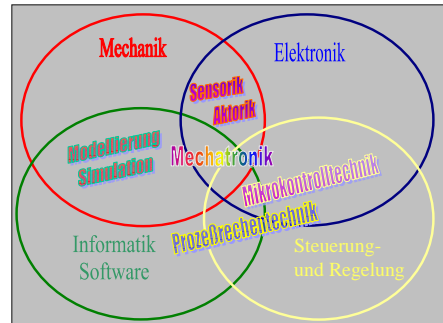




Fachbereich 2 Ingenieurwissenschaften II

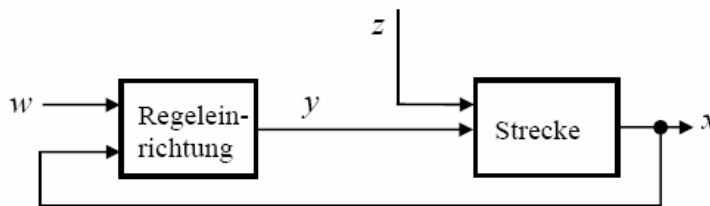
**Labor Mechatronik**



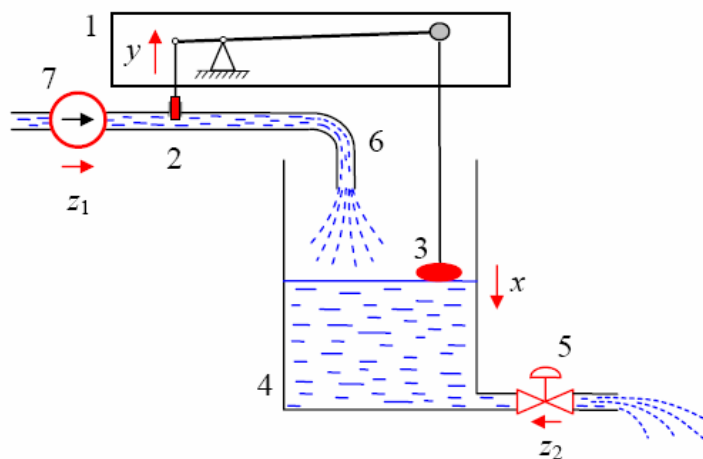
Lehrgebiet: Mechatronik

# Versuchsanleitung

## Versuch B\_MV\_5 Regelkreis mit analogen Reglern



*Wirkungsplan einer Regelung  
(geschlossener Wirkungsablauf → Regel-Kreis)*



*Flüssigkeitsstand-Regelung*

- |             |                 |                       |
|-------------|-----------------|-----------------------|
| 1 Regler    | 5 Absperrventil | $x$ Regelgröße        |
| 2 Schieber  | 6 Zulauf        | $y$ Stellgröße        |
| 3 Schwimmer | 7 Pumpe         | $z_1, z_2$ Störgrößen |
| 4 Behälter  |                 |                       |

## ***1. Versuchsgegenstand – Versuchsziel***

Ziel des Versuches ist es die Eigenschaften eines Regelkreises mit analogen Reglern zu untersuchen, die Vor- und Nachteile verschiedener Regler bei Strecken mit und ohne Ausgleich kennen zu lernen und Möglichkeiten der Verbesserung des Regelverhaltens durch Optimierung der Einstellwerte zu zeigen.

## ***2. Literatur***

- [1] Kaspers, W.; Küfner, H.-J.; Heinrich, B.: Messen, Steuern, Regeln, Vieweg, Braunschweig 2002
- [2] Jaschek, H. ; Schwinn, W.: Grundkurs der Regelungstechnik, Oldenbourg Verlag, München 1990
- [3] Philippsen, H.-W.: Einstieg in die Regelungstechnik, Hanser Verlag, München 2004
- [4] Reuter, M.; Zacher, S.: Regelungstechnik für Ingenieure, Vieweg, Braunschweig 2002

## ***3. Versuchsvorbereitung - Kontrollfragen***

- 3.1. Erläutern sie die Funktionsweise analoger Regler mit Hilfe der Darstellungen auf den Titelblatt.
- 3.2. Welche Parameter beeinflussen das Regelverhalten? Welche Vor- und Nachteile haben die klassischen analogen Regler (P; PI; PD, PID)?
- 3.3 Wie wird die Güte des Einschwingens von Regelkreisen bewertet, was bedeutet der Begriff Regelbarkeit von Regelstrecken?
- 3.4 Was bewirken die P; I und D Anteile eines PID Reglers?
- 3.5 Nennen Sie Beispiele für den Einsatz von analogen Regelungen!
- 3.6 Zeichnen Sie einen Signalflussplan für die verwendeten Regelkreise!
- 3.7 Welche Regler eignen sich für die ausgewählten Regelstrecken besonders gut?

