
FH Vorarlberg

Integraltransformation

Signale und Systeme

Foliensatz 5 – Steuerung vs. Regelung, PID-Regler, Synthese

Einführung

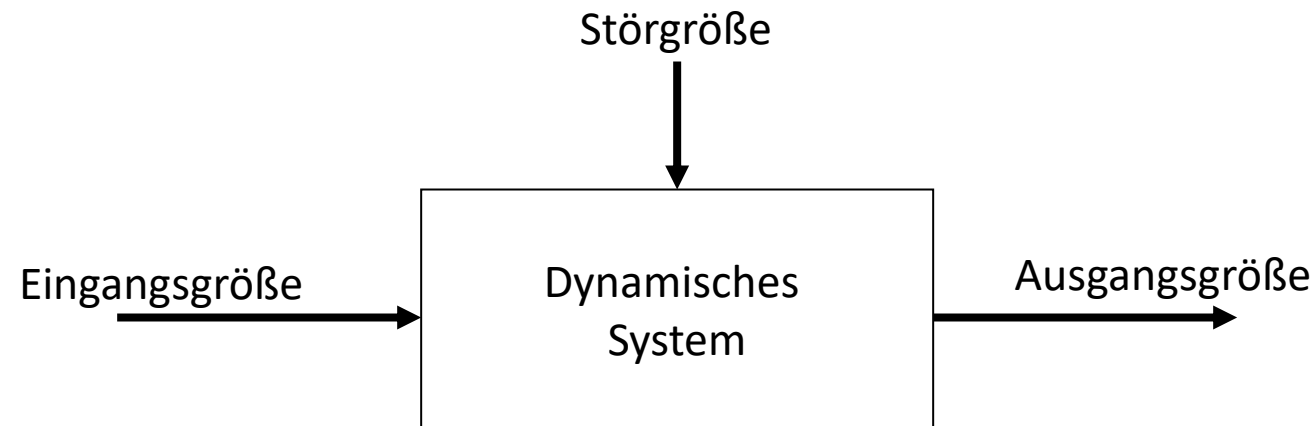
-
- Was ist Regelungstechnik?
 - Steuerung vs. Regelung — Definitionen und Begriffe
 - Wo wird die Regelungstechnik eingesetzt?
 - Was schauen wir uns alles an?
-

Regelungstechnik:

- Lehre von der gezielten Beeinflussung dynamischer Systeme

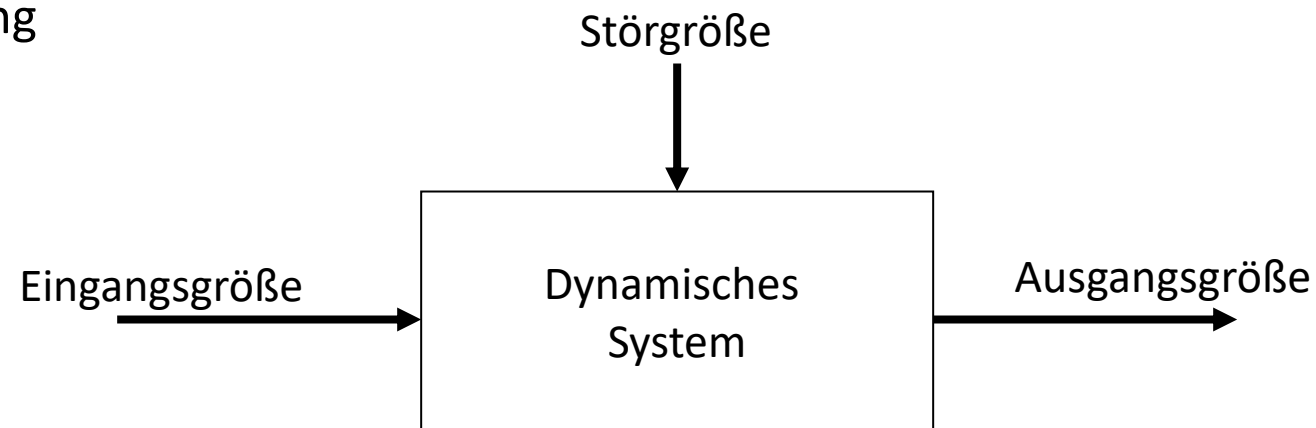
Dynamisches System:

- System, welches einer zeitlichen Änderung unterliegt



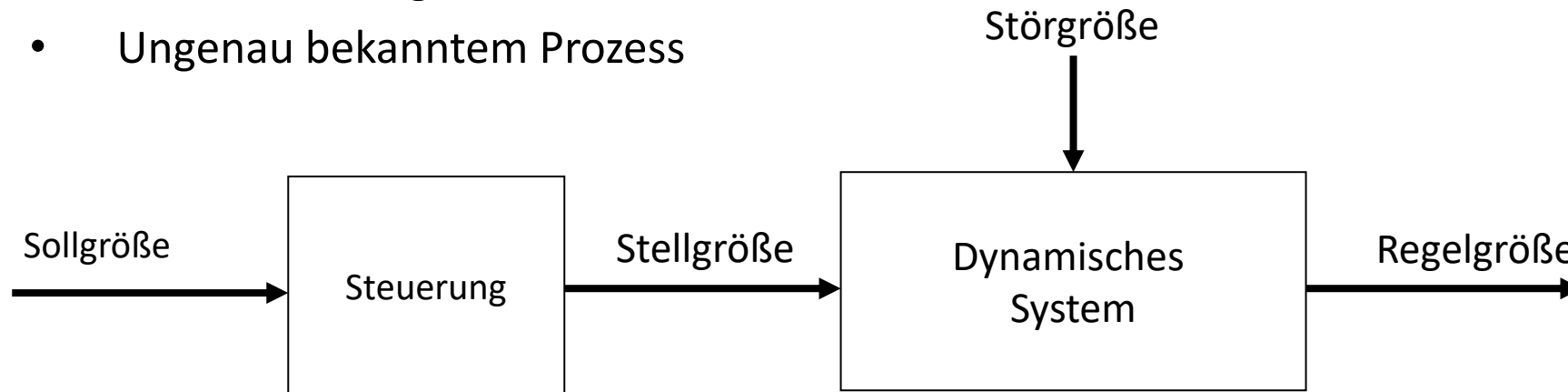
Lehre von der gezielten Beeinflussung dynamischer Systeme

- ... gezielte Beeinflussung
 - Die Regelgröße soll einen von uns bestimmten Wert annehmen
 - Beeinflussung über Stellgröße
- Zwei Möglichkeiten
 - Steuerung
 - Regelung



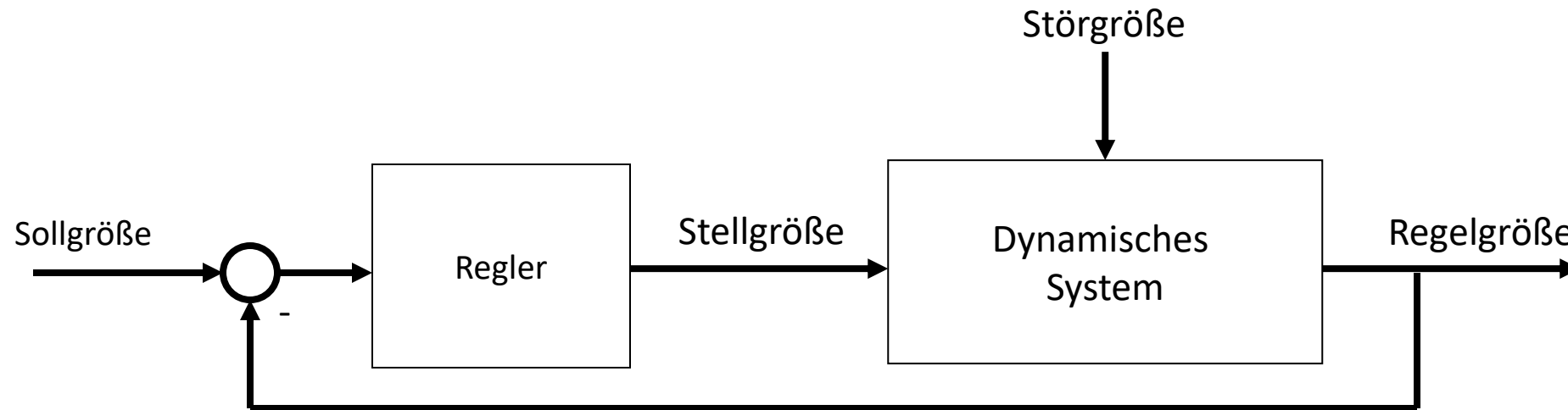
Steuerung (Open loop control)

- Steuerung wirkt auf die Stellgröße und beeinflusst damit die Regelgröße
- Nachteil: Korrektheit der Regelgröße nicht bekannt
- Probleme bei
 - Instabilität
 - Starken Störungen
 - Ungenau bekanntem Prozess



Regelung (Closed loop control)

- Regler wirkt auf die Stellgröße und beeinflusst damit die Regelgröße
- Rückführung der Regelgröße und Vergleich mit der Sollgröße
- Vorteil: Der Regler „weiß“, ob die Regelgröße den gewünschten Wert hat!



Beispiele

Regelkreis im Detail (exemplarisch)

FHV



Optionaler Inhalt

Regelstrecke: Es ist der Teil des Regelkreises, wo die zu regelnde Größe beeinflusst wird. Zur Regelstrecke gehören Stellglied, Stellort und Messort. Die Strecke endet am Messort (Messstelle), wo die Regelgröße gemessen wird.

Stellglied: Es ist eine Funktionseinheit der Regelstrecke, die sich an ihrem Eingang befindet und in den zu regelnden Masse- oder Energiefluss eingreift.

