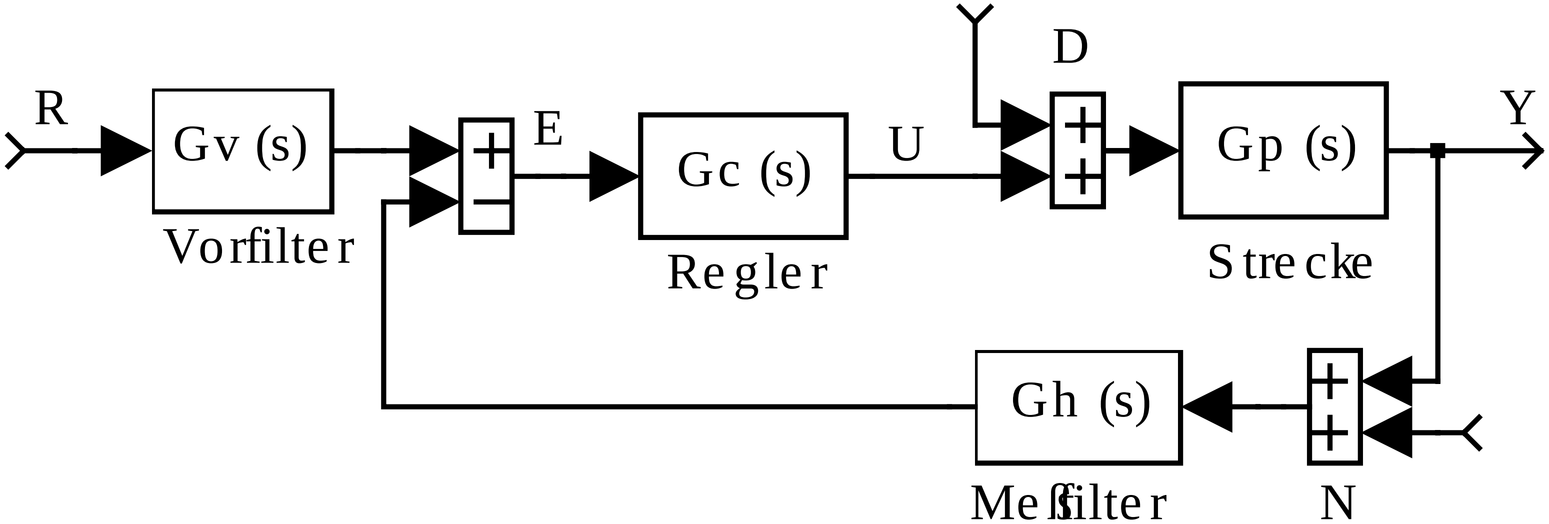
Evolutionstechnik für die Regelung Dynamischer Systeme

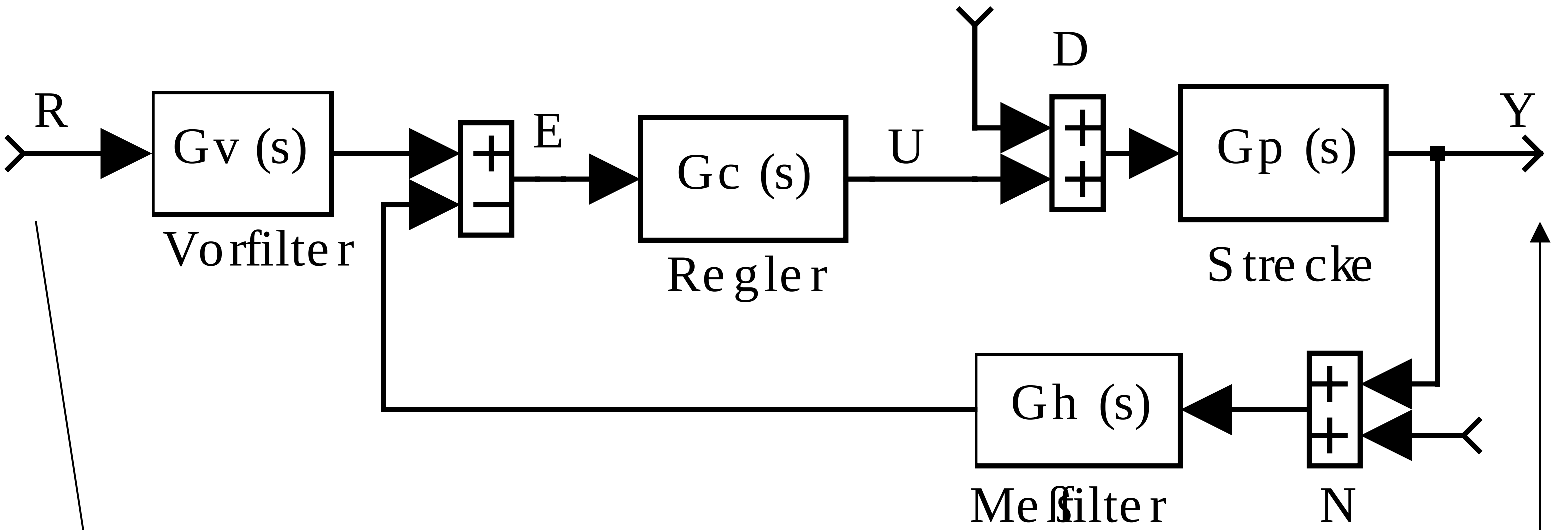
- Exkurs Regelungstechnik
- Problemstellungen
- Einsatz der Evolutionsstrategie
- Beispiel
- Weiteres Vorgehen