## 4. Versuchsdurchführung – Hinweise zur Versuchsauswertung

### 4.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist auf den nachstehenden Abbildungen dargestellt.

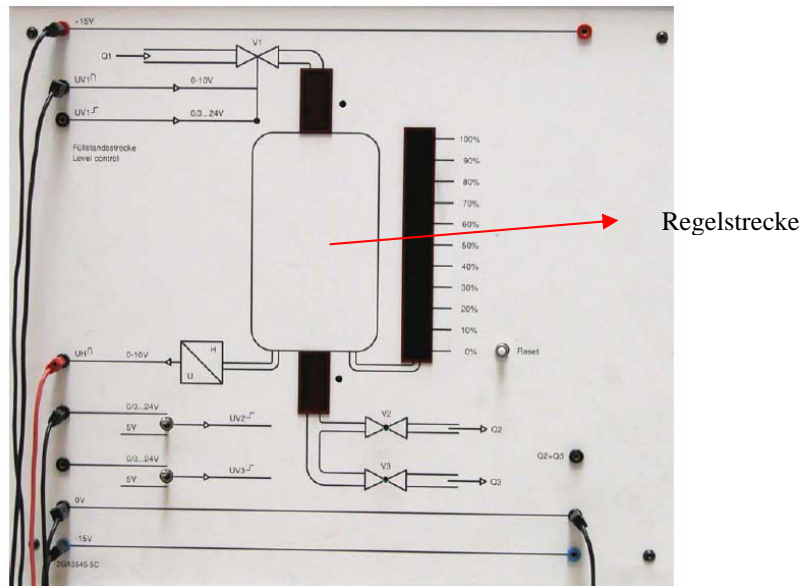


Bild 1 Versuchsaufbau A) mit physischer Modellregelstrecke

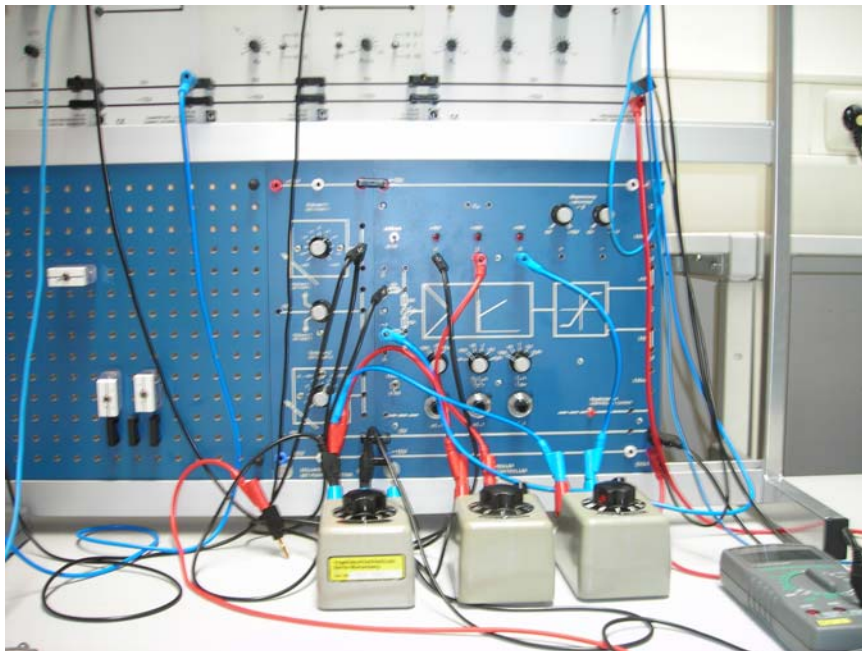


Bild 2 Prinzipdarstellung des Versuchsaufbaus B) mit elektronischer Modellregelstrecke

## 4.2 Versuchsdurchführung

### Arbeitsplatz A)

An einer Modellregelstrecke (siehe Bild) ist das statische und dynamische Verhalten zu untersuchen. Praktisches Beispiel ist ein Abwasserbecken, bei dem die sich ändernden Zuflüsse als Störgröße auftreten. Realisierung des Reglers siehe Anlagen.