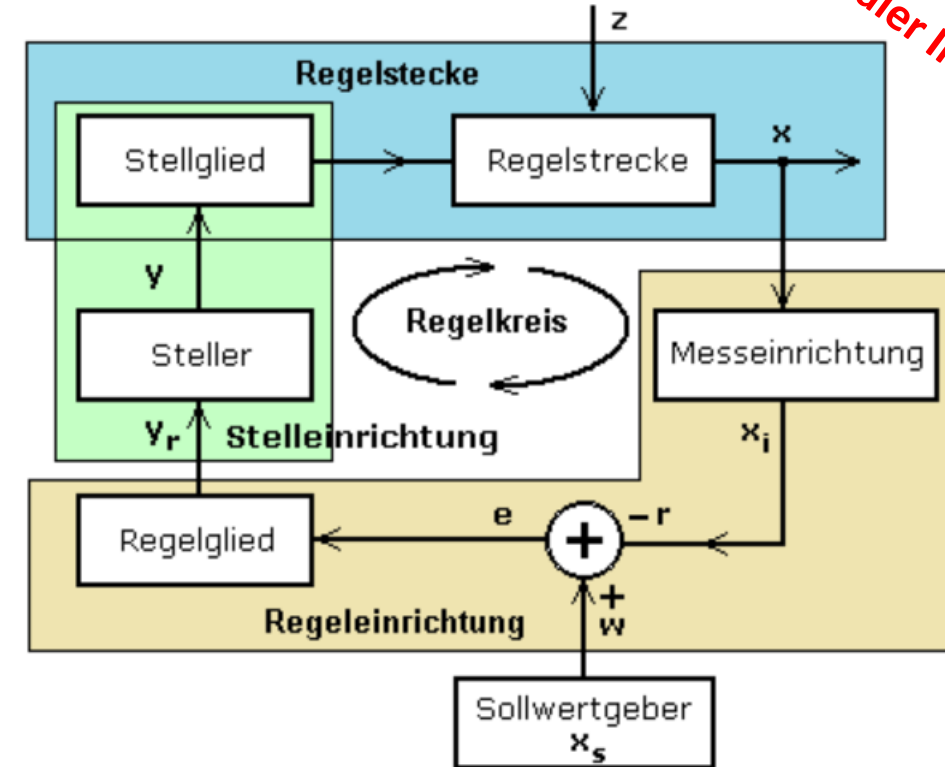
Regeleinrichtung: Die Regeleinrichtung beginnt am Messort und endet am Stellort. Die einzelnen Funktionseinheiten sind der Sollwertgeber, die Vergleichsstelle, das eigentliche Regelglied und der Steller.

Steller: Der Steller ist die ausführende Funktionseinheit der Regelung und gehört zur Regeleinrichtung. Er erhält vom Regelglied mit der Ausgangsgröße y_r des Reglers die Information wie die Regelgröße x zu beeinflussen ist und bildet als Ausgangssignal die Stellgröße y .

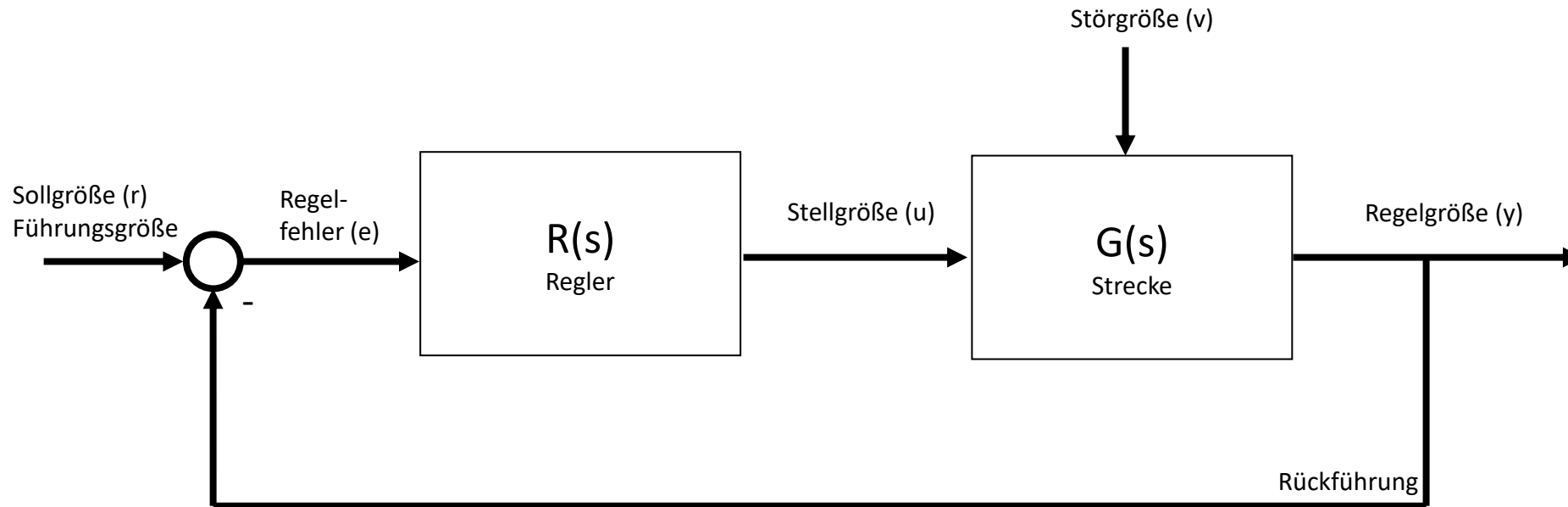
Sollwertgeber: Er wird auch als Sollwerteinsteller bezeichnet und gibt die Führungsgröße w an die Vergleichsstelle weiter.