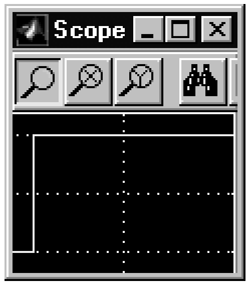
Exkurs Regelungstechnik:



- R: Führungsgröße (Soll)
- E: Regelfehler
- U: Stellgröße
- Y: Regelgröße (Ist)
- D: Stellgrößenstörung (Aktuatorungenauigkeiten)
- N: Meßstörungen (Sensorrauschen)

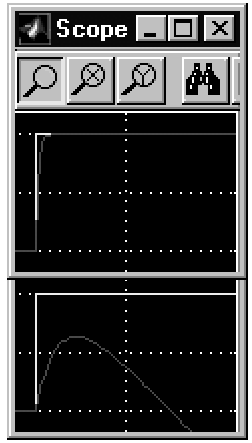
Exkurs Regelungstechnik:



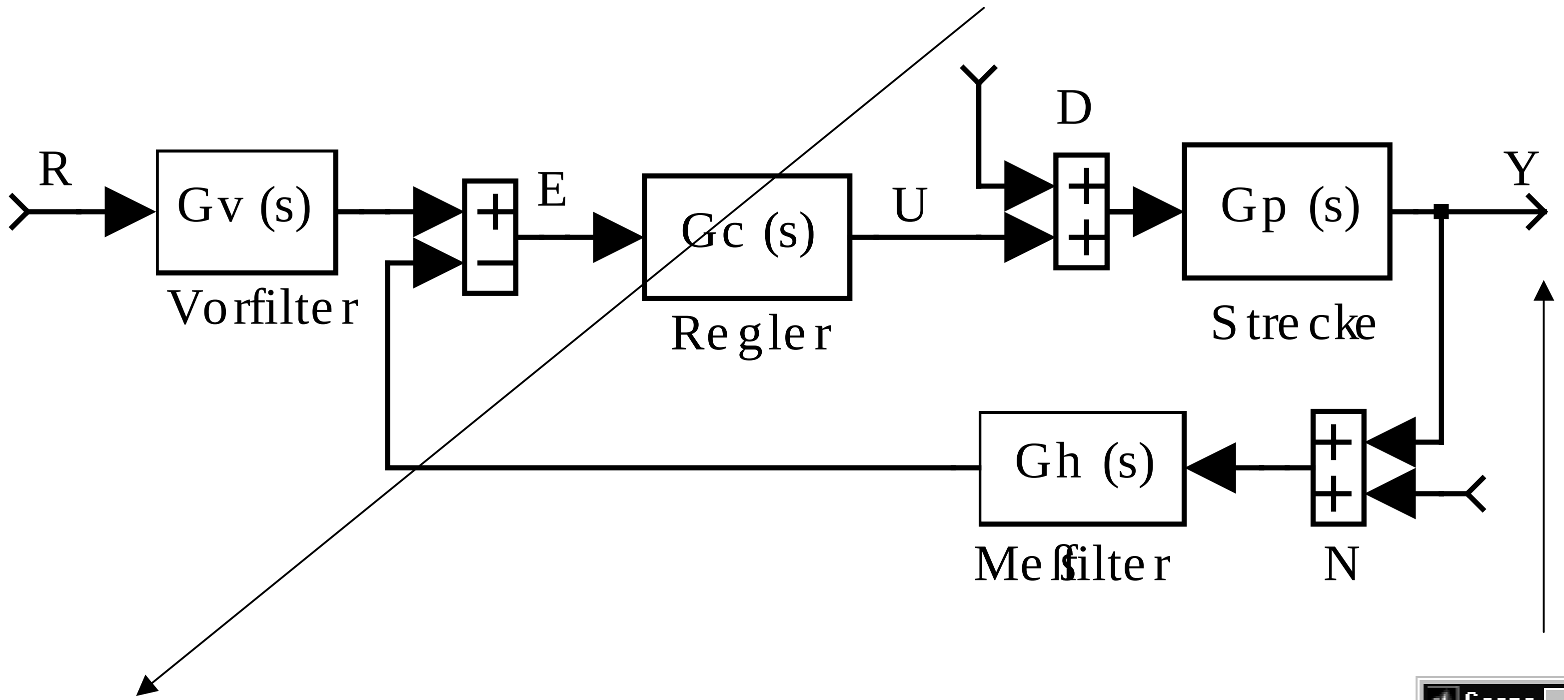


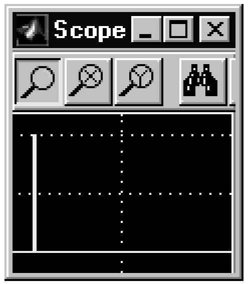
$$T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{Gv(s)L(s)}{1 + Gh(s)L(s)}$$

