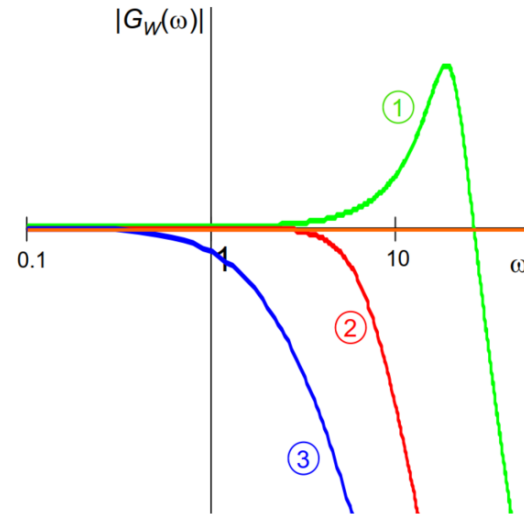
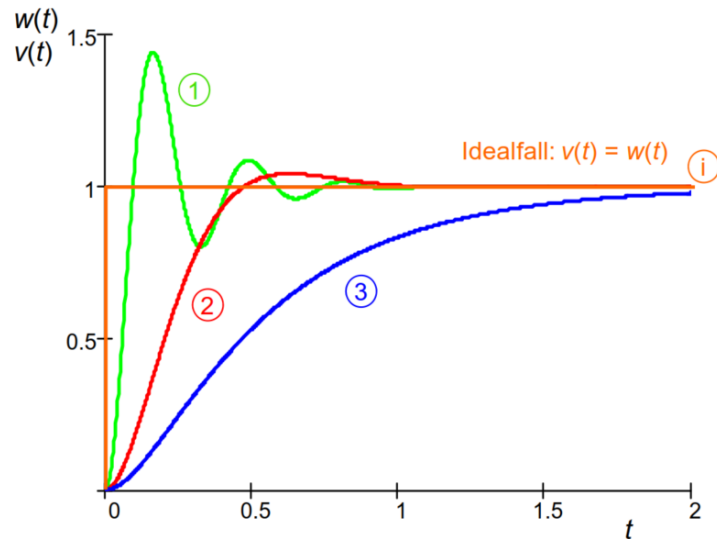


# Regelungstechnik

für BEI4, BMEI4 und IBT

Prof. Dr. B. Wagner



| Regler     | aperiodischer Regelvorgang<br>kürzester Dauer                                       |   | 20% Überschwung kleinster<br>Schwingungsdauer ( $D \approx 0,45$ )                               |  |
|------------|---|---|--|--|
|            | Führungsverhalten   | Störverhalten   | Führungsverhalten  | Störverhalten  |
| P-Regler   | $V_R = \frac{0,3 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$   | $V_R = \frac{0,3 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$   | $V_R = \frac{0,7 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$  | $V_R = \frac{0,7 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$  |
| PI-Regler  | $V_R = \frac{0,35 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$<br>$T_n = 1,2 \cdot T_G$               | $V_R = \frac{0,6 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$<br>$T_n = 4 \cdot T_u$                              | $V_R = \frac{0,6 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$<br>$T_n = T_G$                                       | $V_R = \frac{0,7 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$<br>$T_n = 2,3 \cdot T_u$                         |
| PID-Regler | $V_R = \frac{0,6 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$<br>$T_n = T_G$<br>$T_v = 0,5 \cdot T_u$ | $V_R = \frac{0,95 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$<br>$T_n = 2,4 \cdot T_u$<br>$T_v = 0,42 \cdot T_u$ | $V_R = \frac{0,95 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$<br>$T_n = 1,35 \cdot T_G$<br>$T_v = 0,47 \cdot T_u$ | $V_R = \frac{1,2 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$<br>$T_n = 2 \cdot T_u$<br>$T_v = 0,42 \cdot T_u$ |

Tabelle 7-1: Einstellwerte nach Chien, Hrones und Reswick

## Kap. 7 Optimierung von Regelkreisen

## Bisher:

|                              |                   |  |
|------------------------------|-------------------|--|
| Kompensationsregler          | $\Leftrightarrow$ | über Vorgabe von $G_w(s)$ ,<br>z. B. über Anschwingdauer $T_{an}$ und relative Überschwingweite $\overset{\circ}{u}$   |
| Einstellung im Bode-Diagramm | $\Leftrightarrow$ | über Phasenreserve (oder Amplitudenreserve)<br>z. B. gutes Führungsverhalten: $\varphi_R = 60 \dots 90^\circ$<br>z. B. gutes Störverhalten : $\varphi_R = 30 \dots 50^\circ$ |
| Einstellung in der WOK       | $\Leftrightarrow$ | Zusammenhang dominante Pole $\Leftrightarrow$ Zeitverhalten<br>z. B. Dämpfungsvorgabe  |

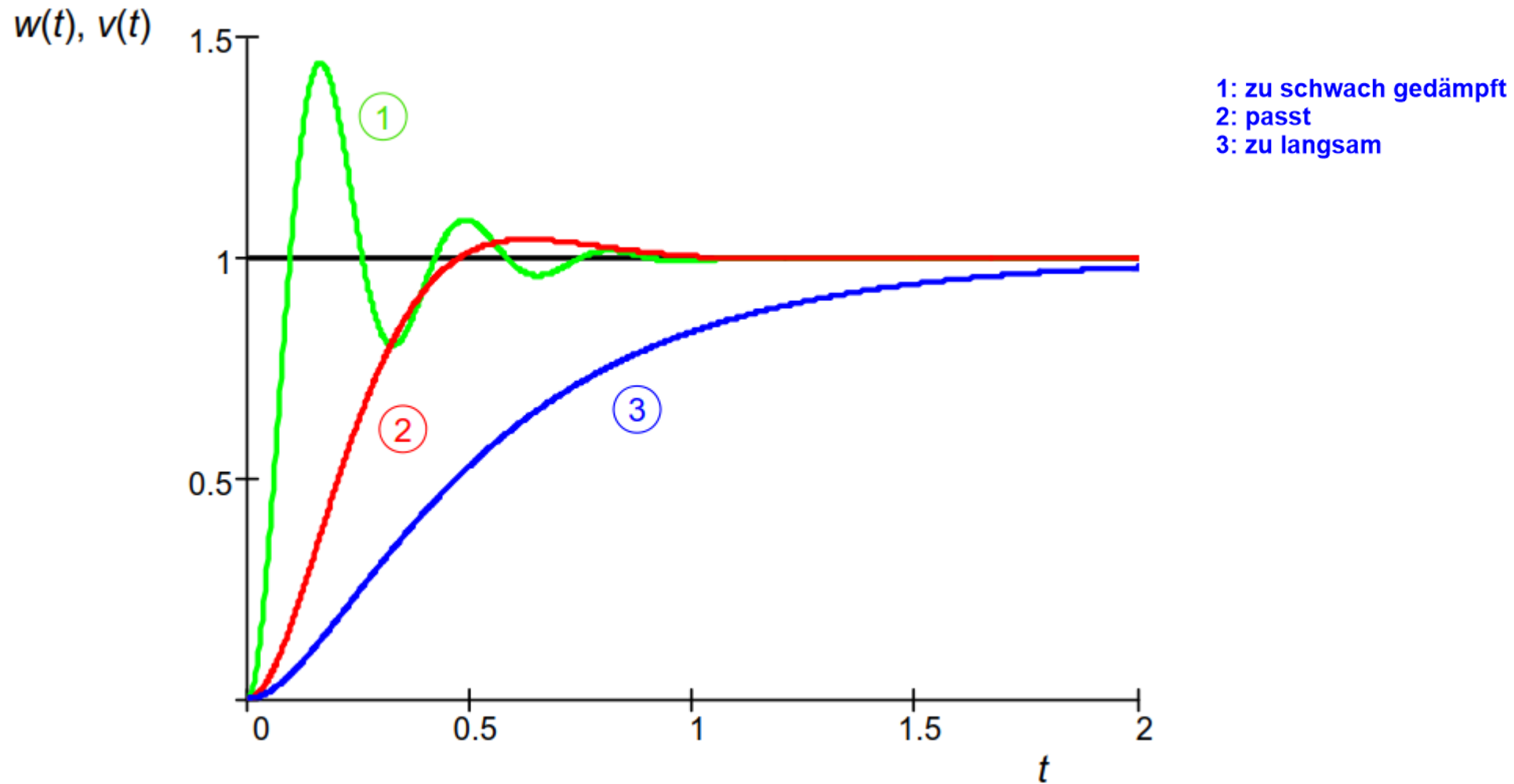
## Nun:

**Typische Spezifikationen einer Regelung**

**Zusammenfassen von Erkenntnissen hinsichtlich der „Kompensation“ langsamer Streckenpole**

**Einige in der Praxis gebräuchliche Einstellregeln  
... für gutes Führungs- / Störverhalten**

# Was möchte man? Spezifikation einer guten Regelung (Führungsverhalten)?



## a) Führungsverhalten

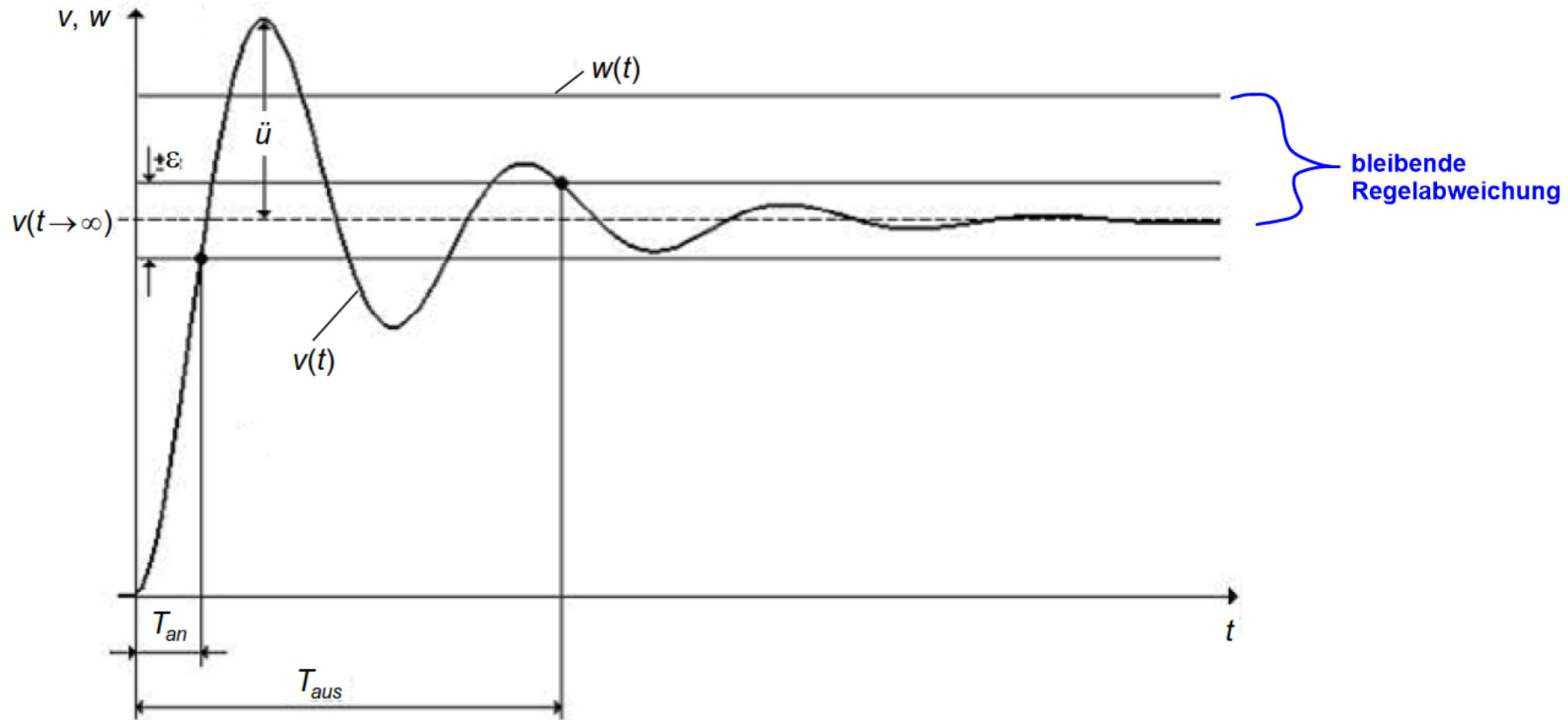


Bild 7-2: Charakteristische Größen der Führungssprungantwort

## b) Störverhalten

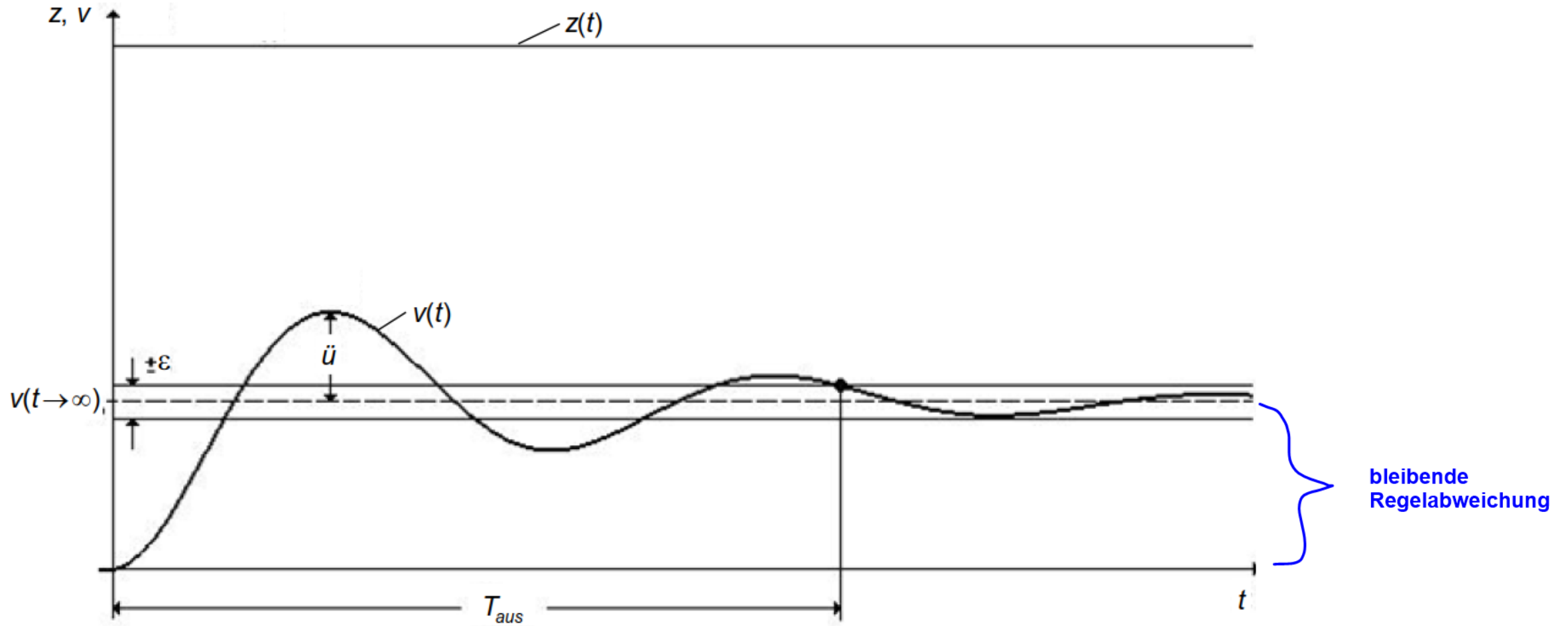


Bild 7-3: Charakteristische Größen der Störsprungantwort

**Wenn Führungsverhalten im Vordergrund steht:**

- **Kompensation langsamer Streckenzeitkonstanten durch Reglernullstellen (z. B.  $T_N = T_S$ )**
- **Kürzen in  $G_w(s)$   $\Leftrightarrow$  einfache Zusammenhänge**
- **Störverhalten „kriecht“ jedoch unter Umständen**