Vergleichsglied: An der Vergleichsstelle wird aus den momentanen Messwerten der Regelgröße und der Führungsgröße die Regeldifferenz e gebildet und als Eingangswert an das Regelglied gegeben.

Regelglied: Der eigentliche Regler wertet die Regeldifferenz aus und bildet die Ausgangsgröße y_r des Reglers. Wird im Blockschaltbild der Regeleinrichtung der Steller nicht berücksichtigt, dann liefert der Regler direkt die Stellgröße y .



x	Regelgröße	e	Regeldifferenz
z	Störgröße	$e = w - r$	
r	Rückführgröße	y	Stellgröße
w	Führungsgröße	x_i	Istwert
		x_s	Sollwert



„Die Regelung ist ein Vorgang, bei dem fortlaufend eine variable Größe, die Regelgröße (zu regelnde Größe), erfasst, mit einer anderen variablen Größe (Führungsgröße) verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird.“

Kennzeichen für das Regeln ist der geschlossene Wirkungsablauf, bei dem die Regelgröße im Wirkungsweg des Regelkreises fortlaufend sich selbst beeinflusst.“

Unterscheidungen

- Stetige Regelung vs. unstetige Regelung
 - Festwertregelung
 - Folgeregelung
 - Zeitplanregelung

1. System modellieren / Strecke beschreiben
2. Regler auswählen und auslegen
3. Offenes System betrachten
4. Geschlossenes System betrachten
 - Ist das System stabil und regelbar
 - Regler optimieren (Regelabweichung, Einschwingverhalten, ...)
5. Regler am realen System testen und optimieren

PID Regler

- PID-Charakteristik:
 - Verstärkender/proportionaler P-Anteil
 - Integrierenden I-Anteil
 - Differenzierenden D-Anteil
- Parameter
 - K_P , K_I und K_D bzw. K_P , T_N und T_V

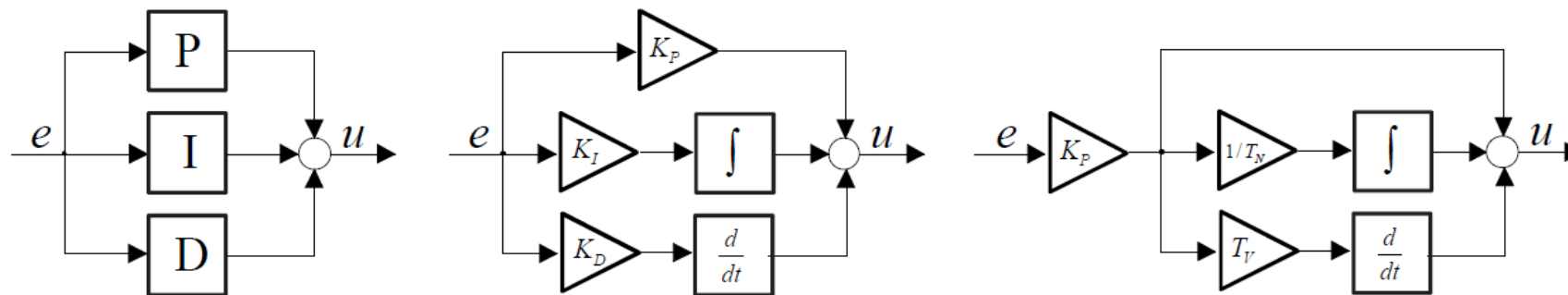
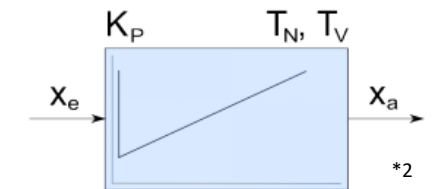
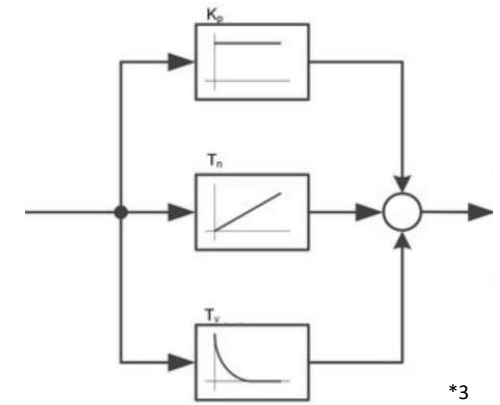


