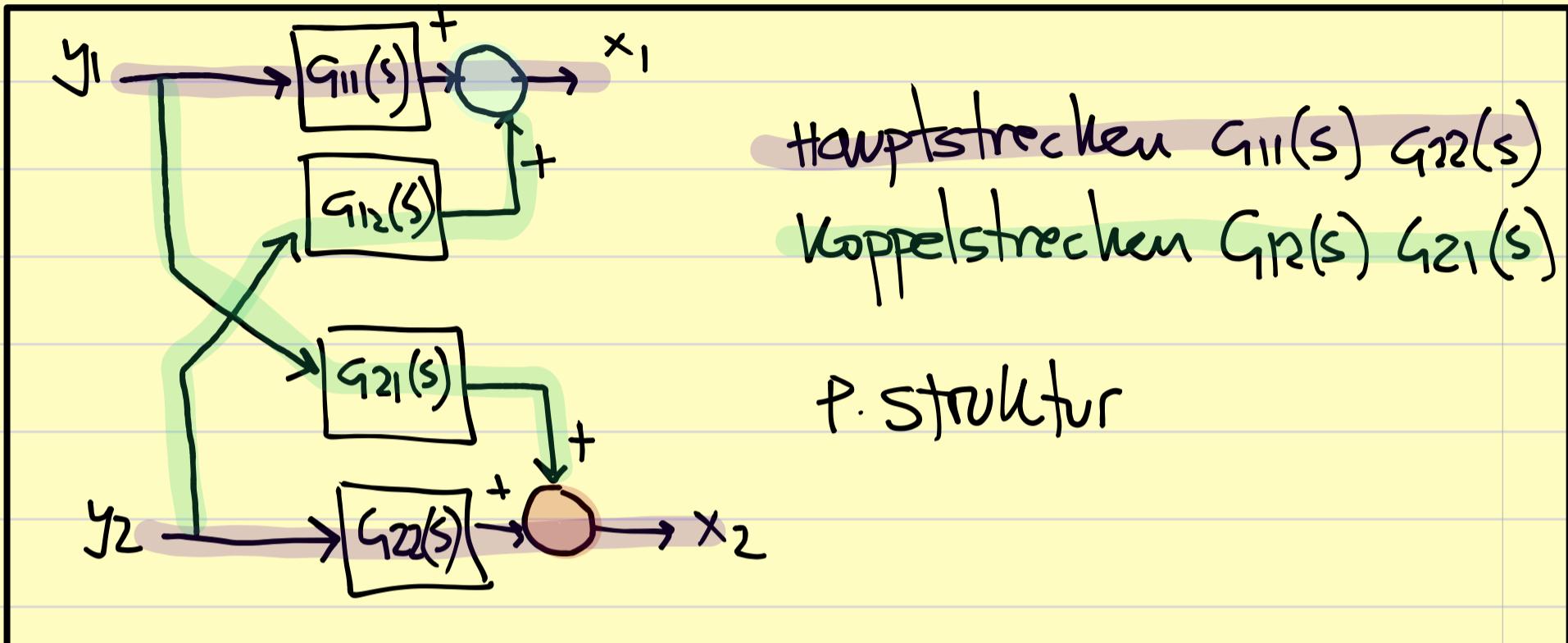
Beispiel



Diese Struktur wird als P. Struktur bezeichnet.

Wenn zwischen den Stellgrößen  $y_1, y_2$  und den Regelgrößen  $x_1, x_2$  eine feste Zuordnung besteht, die