Ermitteln Sie die Kennlinien (Sprungantwort) der Regelstrecke für verschiedene Einstellungen der Ventile und realisieren Sie dann die Regelung mit unterschiedlichen Reglern nach dem folgenden Ablauf:

Für die folgenden Regelkreisvarianten sind die Antwortfunktionen auf eine sprungförmige Änderung der Führungsgröße  $w$  aufzunehmen.

Wählen Sie geeignete Parameterkombinationen für die folgenden Aufgaben selbst aus!

1 Nehmen Sie für 3 verschiedene Einstellungen des Zulaufventils (V1) die Übergangsfunktion für die Stellung der Ablaufventile: 1. V2 und V3 geschlossen und 2. V2 geöffnet auf. Bestimmen Sie die Kennwerte der Regelstrecke.

#### 2 Führungsverhalten

Untersuchen Sie die geschlossenen Regelkreise jeweils unter Verwendung eines P-, PI- und PID-Reglers. Variieren Sie dabei die Reglerparameter  $K_p$ ,  $T_n$  und  $T_v$ .

Ermitteln Sie die optimalen Parameter für die Einstellung der Regelkreise! Ermitteln Sie die Größe der bleibenden Regelabweichungen.

#### 3 Störverhalten

Simulieren Sie Störgrößen, indem Sie einmal den Zufluss für einige Sekunden schließen und zum anderen ein zweites Abflussventil öffnen.

Die Untersuchungen sind wie unter 3.2.2 durchzuführen.

### Anmerkung:

Bestimmen Sie zunächst aus der Sprungantwort der Regelstrecke den Typ der Strecke und die für die Einstellung der Regler notwendigen Einstellwerte.

Nutzen Sie dazu die beigefügten Anlagen.

Hinweise zur Einstellung der Reglerkennwerte gibt der Versuchsbetreuer.

Erläutern und diskutieren Sie im Protokoll Ihre Versuchsergebnisse!

**Arbeitsplatz B)****Aufgabe 1** Aufnahme der Sprungantworten der Regelstrecken

## 1. PT2 Strecke

Konfigurieren Sie am oberen Teil der Versuchseinrichtung eine PT2 Strecke mit den Parametern:

|                 |                  |                                |                    |
|-----------------|------------------|--------------------------------|--------------------|
| Regelstrecke:   | $K_s=1,5$        | $T_1= 20 \text{ s}$            | $T_2= 5 \text{ s}$ |
| Eingangssprung: | $X_e= 5\text{V}$ | Sollwertpotentiometer 1 (MG_1) |                    |

Nehmen Sie die Sprungantwort mit Hilfe einer Stoppuhr und den Werten von MG\_2 auf und stellen Sie sie graphisch dar. Aus der Graphik sind alle relevanten Parameter zur Ableitung der Reglereinstellwerte abzuleiten. Nutzen Sie dazu die Anlagen.

Anmerkung: Messwerte bis 1 min alle 5 s, dann alle 10 s erfassen!

## 2. IT1 Strecke

Konfigurieren Sie am oberen Teil der Versuchseinrichtung eine IT1 Strecke mit den Parametern:

|                 |                  |                                |                    |
|-----------------|------------------|--------------------------------|--------------------|
| Regelstrecke:   | $K_s=0,2$        | $T_s= 20 \text{ s}$            | $T_I= 5 \text{ s}$ |
| Eingangssprung: | $X_e= 1\text{V}$ | Sollwertpotentiometer 1 (MG_1) |                    |

Nehmen Sie die Sprungantwort mit Hilfe einer Stoppuhr und den Werten von MG\_2 auf und stellen Sie sie graphisch dar. Aus der Graphik sind alle relevanten Parameter zur Ableitung der Reglereinstellwerte abzuleiten. Nutzen Sie dazu die Anlagen.

**Aufgabe 2** Regelung der PT2 Strecke mit einem P Regler

Stellen Sie jetzt einen Sollwert von  $W= 3 \text{ V}$  ein Sollwertpotentiometer 1 (MG\_1)

Nehmen Sie die Sprungantworten für folgende Einstellwerte eines P-Reglers auf:

- a)  $K_p= 1,0$        $K_p=10$        $K_p=30$
- b)  $K_p$  optimal für Führung und bei aperiodischem Verlauf und bei Überschwingen  
Nutzen Sie dazu die Anlagen.