Bild 5.1: Parallelrealisierung eines PID-Reglers

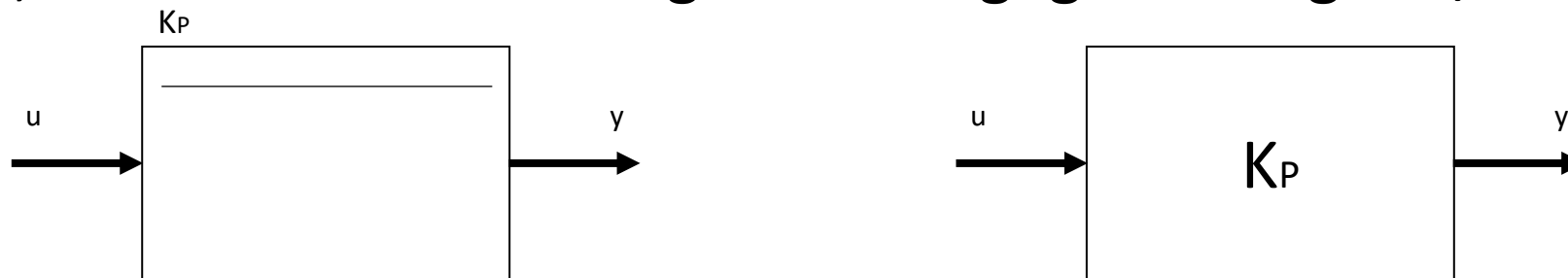
*1

*1: Regelungstechnik 1, Institut für Regelungs- und Automatisierungstechnik, TU-Graz, 2020, S.82

*2: <https://ibkastl.de/wiki/PID-Glied>; *3: https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/tcba/html/plc/lib/FB_BA_PIDCtrl.htm&id=

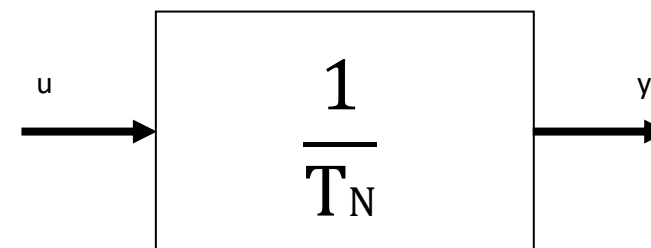
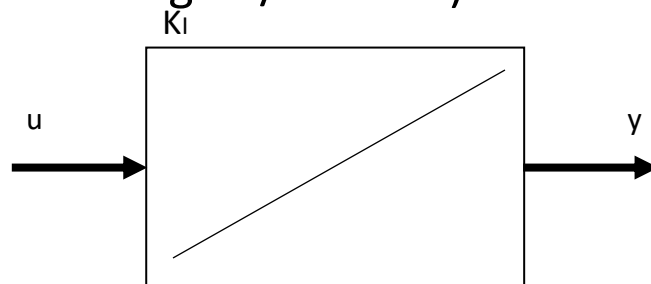
P-Regler

- Hauptregler des PID
- Abweichung Soll-Ist multipliziert mit K_P
 - $\text{Out} = (\text{Soll} - \text{Ist}) * K_P$
- Sofortige Reaktion auf Änderung
- Wenn zu groß eingestellt: destabilisierende Wirkung
(überschwingend / instabil)
- Was ist, wenn die Abweichung Soll – Ist gegen Null geht / Null ist?



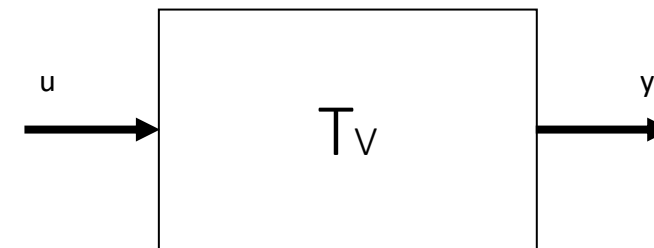
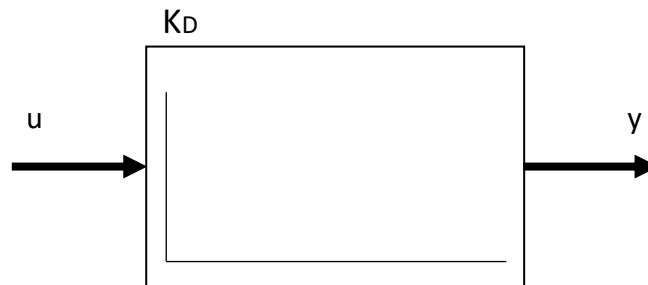
I-Regler