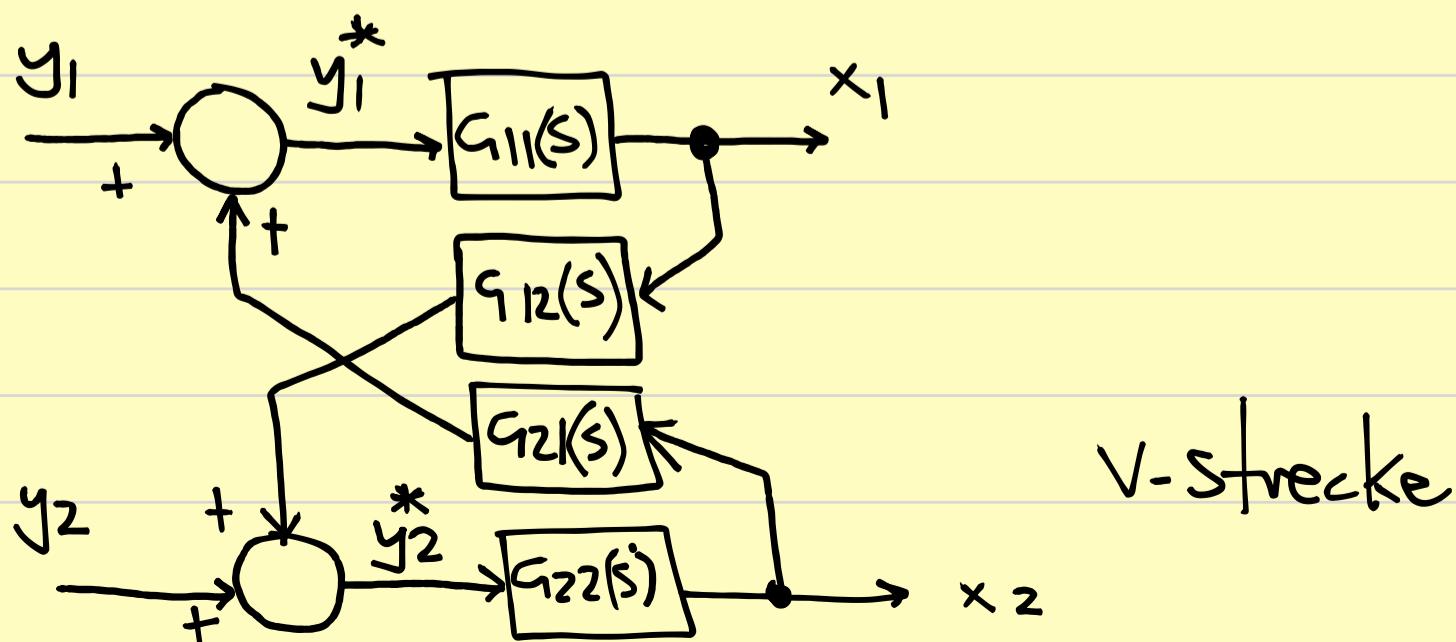
durch  $G_{11}(s)$  und  $G_{22}(s)$  bestimmt wird, kann die Zweigverregelung als nicht gekoppelt realisiert werden.



$$\left. \begin{array}{l} x_1 = y_1 G_{11}(s) + y_2 G_{12}(s) \\ x_2 = y_1 G_{21}(s) + y_2 G_{22}(s) \end{array} \right\} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(s) G_{12}(s) \\ G_{21}(s) G_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} G_{11}(s) G_{12}(s) \\ G_{21}(s) G_{22}(s) \end{bmatrix}$$

V-Struktur



$$x_1 = y_1^* \quad g_{11}(s) = (y_1 + g_{21}(s)x_2)g_{11}(s)$$

$$x_2 = y_2^* \quad g_{22}(s) = (y_2 + g_{12}(s)x_1)g_{22}(s)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11}(s) & 0 \\ 0 & g_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_{11}g_{21} & 0 \\ 0 & g_{12}g_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \end{bmatrix}$$