**Falls Störverhalten im Vordergrund steht:**

- **Vermeidung der Kompensation langsamer Streckenpole**
- **Tendenziell Wahl einer höheren Verstärkung  $\Rightarrow$  bessere Störunterdrückung**

**Entdecken Sie in den folgenden Arbeitsblättern diese Zusammenhänge ?!**

# Einige in der Praxis gebräuchliche Einstellregeln (1)

## Methode von Chien, Hrones & Reswick

### $T_U$ - $T_G$ -Approximation der Streckensprungantwort

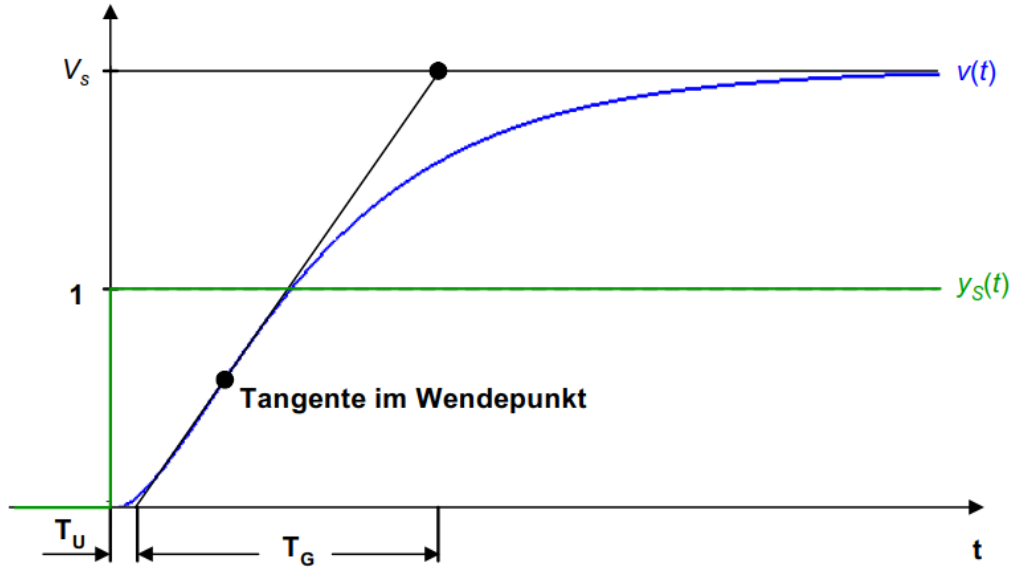


Bild 7-4: Sprungantwort bei  $PT_n$ -Strecken mit aperiodischem Verhalten



| Regler     | aperiodischer Regelvorgang kürzester Dauer   |  | 20% Überschwingung kleinster Schwingungsdauer ( $D \approx 0,45$ ) |   |
|------------|--|--|--|---|
|            | Führungsverhalten                            | Störverhalten                                | Führungsverhalten  | Störverhalten                               |
| P-Regler   | $V_R = \frac{0,3 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$  | $V_R = \frac{0,3 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$  | $V_R = \frac{0,7 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$                        | $V_R = \frac{0,7 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$ |
| PI-Regler  | $V_R = \frac{0,35 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$ | $V_R = \frac{0,6 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$  | $V_R = \frac{0,6 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$                        | $V_R = \frac{0,7 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$ |
| PID-Regler | Kompensation: $T_n = 1,2 \cdot T_G$          |  | $T_n = T_G$  | $T_n = 2,3 \cdot T_u$                       |
|            | keine Komp.                                  |  | $T_n = T_G$  | $T_n = 2,3 \cdot T_u$                       |
|            | $V_R = \frac{0,6 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$  | $V_R = \frac{0,95 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$ | $V_R = \frac{0,95 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$                       | $V_R = \frac{1,2 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$ |
|            | $T_n = T_G$                                  | $T_n = 2,4 \cdot T_u$                        | $T_n = 1,35 \cdot T_G$   | $T_n = 2 \cdot T_u$                         |
|            | $T_v = 0,5 \cdot T_u$                        | $T_v = 0,42 \cdot T_u$                       | $T_v = 0,47 \cdot T_u$   | $T_v = 0,42 \cdot T_u$                      |

Tabelle 7-1: Einstellwerte nach Chien, Hrones und Reswick

### Vorteile:

- Einfache Anwendung
- Keine aufwendige Modellbildung
- Praxiserprobt

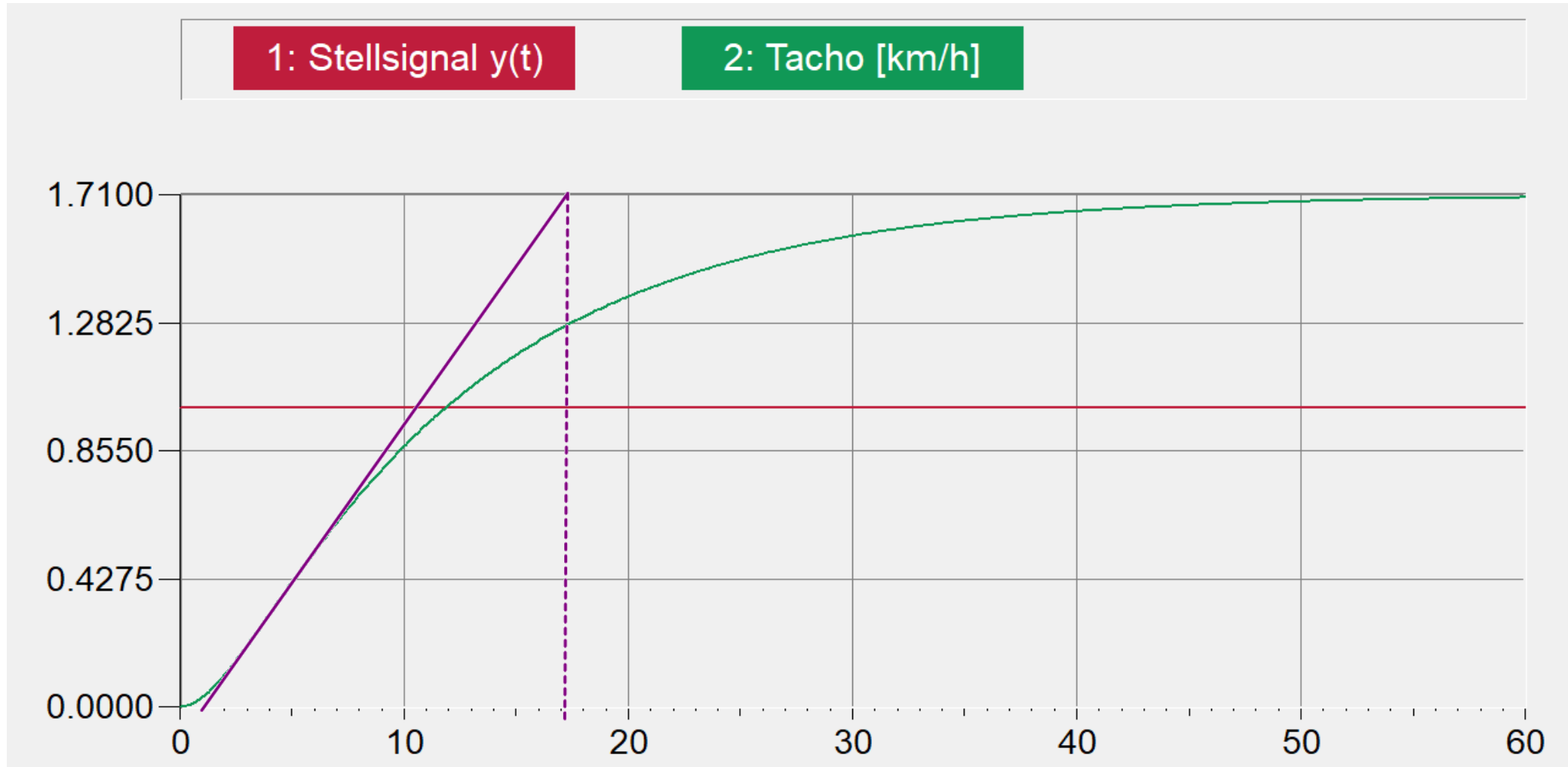
### Nachteile:

- Bei extremen  $T_U$ - $T_G$ -Verhältnissen nicht sinnvoll
- Keine Regeln für schwingfähige Systeme
- Spezifikation wird oft „nicht wirklich“ eingehalten

Gegeben: Tempomat-Regelaufgabe aus dem Praktikum (Einheitssprungantwort,  $G_S(s) = \frac{1,71}{1+13s+22s^2}$ )

- $T_U, T_G, V_S$
- Regler
- Simulation
- Bewertung

$T_U = 1$   
 $T_G = 15$   
 $V_S = 1,71$



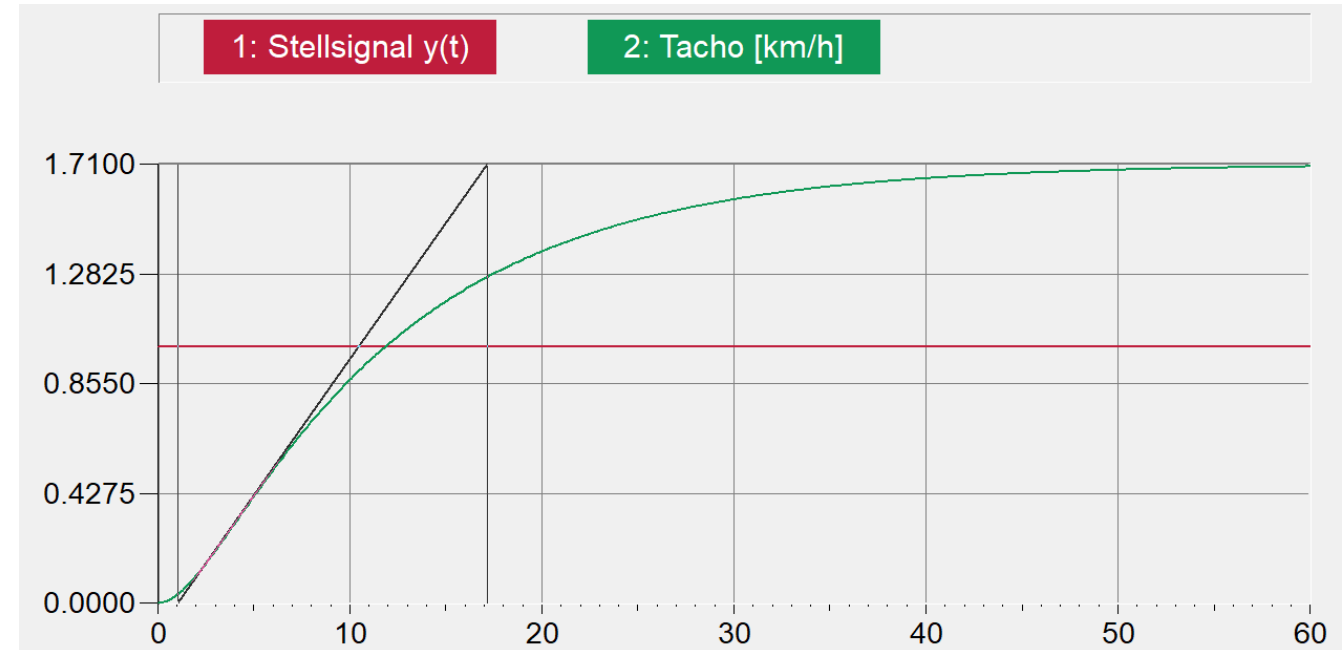


**Gegeben: Tempomat-Regelaufgabe (Einheitssprungantwort) mit Wendetangente:**

- $T_U=1, T_G = 15, V_S = 1,71$
- **PI-Regler**
- **Simulation**
- **Bewertung**

| Regler     | aperiodischer Regelvorgang kürzester Dauer  |   | 20% Überschwung kleinster Schwingungsdauer ( $D \approx 0,45$ )                                  |  |
|------------|---|---|--|--|
|            | Führungsverhalten   | Störverhalten   | Führungsverhalten  | Störverhalten  |
| P-Regler   | $V_R = \frac{0,3 \cdot T_G}{V_S \cdot T_u}$   | $V_R = \frac{0,3 \cdot T_G}{V_S \cdot T_u}$   | $V_R = \frac{0,7 \cdot T_G}{V_S \cdot T_u}$  | $V_R = \frac{0,7 \cdot T_G}{V_S \cdot T_u}$  |
| PI-Regler  | $V_R = \frac{0,35 \cdot T_G}{V_S \cdot T_u}$<br>$T_n = 12 \cdot T_G$                | $V_R = \frac{0,6 \cdot T_G}{V_S \cdot T_u}$<br>$T_n = 4 \cdot T_u$                              | $V_R = \frac{0,6 \cdot T_G}{V_S \cdot T_u}$<br>$T_n = T_G$                                       | $V_R = \frac{0,7 \cdot T_G}{V_S \cdot T_u}$<br>$T_n = 2,3 \cdot T_u$                         |
| PID-Regler | $V_R = \frac{0,6 \cdot T_G}{V_S \cdot T_u}$<br>$T_n = T_G$<br>$T_v = 0,5 \cdot T_u$ | $V_R = \frac{0,95 \cdot T_G}{V_S \cdot T_u}$<br>$T_n = 2,4 \cdot T_u$<br>$T_v = 0,42 \cdot T_u$ | $V_R = \frac{0,95 \cdot T_G}{V_S \cdot T_u}$<br>$T_n = 1,35 \cdot T_G$<br>$T_v = 0,47 \cdot T_u$ | $V_R = \frac{1,2 \cdot T_G}{V_S \cdot T_u}$<br>$T_n = 2 \cdot T_u$<br>$T_v = 0,42 \cdot T_u$ |