$$L(s) = Gc(s)Gp(s)$$



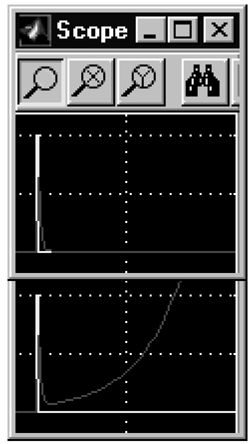
Exkurs Regelungstechnik:





$$T_D(s) = \frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{Gp(s)}{1 + Gh(s)L(s)}$$

$$L(s) = Gc(s)Gp(s)$$



Vorg.

Problemstellungen:

- Stabilität des Übertragungsverhaltens (Bibo-Stabilität):

1. $\left|r(t)\right| \le L \Rightarrow \left|y(t)\right| \le M$ für alle $t \in \Re$

2. Für $t \to \infty$ strebt T(s) gegen einen endlichen Grenzwert, den Verstärkungsfaktor des Übertragungssystems

-> Im Frequenzbereich gilt für ein lineares zeitinvariantes Übertragungssystem

$$G(s) = \frac{Z(s)}{N(s)} = \frac{Z(s)}{\prod_{\mu=1}^{n}(s - s_{x_\mu})}$$

- N(s), Z(s) teilerfremd
- Grad{N(s)}=n, Grad{Z(s)}=m
- m $\le$ n
- alle Polstellen liegen in der linken offenen s-Halbebene