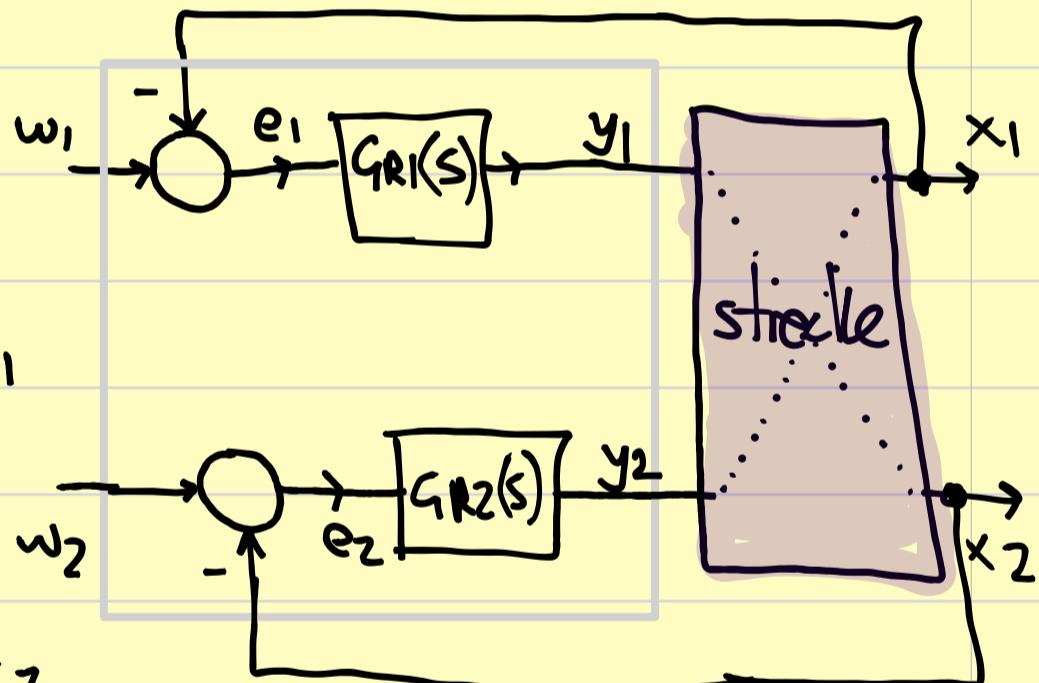

---

## STRUKTUREN VON MEHRGRÖBENREGELUNG

### DIAGONALREGELER

$$G_R(s) = \begin{bmatrix} G_{R1}(s) & 0 \\ 0 & G_{R2}(s) \end{bmatrix}$$

Zwei Regler  $G_{R1}(s)$  und  $G_{R2}(s)$  regeln jeweils eine Regeldifferenz  $e_1 = w_1 - x_1$  und  $e_2 = w_2 - x_2$  aus.



Voraussetzungen zum Einsatz eines Diagonalreglers sind:

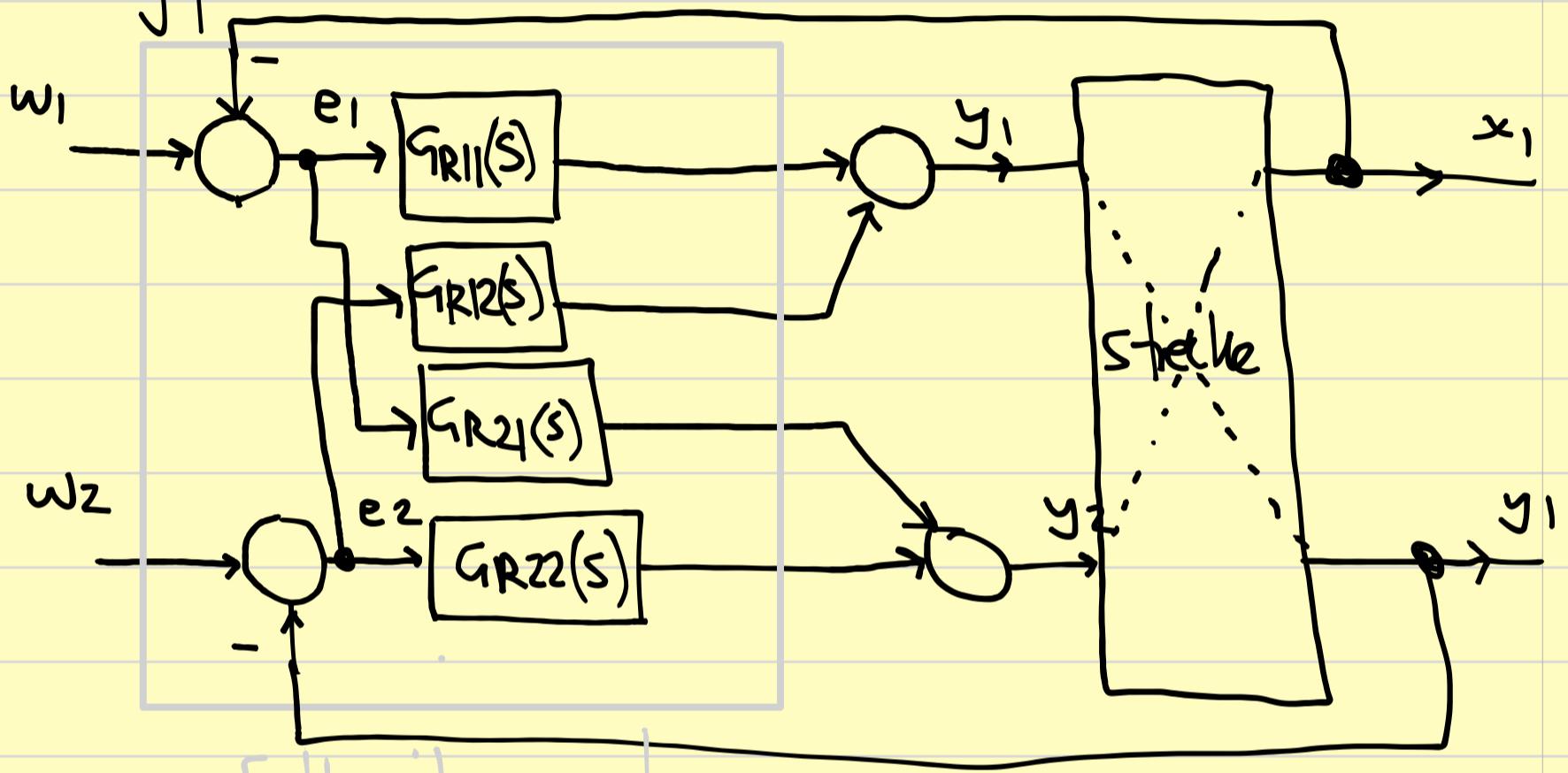
- 1) Anzahl Regelgrößen „r“ und Stellgrößen „m“ sind gleich
- 2) Hauptstrecken haben ein P-Verhalten (feed-forward)