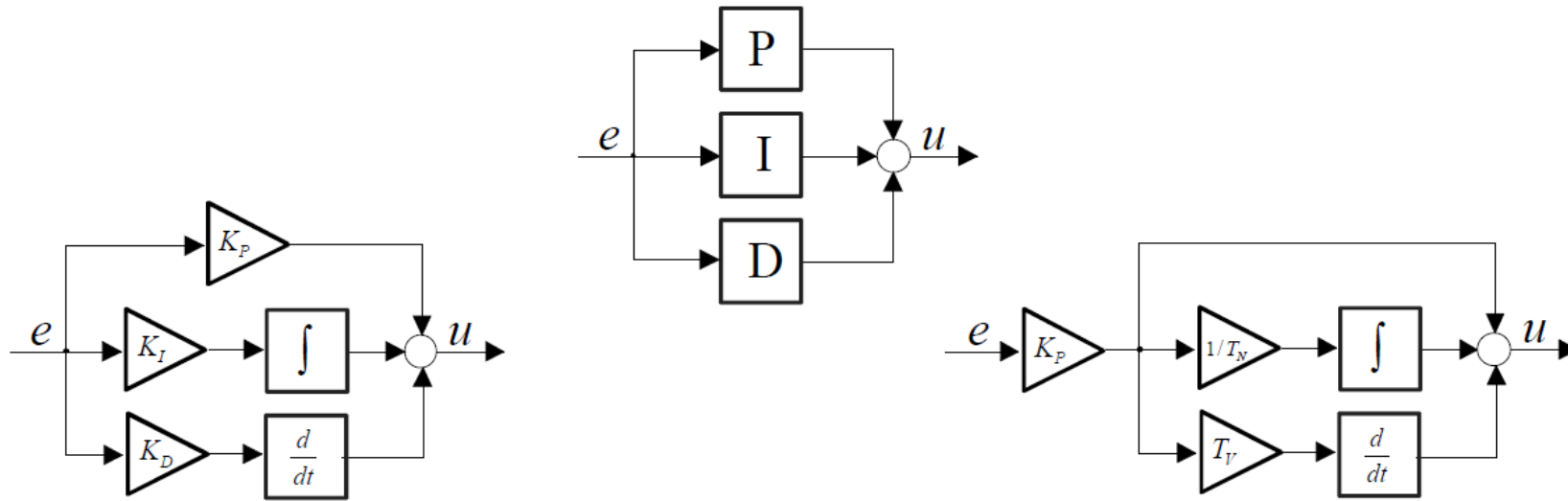
- Abweichung Soll-Ist wird „aufaddiert“
- Wirkt auf kleinste Abweichungen von Soll - Ist
- „Reagiert auf die Vergangenheit“
- Langsames und langfristiges Verhalten
- Wirkt destabilisierend, wenn zu groß eingestellt
(Überschwingen / instabil)



D-Regler

- „Blick in die Zukunft“ – mit sofortiger Gegenmaßnahme
- Reagiert
 - auf die Änderung(!) von Soll – Ist
 - bereits bevor die Regelabweichung groß ist entgegen dem Anwachsen
 - schnell und beschleunigt somit den Regelkreis
- Verhalten bei trägem Prozess oder Rauschen am Eingang?





$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

$$u(t) = K_P \left[e(t) + \frac{1}{T_N} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_V \frac{de(t)}{dt} \right]$$