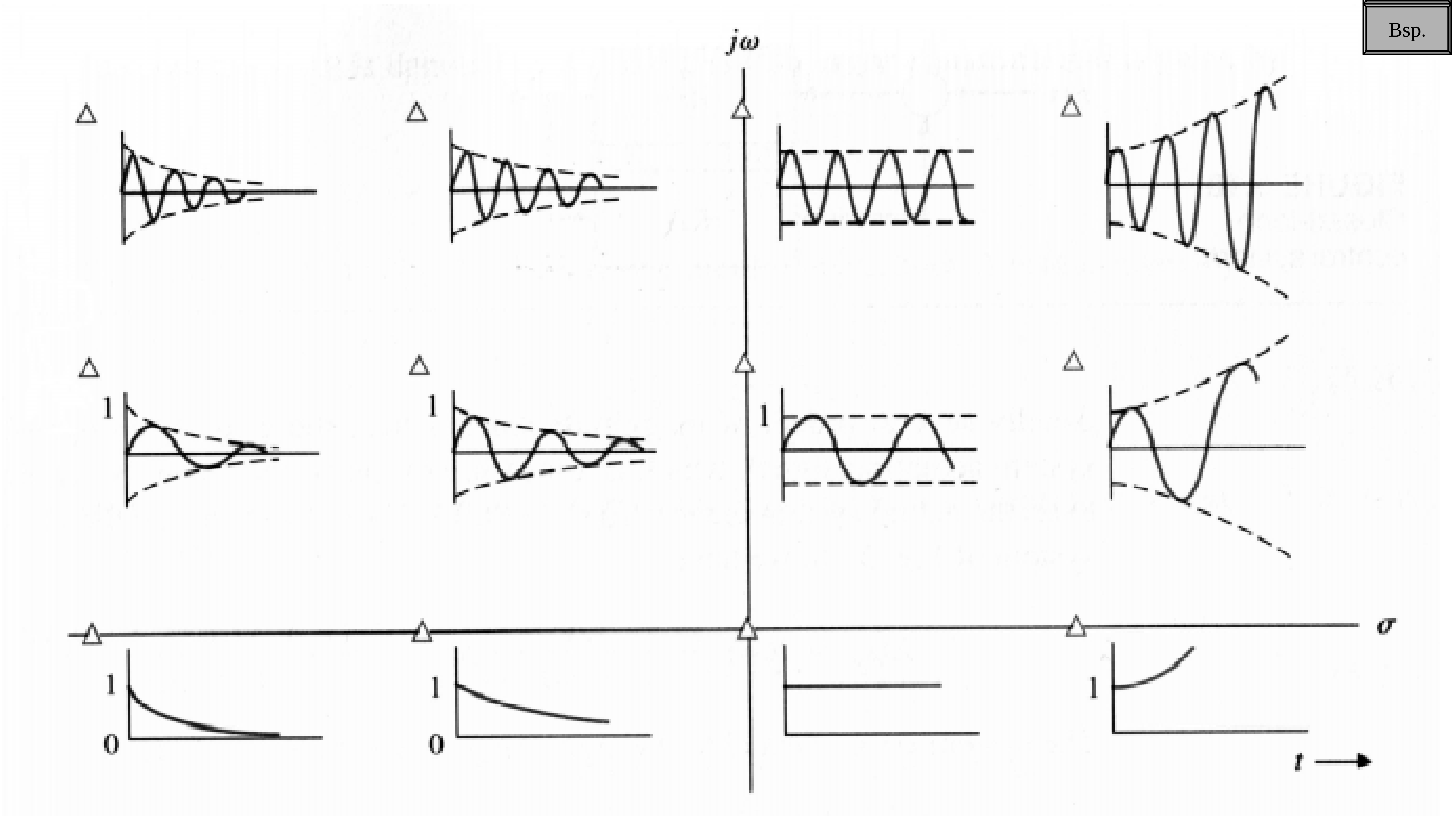
Γ

Γhyp.

ΓKr.

Bsp.

Problemstellungen:



Bishop H. 'Modern Control Systems'

Z/N

Problemstellungen:

- Ziel der Regelung: $y(t) - r(t) = e(t) \to 0$, für $t \to \infty$

- Vorgaben:
  - Mp (maximale Überschwingweite) z.B. $\leq 0.2\%$
  - tr (maximale Anstiegszeit) z.B. $\leq 10\,\text{sec}$
  - Umax (maximale Stellgröße) z.B. $\leq 10V$
  - Stabilität (Γ- Stabilität, Polgebietsvorgabe in WOK)
  - Robustheit (Streckenunsicherheiten, robuste Stabilität und/oder robustes Übertragungsverhalten)

- Lineare Verfahren: z.B. Wurzelortskurvenverfahren
  - Halbgrafisches Verfahren in der s-Ebene

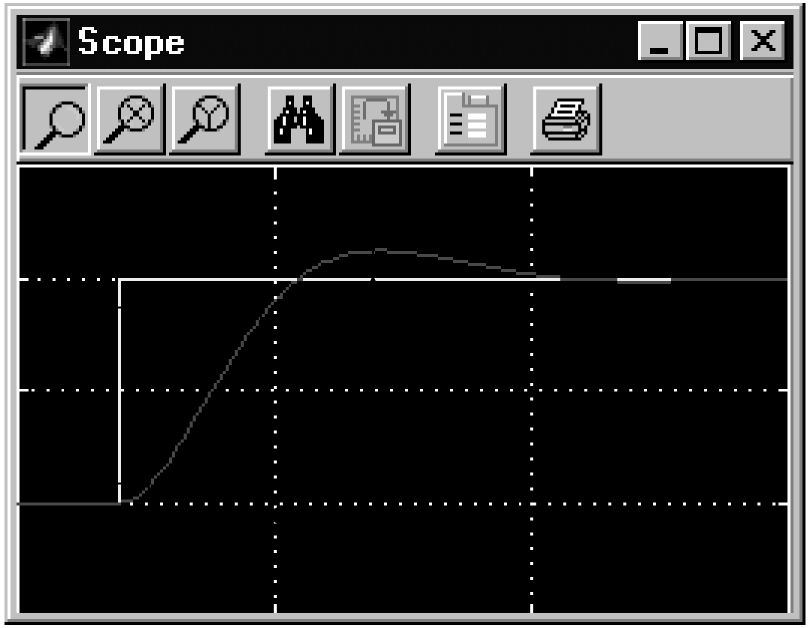
Bsp.Mp

Bsp.tr

Einsatz der Evolutionsstrategie:

Gütekriterium: $$Q = \int_0^\infty t^n \left(e^2(t) + \alpha u^2(t)\right) dt \qquad n = 0,1,2\ldots \quad \alpha = 0,\ldots,0.2$$

\+ verschiedene. Strafterme:



1. Signaleigenschaften

(linear und nichtlinear)

