

$D_2$ -Glieder, etc.: extreme Verstärkung der Störwelligkeit (mit  $\omega^2, \omega^3 \dots$ ); so starke Abschwächung wäre erforderlich, dass letztlich nur D-Verhalten übrig bliebe. Neben P-Glied und I-Glied nur (verzögertes) D-Glied praktisch realisierbar!

➔ realisierbare Reglerstrukturen:

**A) Regler ohne D-Anteil:**

P-Regler:  $F_R(s) = k_R$  ; I-Regler:  $F_R(s) = \frac{k_R}{s}$

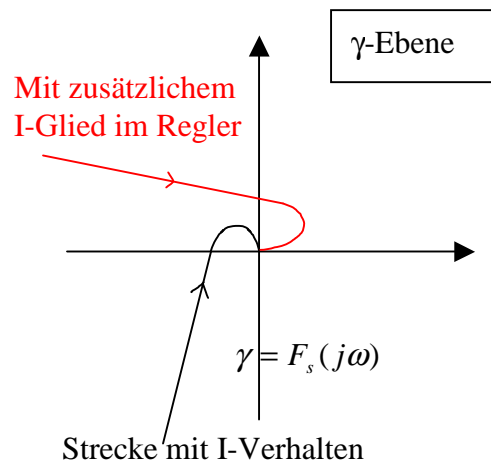
PI-Regler:  $F_R(s) = \frac{k_R}{s} \cdot (1 + T_R s) = k_R T_R + \frac{k_R}{s}$

**B) bei höheren Anforderungen an die Regelungstechnik:**

**PID- $T_1$ -Regler oder (realer) PID-Regler** , wobei  $\tau < T_{R1}, T_{R2}$

$$F_R(s) = \frac{k_R}{s} \cdot \frac{(1 + T_{R1}s)(1 + T_{R2}s)}{1 + \tau s} = k_R(T_{R1} + T_{R2} - \tau) + \frac{k_R}{s} + k_R(T_{R1} - \tau)(T_{R2} - \tau) \cdot \frac{s}{1 + \tau s}$$

(für  $\tau=0$  : idealer PID-Regler)



**PD- $T_1$ -Regler oder (realer) PD-Regler** , wobei  $\tau < T_R$

Enthält die Regelstrecke bereits ein I-Glied, dann ist der PI-, bzw. der PID-Regler nicht angebracht, da ansonsten die Stabilitätssicherung problematisch ist!

⇨ Dann:

$$F_R(s) = k_R \frac{1 + T_R s}{1 + \tau s} = k_R + k_R(T_R - \tau) \cdot \frac{s}{1 + \tau s}$$

P-Glied
DT<sub>1</sub>-Glied
(für  $\tau=0$  : idealer PD-Regler)  
(wobei  $\tau < T_R$ )

#### 4.4 Faustregeln für die Einstellung der Reglerparameter

Es gelte:  $F_S(s) = k_S \frac{(1+T_{z1}s) \cdots}{(1+T_1s)(1+T_2s) \cdots}$  mit  $T_1 > T_2 > \dots$

##### a) Wahl der Regler-Zählerzeitkonstanten

Um die größten (langsamsten) Streckenzeitkonstanten im RK unwirksam zu machen, ist deren Kompensation naheliegend, d.h. die Wahl:

- $T_R = T_1 =$  größte Streckenzeitkonstante beim PI- und PD-Regler
- $T_{R1} = T_1 =$  größte Streckenzeitkonstante ◻ beim PID-Regler
- $T_{R2} = T_2 =$  zweitgrößte Streckenzeitkonstante



Insbesondere zweckmäßig, wenn  $T_1 \gg T_2 \dots$  bzw.  $T_1, T_2 \gg T_3 \dots$



Falls  $T_1 \approx T_2, \dots$  bzw.  $T_2 \approx T_3$ , dann ist folgendes meist günstiger:

- $T_R = \sum_{i=1}^n T_i =$  Summenzeitkonstante der Strecke beim PI- und PD-Regler
- $T_{R1} = T_1$  ;  $T_{R2} = \sum_{i=2}^n T_i =$  Summenzeitkonstante der Reststrecke beim PID-Regler

##### *Hinweis:*

Kompensation nur wirksam, wenn der Störeingriff hinter den großen Streckenzeitkonstanten erfolgt. Falls nicht, dann ist Störverhalten mit nicht-kompensierenden Reglerzeitkonstanten erzielbar (siehe dazu Vorlesung „Synthese linearer Regelungen“).