Diskutieren Sie den Einschwingprozess und vergleichen Sie die Regelabweichung.

**Aufgabe 3** Regelung der IT1 Strecke mit einem P-Regler; PI-Regler und PD-Regler

Stellen Sie nacheinander die ermittelten Werte für die P; I und D –Anteile der Regler am unteren Teil des Versuchsstandes ein. Ermitteln Sie zunächst den Wert für KI, der Einstellwert für den P und D Anteil ergibt sich dann aus der Anlage 3.zu:

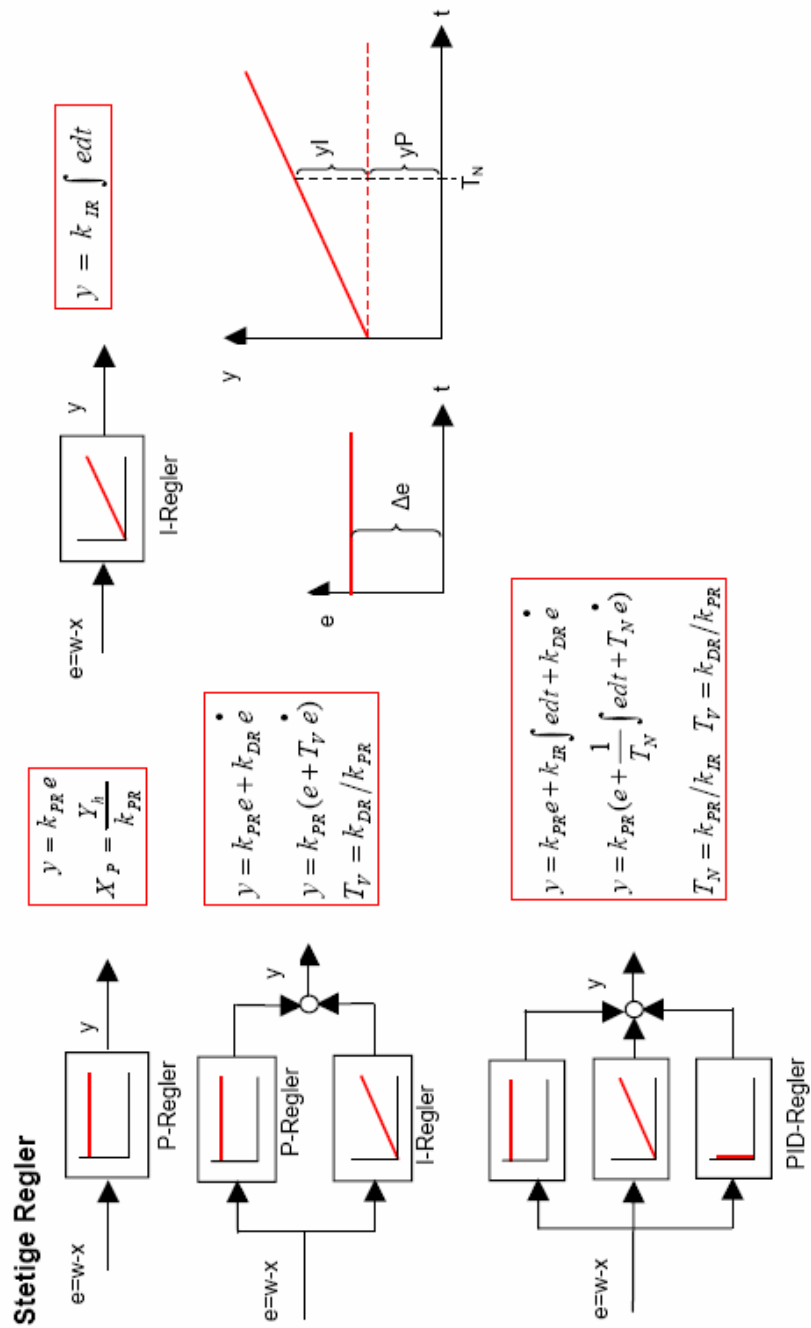
Stellen Sie wieder einen Sollwert von  $W= 3 \text{ V}$  ein Sollwertpotentiometer 1 (MG\_1)