- Anstiegszeit t_r
- Überschwingweite M_p

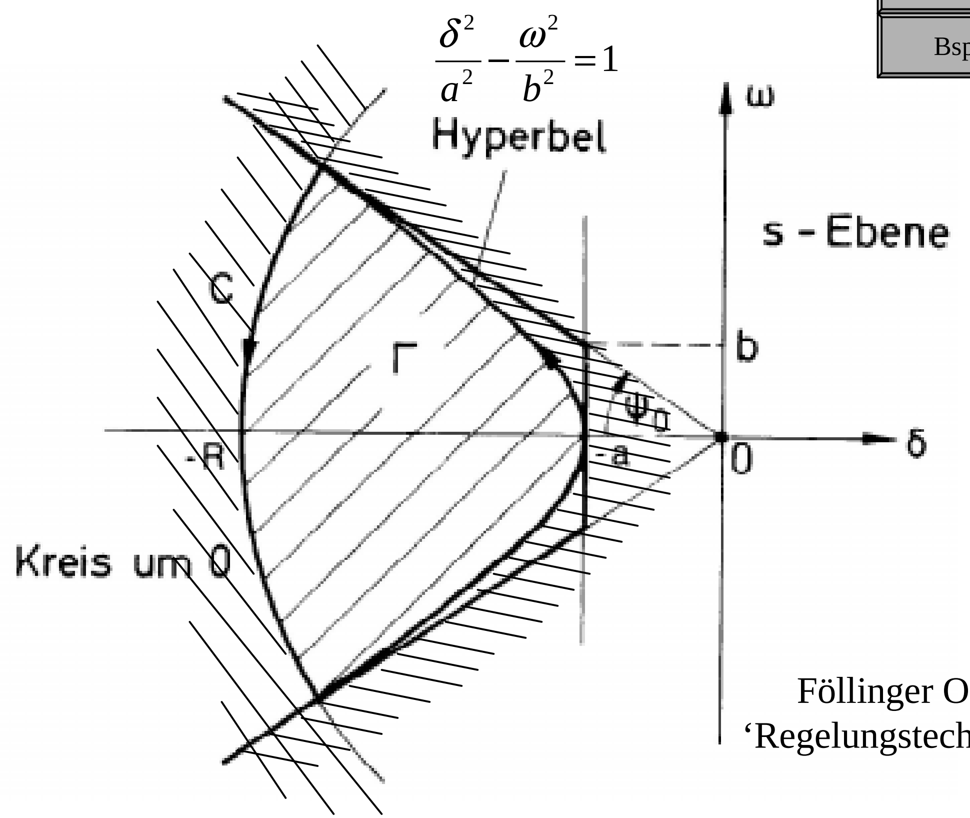
$$PF_1 = M_p t_{M_p} + (t_r - t_{r_{soll}})_{t_r > t_{r_{soll}}}$$

Imp. Resp.

Bsp.

Einsatz der Evolutionsstrategie:

2. Systemeigenschaften:
a. Stabilität (linear)



Föllinger O.
'Regelungstechnik'

- mindest Dämpfung durch die Hyperbel

$$PF_2(\delta,\omega) = \delta + \frac{a}{b}\sqrt{\omega^2 + b^2} \begin{cases} <0 \text{ links} \\ =0 \text{ auf} \\ >0 \text{ rechts} \end{cases}$$

- Bandbreite durch den Kreis

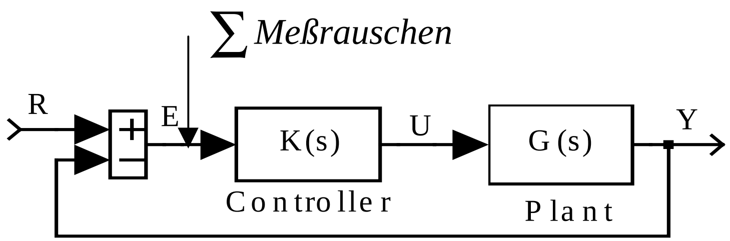
$$PF_3 = \sqrt{\delta^2 + \omega^2} - R \begin{cases} <0 \text{ rechts} \\ =0 \text{ auf} \\ >0 \text{ links} \end{cases}$$

Einsatz der Evolutionsstrategie:

2. **Systemeigenschaften:** b. Robustheit (linear)

- Jeder Reglerentwurf basiert auf einem stark vereinfachten Modell - Modell-unsicherheit (Nichtlinearitäten, veränd. Prozeßrandbedingungen, ...)

-> Regler soll eine Klasse von Modellfehlern tolerieren (d.h. Wenn die Ziele für eine Menge von Prozeßmodellen erreicht werden = Robuste Regelung)



Sensitivitätsfunktion $S = \frac{E}{R} = \frac{1}{I + GK}$

Komplementäre Sensitivitätsfunktion $T = \frac{Y}{R} = \frac{GK}{I + GK}$

$$\Longrightarrow \quad S + T = I$$

Meßrauschen gut unterdrücken

$\updownarrow$

Gutes Führungs- und Störverhalten

Einsatz der Evolutionsstrategie:

Gutes Führungsverhalten im niederfrequenten Bereich ($\omega \downarrow$)

Meßrauschen vorwiegend im Bereich hoher Frequenzen ($\omega \uparrow$)

$$\overline{\sigma}[S(j\omega)] << 1 \qquad , \omega \in \Omega_{klein}$$

$$\overline{\sigma}[T(j\omega)] << 1 \qquad , \omega \in \Omega_{groß}$$

(Der größte Singulärwert einer Matrix kann als maximale frequenzabhängige Verstärkung aufgefaßt werden)

$\rightarrow$ Frequenzabhängige Gewichtungsmatrizen ermöglichen:

- komponentenweises Differenzieren von Regelkreisgrößen und
- für verschiedene Frequenzen unterschiedliche Spezifikationen

$$\overline{\sigma}[W_S(j\omega)S(j\omega)] < 1 \quad , \forall \omega$$

$$\left\| W_S(j\omega)S(j\omega) \right\|_\infty < 1$$

$$\overline{\sigma}[W_T(j\omega)T(j\omega)] < 1 \quad , \forall \omega$$

$$\left\| W_T(j\omega)T(j\omega) \right\|_\infty < 1$$

$$PF_4 = \left\| \begin{matrix} W_S S \\ W_T T \end{matrix} \right\|_\infty < 1$$

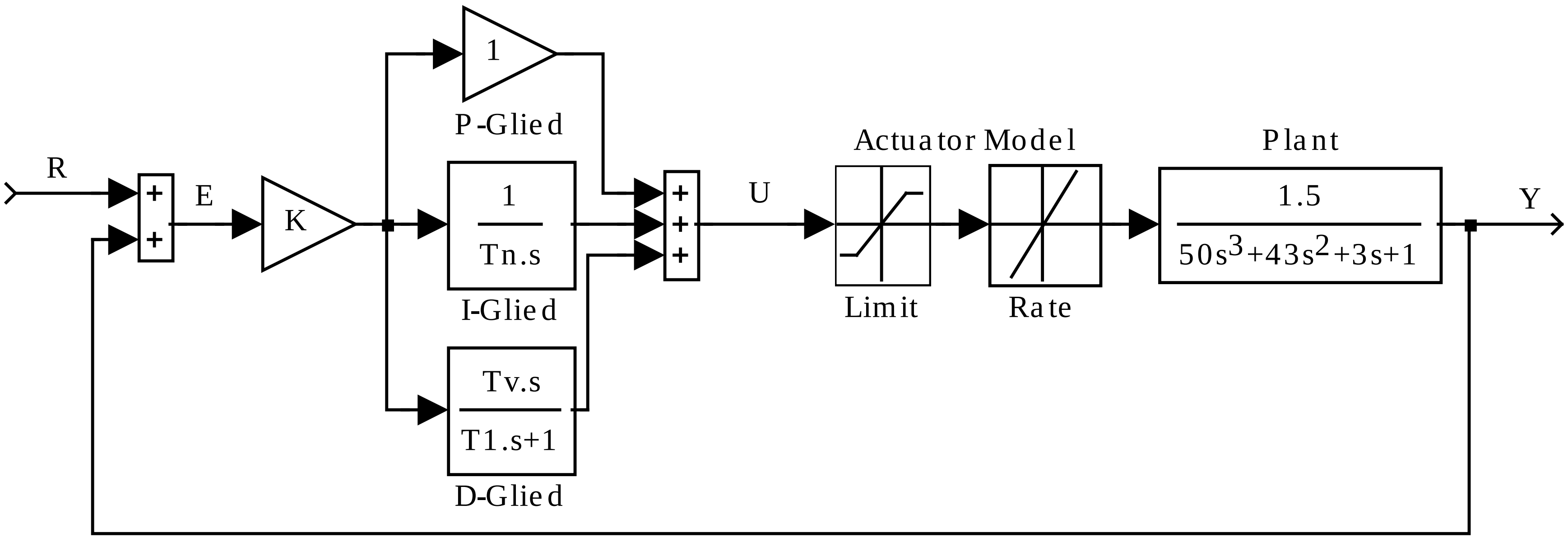
Einsatz der Evolutionsstrategie:

Mögliche Qualitätsfunktion für die Evolutionsstrategie:

$$
\begin{aligned}
Q = \int_0^\infty t^n \left(e^2(t) + 0.1 u^2(t) \right) dt \\
+ M_p t_{M_p} + (t_r - t_{r_{soll}})_{t_r > t_{r_{soll}}} \\
+ (\delta + \frac{a}{b}\sqrt{\omega^2 + b^2}) \quad + (\sqrt{\delta^2 + \omega^2} - R) \\
+ \left\| \begin{matrix} W_S S \\ W_T T \end{matrix} \right\|_{\infty \, \left\| \begin{matrix} W_S S \\ W_T T \end{matrix} \right\|_\infty \geq 1}
\end{aligned}
$$

Beispiel:

Bsp.: Nichlineare Strecke und realer PID-Regler

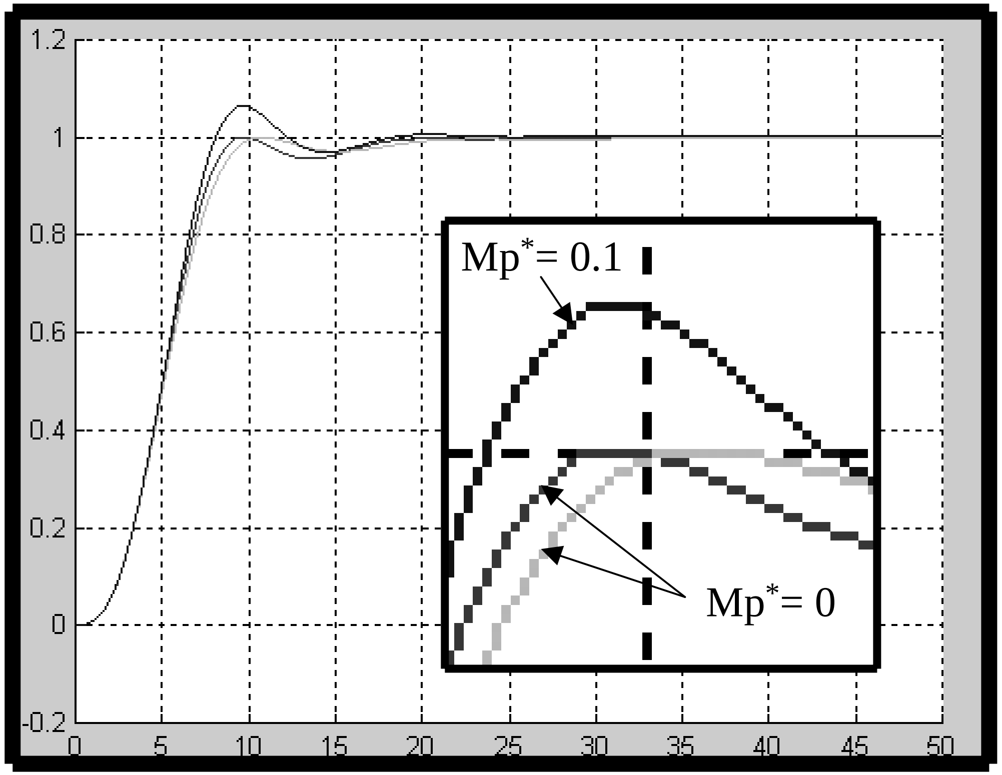


$$G_c(s) = K\left(1 + \frac{1}{T_n s} + \frac{T_v s}{T_1 s + 1}\right) = \frac{(T_1 + T_v) T_n s^2 + (T_1 + T_n) s + 1}{T_1 T_n s^2 + T_n s}$$

Linearisierung
am Arbeitspunkt
$\rightarrow Z_p(s) / N_p(s)$

Beispiel:

zu 1. Signaleigenschaften (Mp)



Begrenzung der Überschwingweite

$$\text{Mp} = \begin{cases} 0 & \text{für } Mp \leq Mp^* \\ Mp\text{-}Mp^*\text{+}1 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$PF_{Mp\,a} = (\text{Mp})^{30}$$

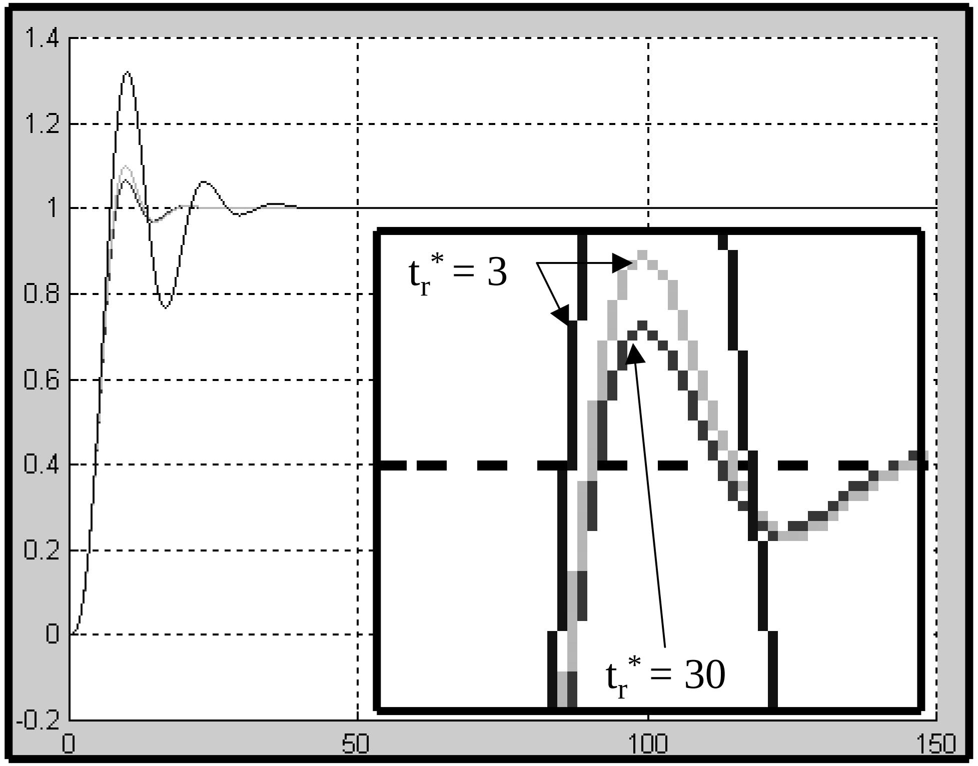
$$PF_{Mp_b} = (\text{Mp} \cdot t_{\text{Mp}})^{30}$$

$$PF_{Mp_c} = (\text{Mp} \cdot t_{\text{Mp}})^{30}$$

SignEig.