Tabelle 7-1: Einstellwerte nach Chien, Hrones und Reswick

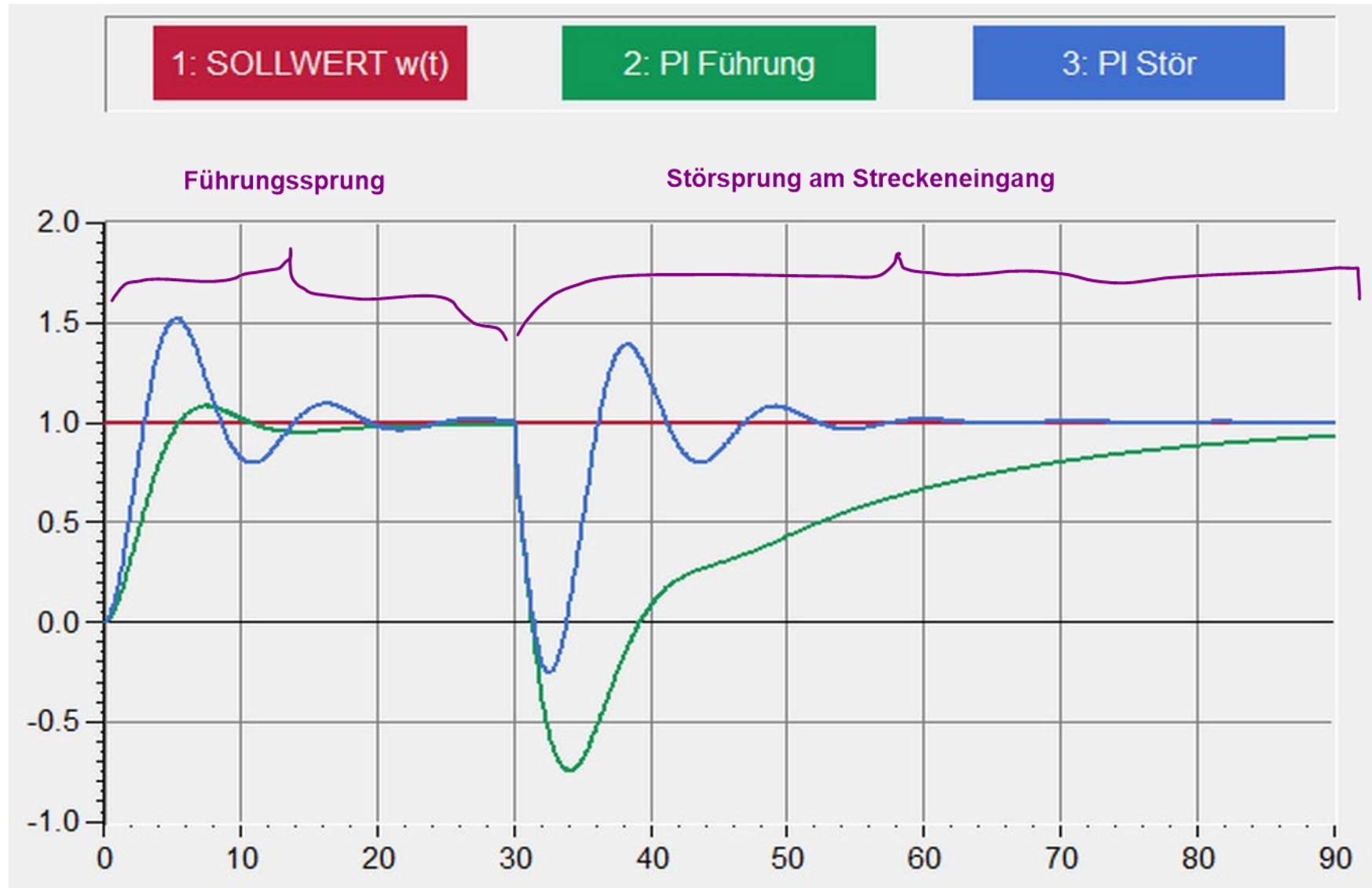


**VR = 3,1**  
**TN = 18**

**VR = 5,2**  
**TN = 4**

# Tempomat-Beispiel zur Einstellregel nach Chien, Hrones und Reswick

## Vergleich der Führungs- und Störantworten



# Nochmal die Tabelle von Chien, Hrones und Reswick

## Erkennen Sie die Zusammenhänge ... ?!

- ⇒ Gutes Führungsverhalten ⇔ Kompensation der großen Streckenzeitkonstante
- ⇒ Gutes Störverhalten ⇔ Keine Kompensation der großen Streckenzeitkonstante, größeres  $V_R$

| Regler     | aperiodischer Regelvorgang<br>kürzester Dauer |  | 20% Überschwingung kleinster<br>Schwingungsdauer ( $D \approx 0,45$ ) |   |
|------------|---|--|---|---|
|            | Führungsverhalten                             | Störverhalten                                | Führungsverhalten   | Störverhalten                               |
| P-Regler   | $V_R = \frac{0,3 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$   | $V_R = \frac{0,3 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$  | $V_R = \frac{0,7 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$                           | $V_R = \frac{0,7 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$ |
| PI-Regler  | $V_R = \frac{0,35 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$  | $V_R = \frac{0,6 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$  | $V_R = \frac{0,6 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$                           | $V_R = \frac{0,7 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$ |
|            | $T_n = 1,2 \cdot T_G$                         | $T_n = 4 \cdot T_u$                          | $T_n = T_G$   | $T_n = 2,3 \cdot T_u$                       |
| PID-Regler | $V_R = \frac{0,6 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$   | $V_R = \frac{0,95 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$ | $V_R = \frac{0,95 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$                          | $V_R = \frac{1,2 \cdot T_G}{V_s \cdot T_u}$ |
|            | $T_n = T_G$                                   | $T_n = 2,4 \cdot T_u$                        | $T_n = 1,35 \cdot T_G$  | $T_n = 2 \cdot T_u$                         |
|            | $T_v = 0,5 \cdot T_u$                         | $T_v = 0,42 \cdot T_u$                       | $T_v = 0,47 \cdot T_u$  | $T_v = 0,42 \cdot T_u$                      |

Führungsverhalten  
kleinere Verstärkung

Kompensation im  
Führungsverhalten

keine Komposition im  
Störverhalten

Tabelle 7-1: Einstellwerte nach Chien, Hrones und Reswick

## 7.3 Einstellwerte nach Ziegler und Nichols

Die Vorgehensweise zur Anwendung der Einstellwerte nach Ziegler und Nichols wird im Folgenden kurz und knapp beschrieben.

- 1) Regelkreis mit P-Regler schließen
- 2) Verstärkung des P-Reglers erhöhen, bis der Regelkreis schwingt (Stabilitätsgrenze, Dauerschwingungen)
- 3) Kenndaten des Regelkreises am Stabilitätsrand entnehmen

Kritische Verstärkung  $V_{R-Krit}$ , Kritische Schwingungsdauer  $T_{Krit} = \frac{2\pi}{\omega_{Krit}}$

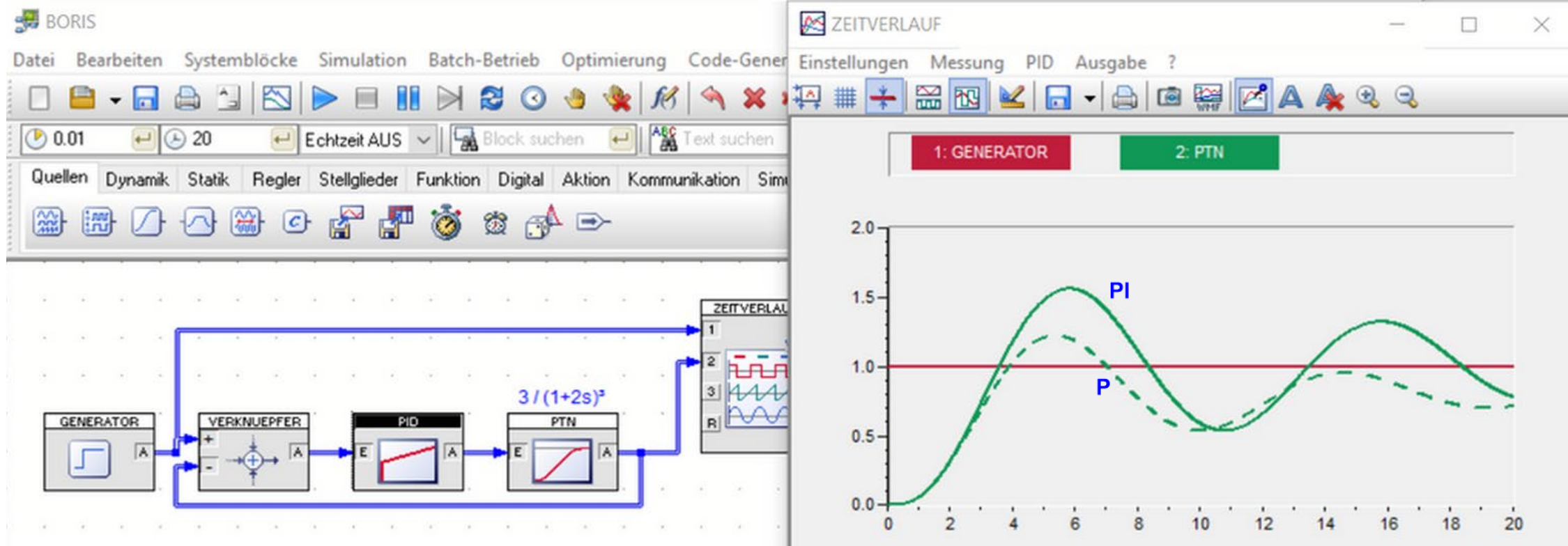
- 4) Einstellwerte für günstiges Führungsverhalten