##### b) Wahl der Regler-Nennerzeitkonstanten $\tau$ (beim realen PD / PID-Regler)

Damit ausgeprägtes D-Verhalten,  $\tau$  möglichst klein gegen  $T_R$  bzw.  $T_{R2}$ , nach Maßgabe der Störwelligkeit;

Normalerweise:  $\frac{1}{50} \leq \frac{\tau}{T_R \text{ bzw. } T_{R2}} \leq \frac{1}{10}$   
 bei schwächeren Störungen      bei stärkeren Störungen

##### c) Wahl der Reglerverstärkung $k_R$

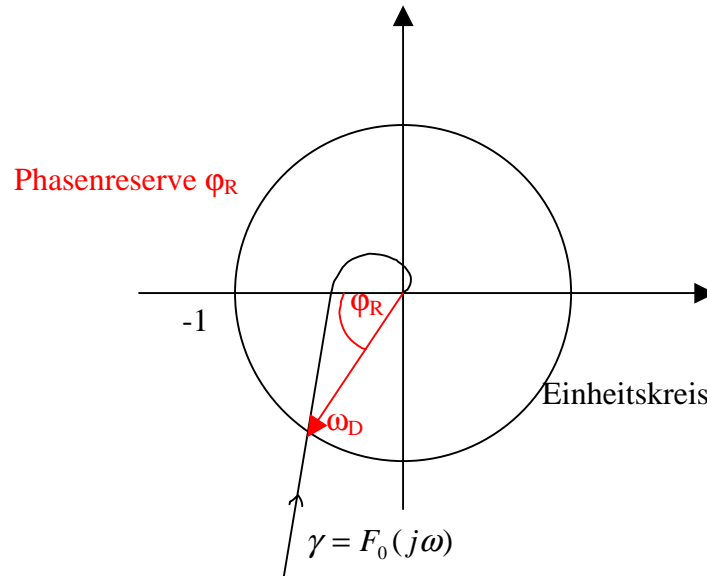
so zu wählen, dass  $V = k_R k_S < V_{krit.}$  mit genügendem Sicherheitsabstand gilt (zur Sicherung von Stabilität und ausreichender RK-Dämpfung).

- Falls  $F_0(s)$  ein Verzögerungssystem 2. Ordnung (oder als solches approximierbar) ist, dann ist der Regelkreis für alle  $V > 0$  stabil mit P-T<sub>2</sub>-Verhalten.

⇒ Bestimmung von  $V$  bzw.,  $k_R = \frac{V}{k_S}$  durch direkte Vorgabe der Dämpfung möglich.

- Ansonsten: Vorgabe der Phasenreserve  $\varphi_R$  als Maß für den Abstand von der Stabilitätsgrenze

(Voraussetzung:  $|F_0(j\omega)|$  nimmt in der Umgebung von  $\omega_D$  mindestens mit  $\frac{1}{\omega}$  ab.



Es gilt:  $\varphi_R = \arg F_0(j\omega_D) + \pi$

Richtwerte (Erfahrungswerte) für  $\varphi_R$ :

$\varphi_R =$	$70^\circ - 80^\circ$	für aperiodisches Verhalten
	$50^\circ - 70^\circ$	für mäßiges Überschwingen
	$30^\circ - 50^\circ$	für kräftiges Überschwingen (z.B. für Störungsregelung)

Plausibilität:

- $\varphi_R = 90^\circ \implies F_0$  hat in  $\omega_D$ -Umgebung I-Verhalten, d.h. der RK hat PT<sub>1</sub>-Verhalten  $\implies$  kein Überschwingen!
- $\varphi_R = 0^\circ \implies F_0$  hat in  $\omega_D$ -Umgebung Doppel-I-Verhalten, d.h. der RK hat PT<sub>2</sub>-Verhalten mit  $D=0 \implies$  Dauerschwingung!

$\implies$  Für  $0^\circ < \varphi_R < 90^\circ$  gedämpftes Einschwingverhalten, wobei Dämpfung umso größer, je größer  $\varphi_R$ .

resultierende Vorgehensweise:

1. Wahl der Phasenreserve  $\varphi_R$  (gemäß Richtwerten und RK-Anforderungen)
2. Bestimmung von  $\omega_D$  aus  $\arg F_0(j\omega) + \pi = \varphi_R$
3. Bestimmung von  $V$  aus  $|F_0(j\omega_D)| = 1 \Rightarrow k_R = \frac{V}{k_S}$