Beispiel:

zu 1. Signaleigenschaften (t_r)



Begrenzung der Anstiegszeit

$$t_r = \begin{cases} 0 & \text{für } t_r \leq t_r^* \\ t_r - t_r^* + 1 & \text{sonst} \end{cases}$$

$PF_{t_{ra}} = t_r$

$PF_{t_{rb}} = t_r$

$PF_{t_{rc}} = t_r^5$

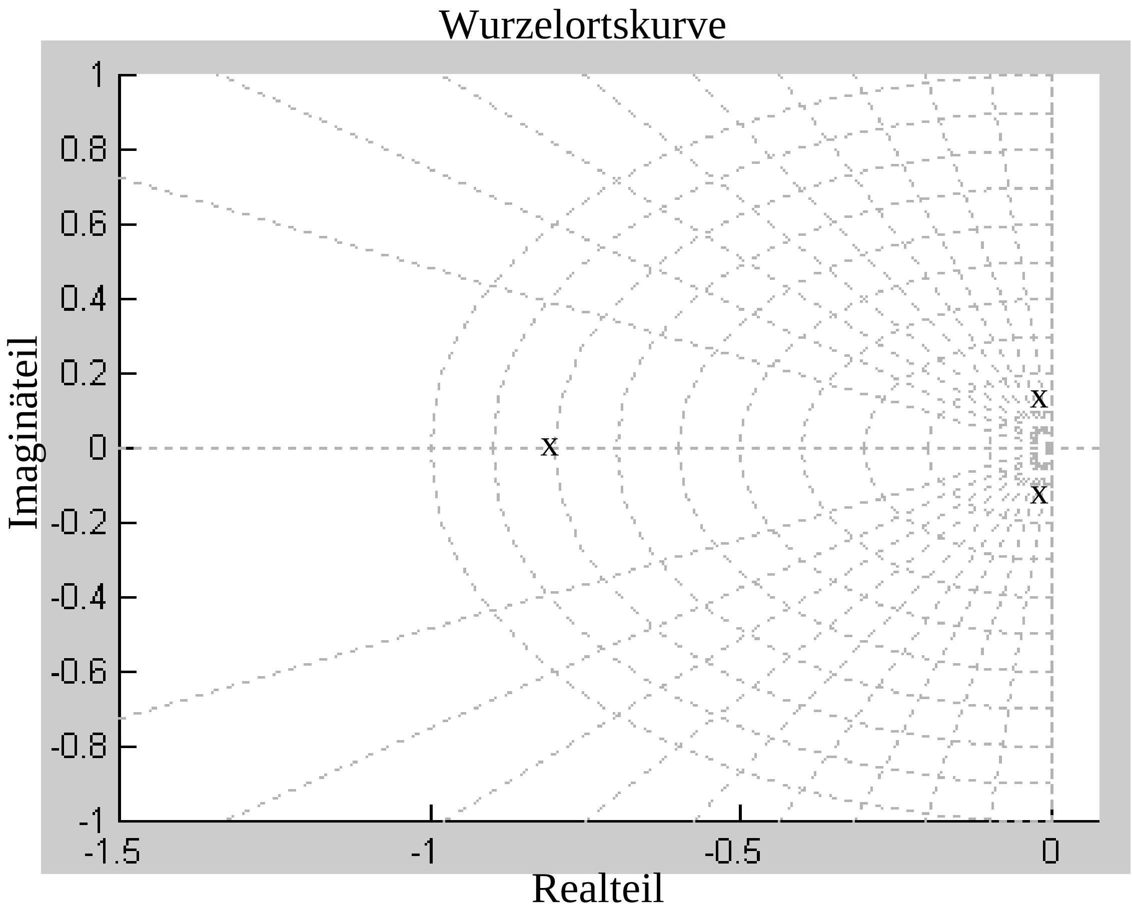
Γ-Gebiet.

Model

Imp. Resp.

Beispiel:

zu 2. Systemeigenschaften (Stabilität)



Gegeben:

X Streckenpole

-0.8165

-0.0217+0.155j

-0.0217- 0.155j

Gesucht:

X Reglerpole

O Reglernullstellen

Ergebnis:

■ Systempole

Idealer PID

Realer PID

Weiteres Vorgehen:

- Testläufe mit der Robustheitsstraffunktion für verschiedene Szenarien
  Ziel: Einfluß des Robustheitsmaßes

- Wieweit korrelieren die Signaleigenschaften (Mp, tr) mit der Lage der Pol- und Nullstellen des Systems
  Ziel: Nur ein Straffunktionsterm

- Ist eine Trennung von Robustheit der Stabilität und Robustheit des Übertragungsverhaltens notwendig
  Ziel: Nur ein Straffunktionsterm.

- Möglichkeiten der Ersetzung der Streckenlinearisierung
  Ziel: Arbeitspunktunabhängigkeit