Nachteilig ist die starke gegenseitige Wirkung der beiden Kopplungsstrecken.

## ENTKOPPLUNGSREGLER

Die Übertragungsmatrix lautet  $G_R(s) = \begin{bmatrix} G_{R11}(s) & G_{R12}(s) \\ G_{R21}(s) & G_{R22}(s) \end{bmatrix}$

Wirkungsplan:

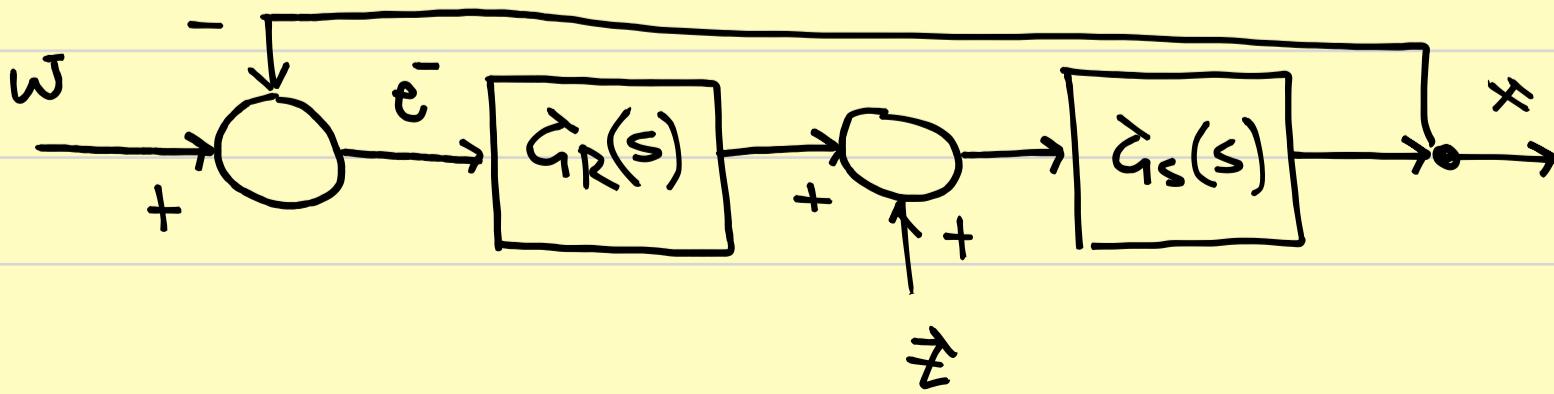


Entkopplungsregler  
P. Struktur

Die Nachteile:

- 1) Schwer realisierbar
- 2) Nicht immer technologisch erwünscht (feuer)

## ENTWURF EINES MEHRGRÖBENENTKOPPLUNGSREGLER



$$\vec{G}_S(s) = \begin{bmatrix} G_{S11}(s) & G_{S12}(s) \\ G_{S21}(s) & G_{S22}(s) \end{bmatrix}$$

$$\vec{G}_R(s) = \begin{bmatrix} G_{R11}(s) & G_{R12}(s) \\ G_{R21}(s) & G_{R22}(s) \end{bmatrix}$$

Die Übertragungsmatrix des offenen Regelkreises lautet:  $\vec{G}_O(s) = \vec{G}_S(s) \vec{G}_R(s)$

Die Führungsübertragungsmatrix des geschlossenen Kreises lautet:

$$\vec{G}_W(s) = [I_r + \vec{G}_O(s)]^{-1} \cdot \vec{G}_O(s)$$

$I_r(s)$  ≡ Einheitsmatrix von Dimension  $r \times r$

\*  $G_W(s) = \frac{G_O(s)}{1+G_O(s)}$  (1. Variabel)

## Steuerbarkeit & Beobachtbarkeit

Ein System heißt steuerbar, wenn Steuerungen  $y(x)$  existieren, die das System aus einem beliebigen Anfangswert  $x_A$  in einem beliebigen Endwert  $x_E$  überführen können.

Ein System heißt beobachtbar, wenn für jeden Anfangswert  $x_A(t_0)$  einen Endwert  $x_E(t_A)$  berechnet werden kann.

# Übungen ...

1) Gegeben ist das offene RK-System mit einem PT1 Glied und einem Proportional Regler.

$$G_S(s) = \frac{K}{1+Ts} \quad G_R(s) = K_r$$

a) Bestimmen Sie die Parameter, so dass das geschlossene Regelkreissystem einen stabilen Regelkreis bildet.

b) Zeichnen Sie das Bode Diagramm des offenen und geschlossenen Regelkreises. Diskutieren Sie die Unterschiede.

c) Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion  $H(s)$  des geschlossenen Regelkreises.

d) Bestimmen Sie die Anstiegszeit  $t_r$  des geschlossenen Regelkreises.

e) Die Sprungantwort des geschlossenen RKS soll eine maximale Überschwingung von 10% haben und die Anstiegszeit soll 2 Sekunden nicht überschreiten. Die Eingangsgröße ist eine Sprungfunktion mit Sollwert  $1_1$ .

Bestimmen Sie die erforderlichen Parameter  $K, T$  &  $K_r$ , so dass die Bedingungen erfüllt sind.

2) Gegeben ist das offene RK mit einem PT2 Glied und einem P Regler.

$$G_S(s) = \frac{K}{(1+T_1s)(1+T_2s)} \quad G_R(s) = k_r$$

Gleiche Fragen als bei Übung 1.

3) Gegeben ist das offene Rk mit einem PT1 Glied und einem PT2 Glied in Reihenschaltung, sowie einem P. Refer.

$$G_{S1}(s) = \frac{K_1}{1+T_1s}$$

$$G_{S2}(s) = \frac{K_2}{(1+T_2s)(1+T_3s)}$$

$$G_R(s) = k_r$$

Gleiche Fragen als bei Übung 1.

4) Gegeben ist das offene Rk mit einem PI Regler:

$$G_S(s) = \frac{K}{s(s+2)} \quad G_R(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{1+T_i s} \right)$$

a) Stabilitätsanalyse

Überprüfen Sie die Stabilität des offenen Rk für verschiedene Werte von  $K_p$  und  $T_i$ . Bestimmen Sie die Stabilitätsbedingungen.

b) Wählen Sie  $K_p$  &  $T_i$  so dass der geschlossene RK stabil ist.

c) Simulieren Sie die Sprungantwort des geschlossenen RK für die ausgewählten Parameter.

d) Diskutieren Sie Vor- und Nachteile der gewählten Reglerparameter und wie sich Änderungen in  $K_p$  &  $T_i$  auf die Systemleistung auswirken würden.