| P-Regler                     | PI-Regler  | PID-Regler  |
|------------------------------|--|---|
| $V_R = 0,5 \cdot V_{R-Krit}$ | $V_R = 0,45 \cdot V_{R-Krit}$<br>$T_n = 0,85 \cdot T_{Krit}$ | $V_R = 0,6 \cdot V_{R-Krit}$<br>$T_n = 0,5 \cdot T_{Krit}$<br>$T_v = 0,12 \cdot T_{Krit}$ |

Tabelle 7-2: Einstellwerte nach Ziegler und Nichols

# Einstellregel von Ziegler und Nichols; Beispiel $G_S(s) = \frac{3}{(1+2s)^3}$

P-Regler: VR = 1,3  
PI-Regler: VR = 1,2; TN = 6,2



**Vorteil:**  
Sehr einfach in der Anwendung

**Nachteile:**  
in den meisten Fällen sehr schwach gedämpfte Regelung  
funktioniert nicht für Regelstrecken 1. und 2. Ordnung  
(Schwingversuch führt auf kein verlässliches Ergebnis)  
Schwingversuch muss zulässig sein für die Regelstrecke



Zusammenhang geöffneter  $G_O(j\omega)$   $\Leftrightarrow$   $G_W(j\omega)$  geschlossener Regelkreis

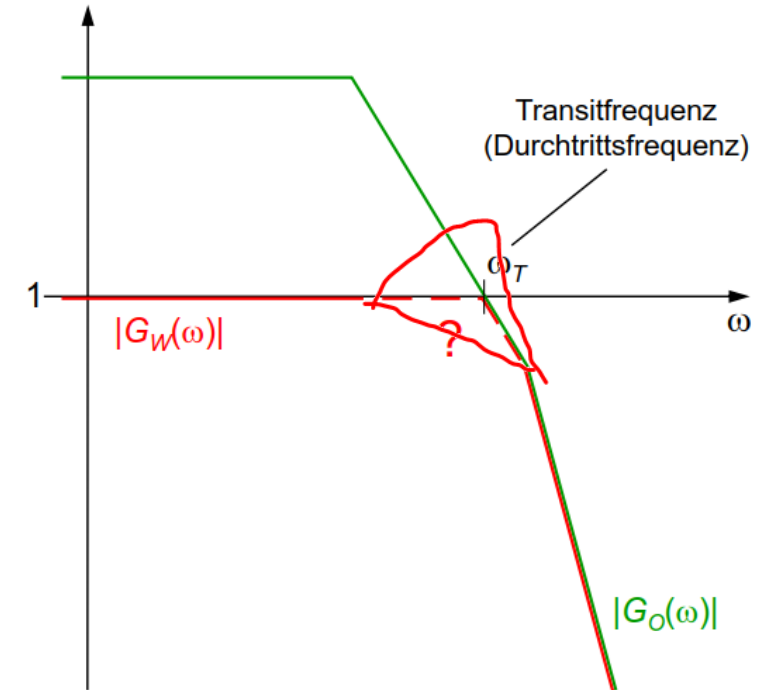
Durchtrittsfrequenz von  $G_O(j\omega)$   $\Leftrightarrow$  Bandbreite des Führungsverhaltens

**Abschätzung:**

$$G_W(j\omega) = \frac{V(j\omega)}{W(j\omega)} = \frac{G_R(j\omega) \cdot G_S(j\omega)}{1 + G_R(j\omega) \cdot G_S(j\omega)} = \frac{G_O(j\omega)}{1 + G_O(j\omega)}$$

$$|G_O(\omega)| \ll 1 \Rightarrow G_W(j\omega) \approx G_O(j\omega)$$

$$|G_O(\omega)| \gg 1 \Rightarrow G_W(j\omega) \approx 1$$



**Zur Erinnerung aus Kapitel 6:**

**10-fache Durchtrittskreisfrequenz  $\Leftrightarrow$  10-mal so schneller Regelkreis!**

# Optimierung im Frequenzbereich $\Leftrightarrow$ Bode-Diagramm (2) : Störverhalten (Störung am Streckeneingang)

Zusammenhang geöffneter

$G_O(j\omega)$

$\Leftrightarrow$

$G_Z(j\omega)$

geschlossener Regelkreis

Durchtrittsfrequenz von  $G_O(j\omega)$

$\Leftrightarrow$

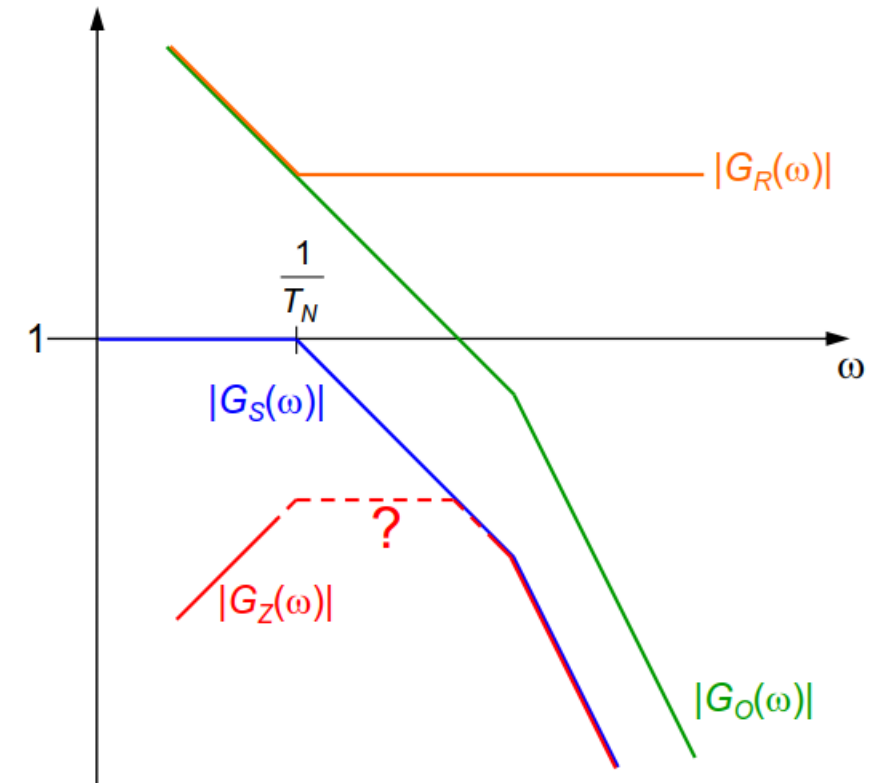
Qualität der Störunterdrückung???

Abschätzung:

$$G_Z(j\omega) = \frac{V(j\omega)}{Z(j\omega)} = \frac{G_S(j\omega)}{1 + G_R(j\omega) \cdot G_S(j\omega)} = \frac{G_S(j\omega)}{1 + G_O(j\omega)}$$

$$|G_O(\omega)| \ll 1 \Rightarrow G_Z(j\omega) \approx G_S(j\omega)$$

$$|G_O(\omega)| \gg 1 \Rightarrow G_Z(j\omega) \approx \frac{G_S(j\omega)}{G_O(j\omega)} = \frac{1}{G_R(j\omega)}$$



Zur Erinnerung aus Kapitel 6:

Größere Reglerverstärkung  $\Leftrightarrow$  bessere Störunterdrückung!