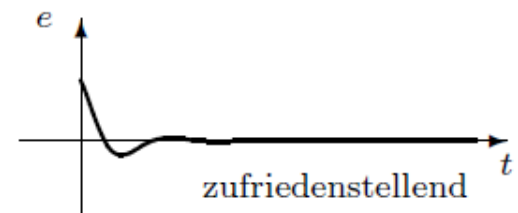
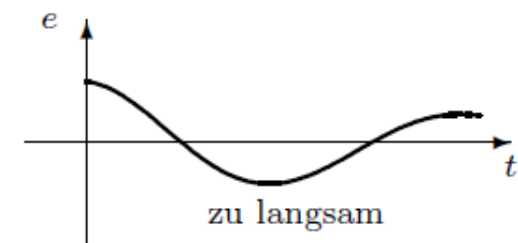
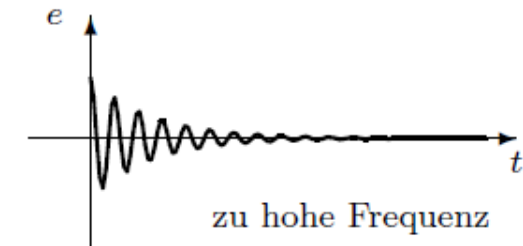
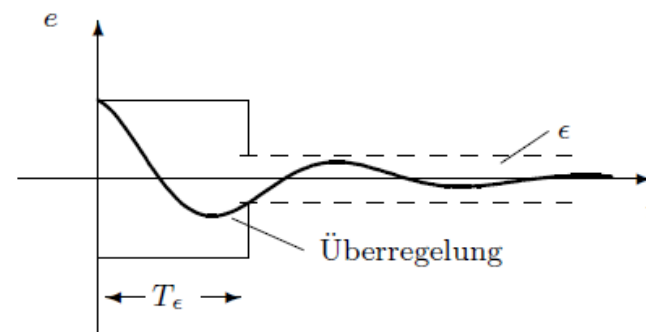
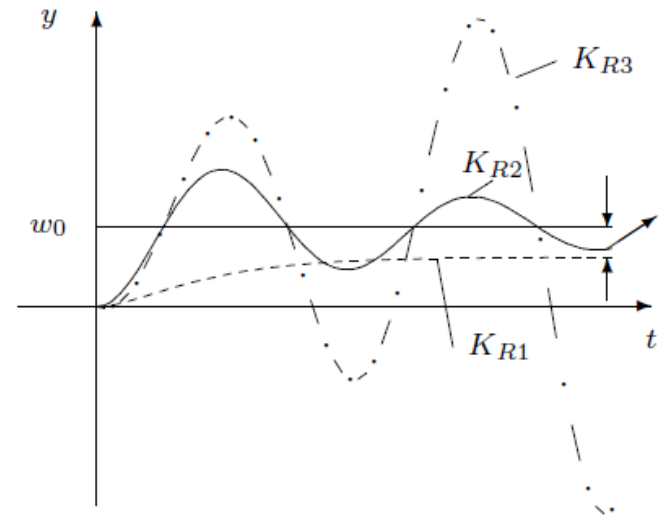
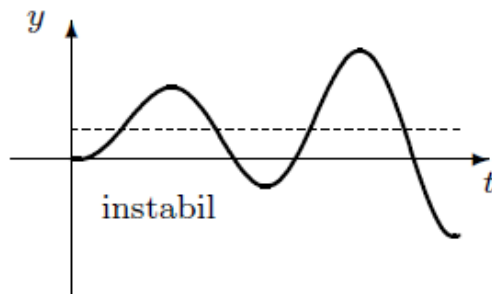
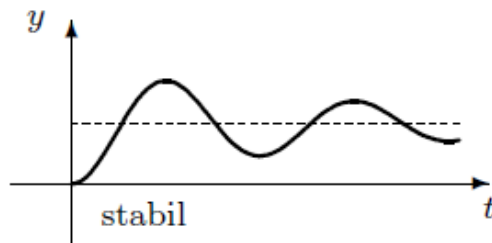
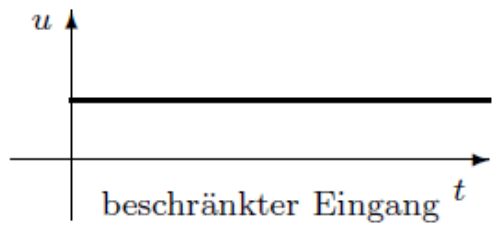
Reglertyp	K_P	K_I	K_D	K_P	T_N	T_V
P-Regler	*	0	0	*	∞	0
PI-Regler	*	*	0	*	*	0
PD-Regler	*	0	*	*	∞	*
PID-Regler	*	*	*	*	*	*

$$K_I = \frac{K_P}{T_N}$$

$$K_D = K_P T_V$$

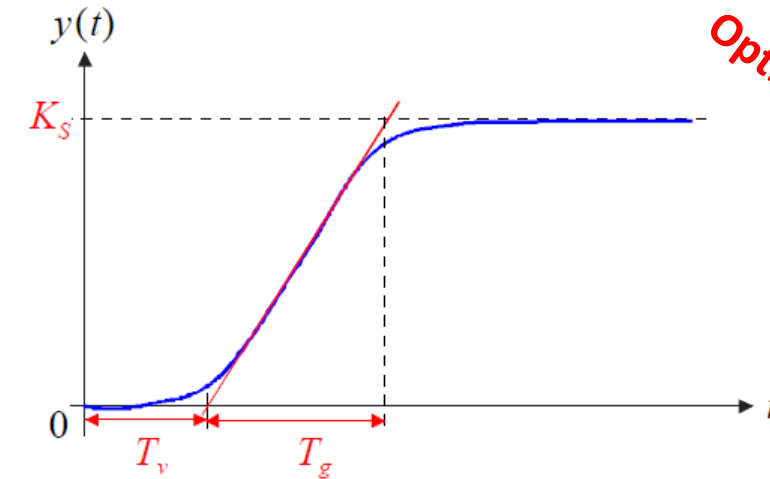
Synthese

-
- Analyse
 - Strecke und Regler sind gegeben
 - Überprüfung Stabilität und Regelgüte
 - Synthese
 - Strecke ist gegeben
 - Regler wird für geforderte Stabilität und Regelgüte ausgelegt



-
- Synthese
 - Zeitbereich
 - empirisch (Probiermethode)
 - auf Basis von Einstellregeln, z.B.:
 - Wendetangenten-Methode nach Ziegler-Nichols (Open-Loop-Method)
 - Methode der Summenzeitkonstante / T-Summenregel (Open-Loop)
 - Stabilitätsrandmethode nach Ziegler-Nichols (Closed-Loop)
 - Frequenzbereich
 - Frequenzkennlinienverfahren / Loop Shaping
 - Wurzelortskurvenverfahren
 - Betragsoptimum
 - etc.
-