Nehmen Sie die Sprungantworten für die ermittelten Einstellwerte auf

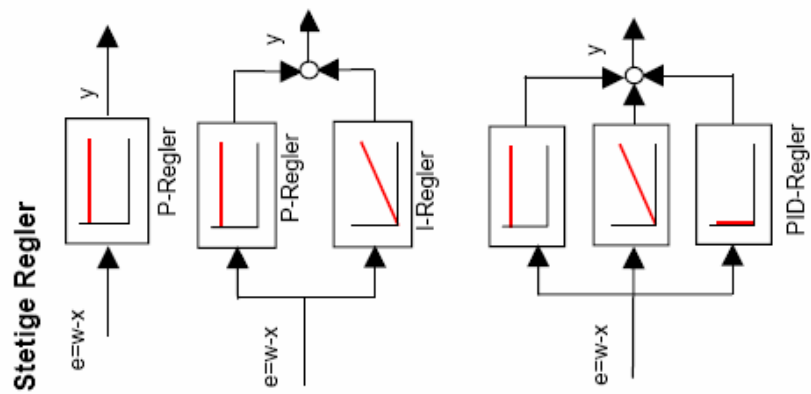
(Stoppuhr und Werte von MG\_2)

Diskutieren Sie den Einschwingprozess und vergleichen Sie die Regelabweichung.

Anlage 1:

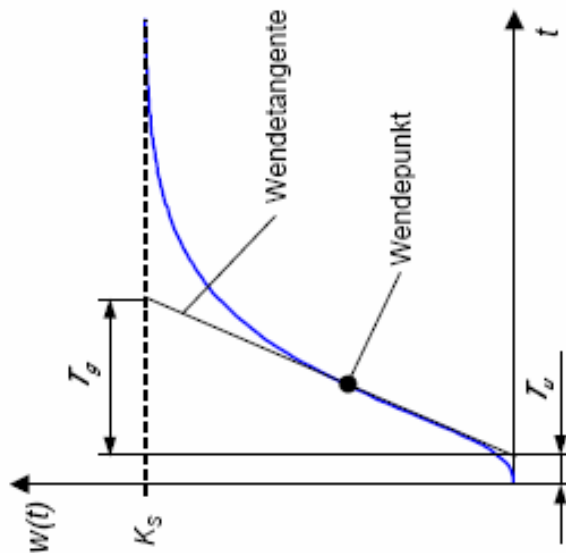


Anlage 2



**Strecken mit Ausgleich**

**Ermittlung von  $T_u$  und  $T_g$  aus der Sprungantwort einer Strecke mit Ausgleich**

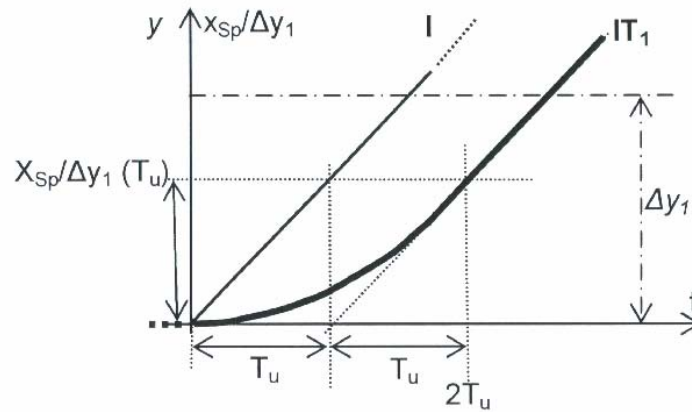


| Regler-<br>typ | mit Überschwängen                           |  | ohne Überschwängen                           |  |
|----------------|---|--|--|--|
|                | Störung                                     | Führung                                      | Störung                                      | Führung                                      |
| P              | $K_P = \frac{0.7 \cdot T_g}{K_S \cdot T_u}$ | $K_P = \frac{0.7 \cdot T_g}{K_S \cdot T_u}$  | $K_P = \frac{0.3 \cdot T_g}{K_S \cdot T_u}$  | $K_P = \frac{0.3 \cdot T_g}{K_S \cdot T_u}$  |
| PI             | $K_P = \frac{0.7 \cdot T_g}{K_S \cdot T_u}$ | $K_P = \frac{0.6 \cdot T_g}{K_S \cdot T_u}$  | $K_P = \frac{0.6 \cdot T_g}{K_S \cdot T_u}$  | $K_P = \frac{0.35 \cdot T_g}{K_S \cdot T_u}$ |
|                | $T_N = 2.3 \cdot T_u$                       | $T_N = T_g$                                  | $T_N = 4 \cdot T_u$                          | $T_N = 1.2 \cdot T_g$                        |
| PID            | $K_P = \frac{1.2 \cdot T_g}{K_S \cdot T_u}$ | $K_P = \frac{0.95 \cdot T_g}{K_S \cdot T_u}$ | $K_P = \frac{0.95 \cdot T_g}{K_S \cdot T_u}$ | $K_P = \frac{0.6 \cdot T_g}{K_S \cdot T_u}$  |
|                | $T_N = 2 \cdot T_u$                         | $T_N = 1.35 \cdot T_g$                       | $T_N = 2.4 \cdot T_u$                        | $T_N = T_g$                                  |
|                | $T_V = 0.42 \cdot T_u$                      | $T_V = 0.47 \cdot T_u$                       | $T_V = 0.42 \cdot T_u$                       | $T_V = 0.5 \cdot T_u$                        |

**Anlage 3**

**Strecken ohne Ausgleich**

Ermittlung der Streckenparameter



$$x_{sp}(t) = \Delta Y_1 \cdot \frac{K_S}{T_i} \cdot t = \Delta Y_1 \cdot K_I \cdot t$$

Einstellregeln für Regler mit Regelstrecken ohne Ausgleich aus der Sprungantwort

Reglereinstellung für Strecken ohne Ausgleich

| Regler | $K_{PR}$                                | $T_N$           | $T_V$           |
|--------|---|-----------------|-----------------|
| P      | $0,5 \cdot \frac{1}{K_{PS} \cdot T_u}$  |                 |                 |
| PD     | $0,5 \cdot \frac{1}{K_{PS} \cdot T_u}$  |                 | $0,5 \cdot T_u$ |
| PI     | $0,42 \cdot \frac{1}{K_{PS} \cdot T_u}$ | $5,8 \cdot T_u$ |                 |
| PID    | $0,4 \cdot \frac{1}{K_{PS} \cdot T_u}$  | $3,2 \cdot T_u$ | $0,8 \cdot T_u$ |



**Anlage 4**

Falls bei der Streckenmessung ein fast reines PT1 rauskommt, gibt es Probleme mit den Formeln für die Einstellregeln, da diese bei einer Ersatztotzeit:  $=0$  unendlich für die Parameter  $K_p$  und  $K_i=1/T_n$  ergeben.

Eine sehr kleine Totzeit löst das Problem auch nicht, da der resultierende Regelkreis nach Ziegler-Nichols in dem Fall stark schwingt.

Abhilfe, wenn  $T_t$  weniger als 1% von  $T$  ausmacht, schaffen die folgenden Einstellregeln für einen PI-Regler (nach Elmenreich 😊)

$$K_p = T / (T_t * K_s) \text{ bzw. } K_p = 10 * M / K_s \text{ wenn } T_t = 0$$

$M$  ist in diesem Fall der maximale Wert, den die Regelgröße annehmen kann

$$1/T_n = 1.2 / (K_p K_s T)$$

Der Regler hat, wie gewohnt, folgende Übertragungsfunktion:

$$G(s) = K_p (1 + 1/(T_n s))$$

**„Empirische Optimierung PID Regler“**

- Abwechselndes Erhöhen  $\uparrow$   $K_P$  und  $K_D$ :
  - $K_P \uparrow$  bis Überschwingung  $\rightarrow$   $K_D \uparrow$  bis Überschwingung weg
  - Wiederholen bis Grenze erreicht (durch Störungen, Quantisierung etc.)
- Reduktion  $\downarrow$   $K_P$  und  $K_D$  (z.B. 50%), Erhöhen  $\uparrow$   $K_I$ :
  - Optimierung bis gewünschtes Verhalten erreicht (Überschwingung  $\leftrightarrow$  Ausregelzeit)
- Feinjustierung der Parameter (Beachten Hilfestellungen)

**Anlage 4 Regelbarkeit von Strecken**

| $S = T_u / T_g$ | Regelbarkeit | geeignete Regler                         |
|-----------------|--------------|--|
| 0,1             | leicht       | Zweipunkt-, Dreipunkt-Regler, P, PI, PID |
| 0,2             | mittel       | PI, PID                                  |
| 0,3             | schwierig    | PI, PID, Kaskadenregelung, ...           |