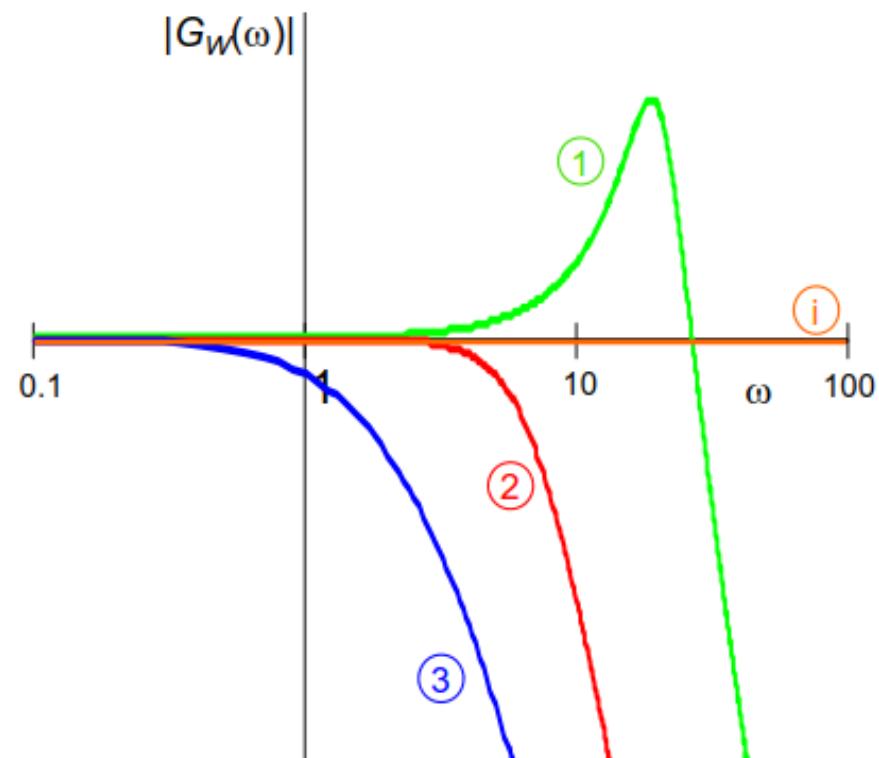
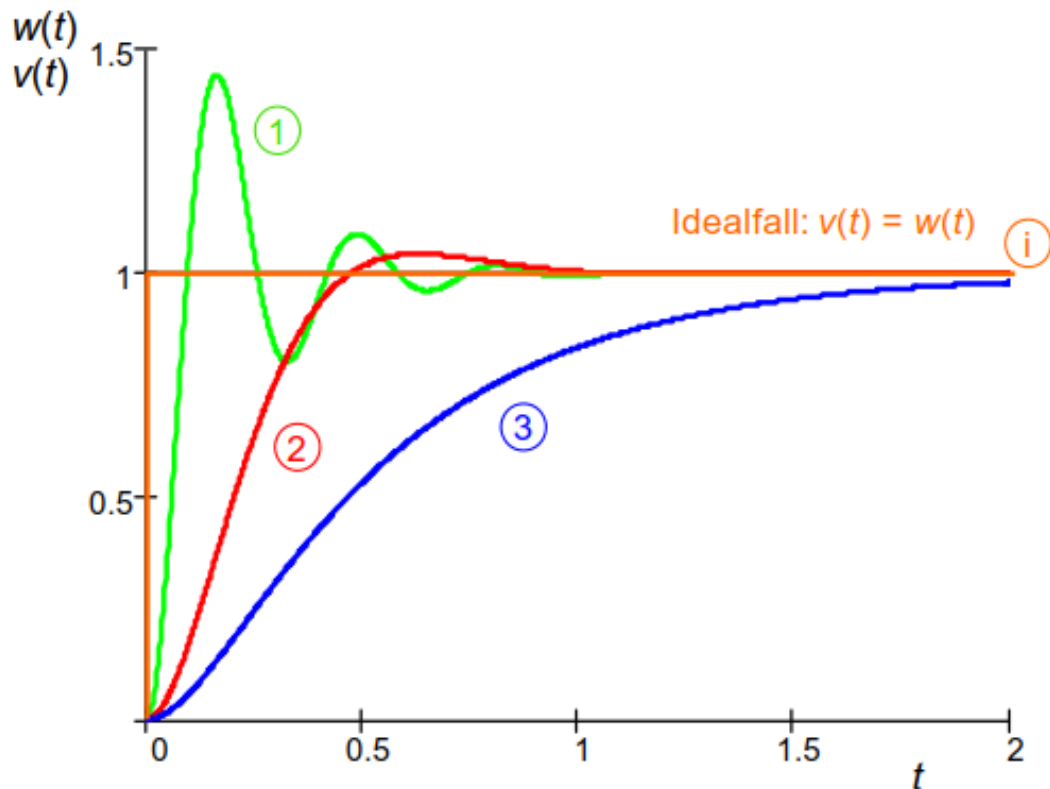
--> wenn  $G_R$  nach oben verschoben wird wird  $G_Z$  nach unten verschoben

## Zwei beliebte Einstellungen im Frequenzbereich: Betragsoptimum und symmetrisches Optimum

Zur Veranschaulichung des **Betragsoptimums**: Idee: **möglichst gutes Führungsverhalten**

⇒ **Betragsgang  $G_w(j\omega)$  soll sich möglichst lange an die 0dB-Linie anschmiegen (ohne Resonanzüberhöhung!)**

⇒ **Betragsoptimale Dämpfung:  $D = 1/\sqrt{2} \approx 0,71 \Leftrightarrow$  gerade noch keine Resonanzüberhöhung, vgl. Kap. 3!**





# Zwei beliebte Einstellungen im Frequenzbereich: Betragsoptimum und symmetrisches Optimum

## Vorgehen:

- ⇒ Wegen stationärer Genauigkeit: Meist **Wahl eines Reglers mit I-Anteil**
- ⇒ Kompensiere große Streckenzeitkonstante(n) durch **Reglernullstelle(n)** (PI- oder PIDT1-Regler)
- ⇒ Fasse kleine Zeitkonstanten von Strecke und Regler zusammen zur Summenzeitkonstante  $T_\sigma$
- ⇒ VR wird so gewählt, dass der Regelkreis die betragsoptimale Dämpfung :  $D = 1/\sqrt{2} \approx 0,71$  hat.

eine große Zeitkonstante --> PI-Regler  
zwei große Zeitkonstanten --> PIDT1-Regler