- Sprungantwort der offenen Strecke muss bekannt sein oder gefahrenlos(!) experimentell ermittelt werden können
- Wendetangente in Sprungantwort einzeichnen
- Auslesen
 - Streckenverstärkung K_S
 - Verzugszeit T_v
 - Ausgleichszeit T_g
- Regelparameter mit Hilfe der Tabelle berechnen
- Liefert i.d.R. schwach gedämpfte Regelverhalten



Reglertyp	K_P	T_N	T_V
P-Regler	$\frac{T_g}{K_S T_v}$	∞	0
PI-Regler	$0.9 \frac{T_g}{K_S T_v}$	$3.33 T_v$	0
PID-Regler	$1.2 \frac{T_g}{K_S T_v}$	$2 T_v$	$0.5 T_v$

- Sprungantwort der offenen Strecke muss bekannt sein oder gefahrenlos(!) experimentell ermittelt werden können

=> Flächen zu gleichen Teilen aufteilen und

- Streckenverstärkung K_S
- Summenzeitkonstante T_Σ

auslesen

- Alternativ analytische Ermittlung aus gegebener Übertragungsfunktion

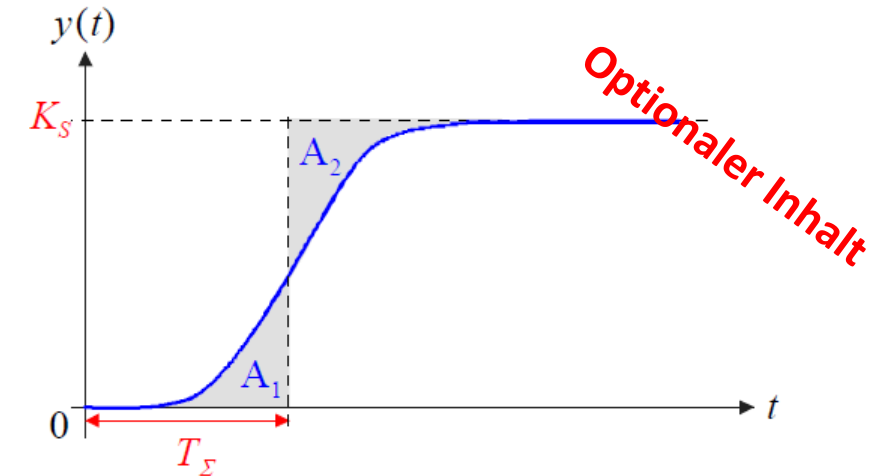
- Übertragungsfunktion in Normalform bringen

$$G(s) = K_S \frac{(1 + T_{D,1}s)(1 + T_{D,2}s) \dots (1 + T_{D,m}s)}{(1 + T_1s)(1 + T_2s) \dots (1 + T_ns)} e^{-sT_t}$$

- Streckenverstärkung K_S ablesen
- Summenzeitkonstante T_Σ berechnen

$$T_\Sigma = T_1 + T_2 + \dots + T_n - T_{D,1} - T_{D,2} - \dots - T_{D,m} + T_t$$

- Regelparameter mit Hilfe der Tabelle berechnen
- Auch für stark verrauschte Sprungantwort geeignet



Reglertyp	K_P	T_N	T_V
P-Regler	$\frac{1}{K_S}$	∞	0
PI-Regler	$\frac{1}{2 K_S}$	$0.5 T_\Sigma$	0
PD-Regler	$\frac{1}{K_S}$	∞	$0.33 T_\Sigma$
PID-Regler	$\frac{1}{K_S}$	$0.66 T_\Sigma$	$0.17 T_\Sigma$

- Streckeninformationen werden aus dem dynamischen Verhalten des geschlossenen Regelkreises ermittelt
- Vorgehensweise
 - Zur Ermittlung nur P-Regler verwenden
 - P-Regler erhöhen, bis System mit ungedämpfter Schwingung auf Sprungantwort reagiert (Stabilitätsrand)
 - Kritische Periodendauer T_k auslesen
 - Kritische Verstärkung K_k auslesen
- Regelparameter mit Hilfe der Tabelle berechnen

ACHTUNG: Der Regelkreis muss gefahrlos in Schwingung gebracht werden dürfen!

Reglertyp	K_P	T_N	T_V
P-Regler	$0.5 K_k$	∞	0
PI-Regler	$0.4 K_k$	$0.8 T_k$	0
PID-Regler	$0.6 K_k$	$0.5 T_k$	$0.12 T_k$

Optionaler Inhalt

Gegeben sei die Übertragungsfunktion

$$G(s) = \frac{1}{(s + 3)^3}$$

Entwerfen Sie für diese Strecke einen P / PI / PID - Regler mit Hilfe der

1. open-loop-method nach Ziegler-Nichols,
2. closed-loop-method nach Ziegler-Nichols,
3. T-Summen Regel

Vergleichen Sie die ermittelten PID - Regler für die Führungsgrößen

$$r(t) = \sigma(t) \quad \text{und} \quad r(t) = \begin{cases} t & t = 0, \dots, 10 \\ 10 & t > 10 \end{cases}$$

Optionaler Inhalt