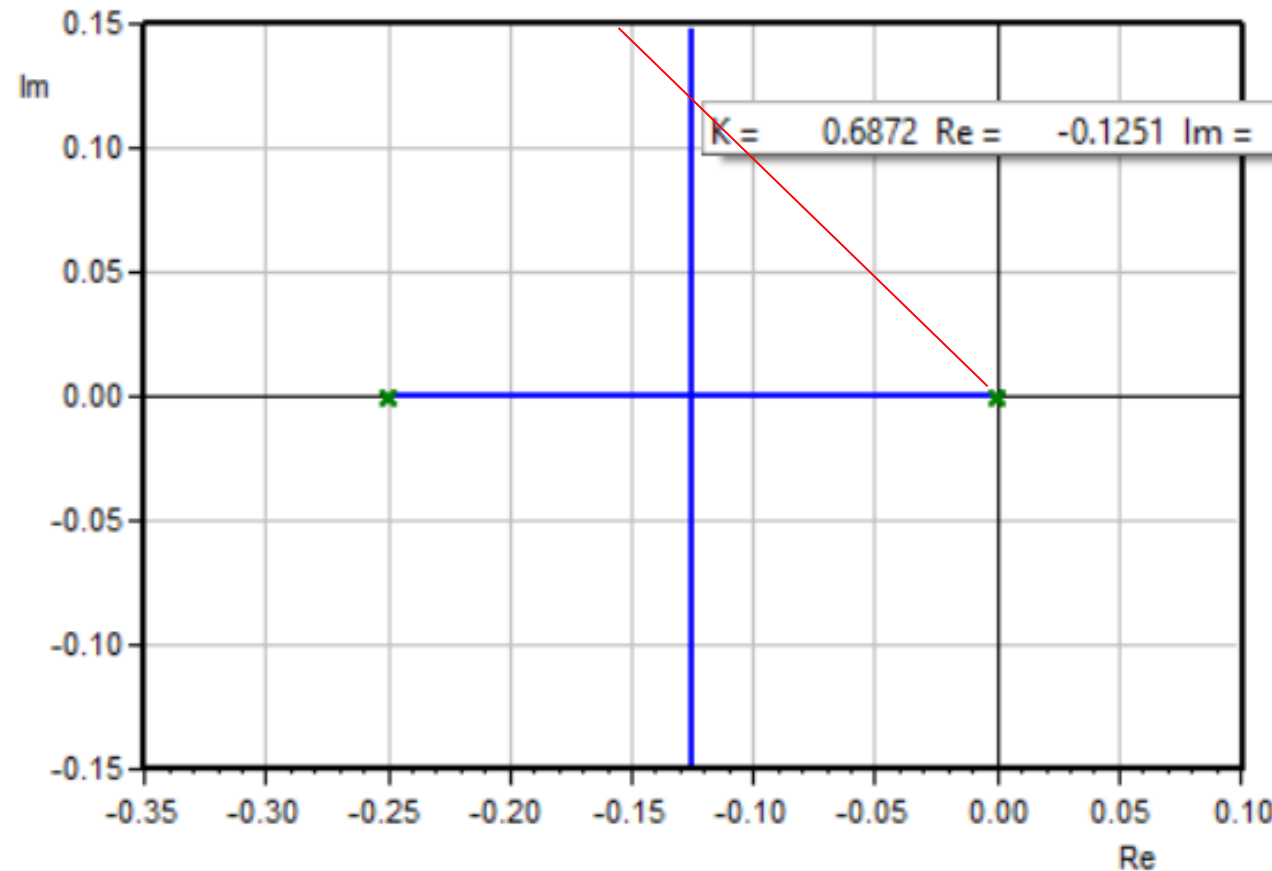
⇒ **Beispiel:**  $G_S(s) = \frac{4}{(1+s)(1+2s)(1+11s)(1+22s)}$   
--> PIDT1-Regler --> größte Zeitkonstante mit TN kompensieren

⇒ **Regler:**  $G_R(s) = \frac{V_R \cdot (1 + s22)(1 + s11)}{s22 \cdot (1 + sT_R)}$  zB TR = 1

⇒ **Summe kleiner Zeitkonst.:**  $T_\sigma = 1 + 1 + 2 = 4$   
(incl. Reglerzeitkonstante!)

⇒ **Offener Regelkreis:**  $G_o(s) = \frac{4 \cdot V_R}{s22 \cdot (1 + s4)}$  --> IT1

⇒  $V_R = 0,69$



- ⇒  $G_o(s)$  beim BO ist immer IT1-Funktion!
- ⇒ BO liefert ein gutes Führungsverhalten
- ⇒ SO liefert in vielen Fällen ein besseres Störverhalten als BO
- ⇒ Was ist „symmetrisch“ am SO?
  - ⇒ Übungsaufgabe 7.2
  - ⇒ Erkennen Sie die Symmetrie(n) im Bode-Diagramm?!
  - ⇒ Ursprünglich: SO wurde für PI-Regler für IT1-Strecke hergeleitet
- ⇒ Beim SO: keine Kompensation der langsamen Streckenzeitkonstante
  - ⇒ Reglernullstelle tritt in  $G_W(s)$  auf
  - ⇒ PT<sub>1</sub>-Vorfilter mit Filterzeitkonstante  $T_G$  (siehe Tabelle!)

| Gegebene Regelstrecke   |  | Opt. verf.       | Reglerstruktur und Optimierung |                         |                       |       | Glättungszeitkonstante im Sollwertkanal $T_G$ |
|---|--|------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------|---|
|   |  |                  |                                | $V_R$                   | $T_N$ bzw. $T_I$      | $T_V$ |   |
| $G_S(s) = \frac{V_s}{1 + sT_\sigma}$<br>(PT <sub>1</sub> , keine große Zeitkonstante)                       |  | BO               | I                              |                         | $T_I = 2T_\sigma V_S$ |       |   |
| $G_S(s) = \frac{V_s}{(1 + sT_1)(1 + sT_\sigma)}$<br>(PT <sub>2</sub> , eine große Zeitkonstante)            | $T_1 < 4T_\sigma$                        | BO               | PI                             | $T_1 / (2T_\sigma V_S)$ | $T_N = T_1$           |       |   |
|   | $T_1 > 4T_\sigma$                        | BO <sup>1)</sup> | PI                             | $T_1 / (2T_\sigma V_S)$ | $T_N = T_1$           |       |   |
|   |  | SO <sup>2)</sup> | PI                             | $T_1 / (2T_\sigma V_S)$ | $T_N = 4T_\sigma$     |       | $4T_\sigma (1 - e^{-(T_1/4T_\sigma - 1)})$    |
| $G_S(s) = \frac{V_s}{(1 + sT_1)(1 + sT_2)(1 + sT_\sigma)}$<br>(PT <sub>3</sub> , zwei große Zeitkonstanten) | $T_1 < 4T_\sigma$                        | BO               | P                              | $T_1 / (2T_\sigma V_S)$ |                       |       |   |
|   | $T_1 > 4T_\sigma$                        | BO <sup>1)</sup> | PID                            | $T_1 / (2T_\sigma V_S)$ | $T_N = T_1$           | $T_2$ |   |
|   |  | SO <sup>2)</sup> | PID                            | $T_1 / (2T_\sigma V_S)$ | $T_N = 4T_\sigma$     | $T_2$ | $4T_\sigma (1 - e^{-(T_1/4T_\sigma - 1)})$    |
|   | $T_1 >> 4T_\sigma$                       | BO               | PD                             | $T_1 / (2T_\sigma V_S)$ |                       | $T_2$ |   |
| $G_S(s) = \frac{1}{sT_0(1 + sT_\sigma)}$<br>(IT <sub>1</sub> , keine große Zeitkonstante)                   | $T_0 < 4T_\sigma$ oder $T_0 > 4T_\sigma$ | SO               | PI                             | $T_0 / 2T_\sigma$       | $T_N = 4T_\sigma$     |       | $4T_\sigma$                                   |
|   | $T_0 >> 4T_\sigma$                       | BO               | P                              | $T_0 / 2T_\sigma$       |                       |       |   |
| $G_S(s) = \frac{1}{sT_0(1 + sT_1)(1 + sT_\sigma)}$<br>(IT <sub>2</sub> , eine große Zeitkonstante)          | $T_0 < 4T_\sigma$ oder $T_0 > 4T_\sigma$ | SO               | PID                            | $T_0 / 2T_\sigma$       | $T_N = 4T_\sigma$     | $T_1$ | $4T_\sigma$                                   |
|   | $T_0 >> 4T_\sigma$                       | BO               | PD                             | $T_0 / 2T_\sigma$       |                       | $T_1$ |   |

1) Liefert besseres Führungsverhalten

2) Liefert besseres Störverhalten

wenn  $T_0 \gg 4T_\sigma \rightarrow$  I-Anteil würde zu Kriechen führen, deshalb manchmal nur P oder PD

$G_W(s)$  hat die betragsoptimale Dämpfung

$$D = 1/\sqrt{2} \approx 0,71$$

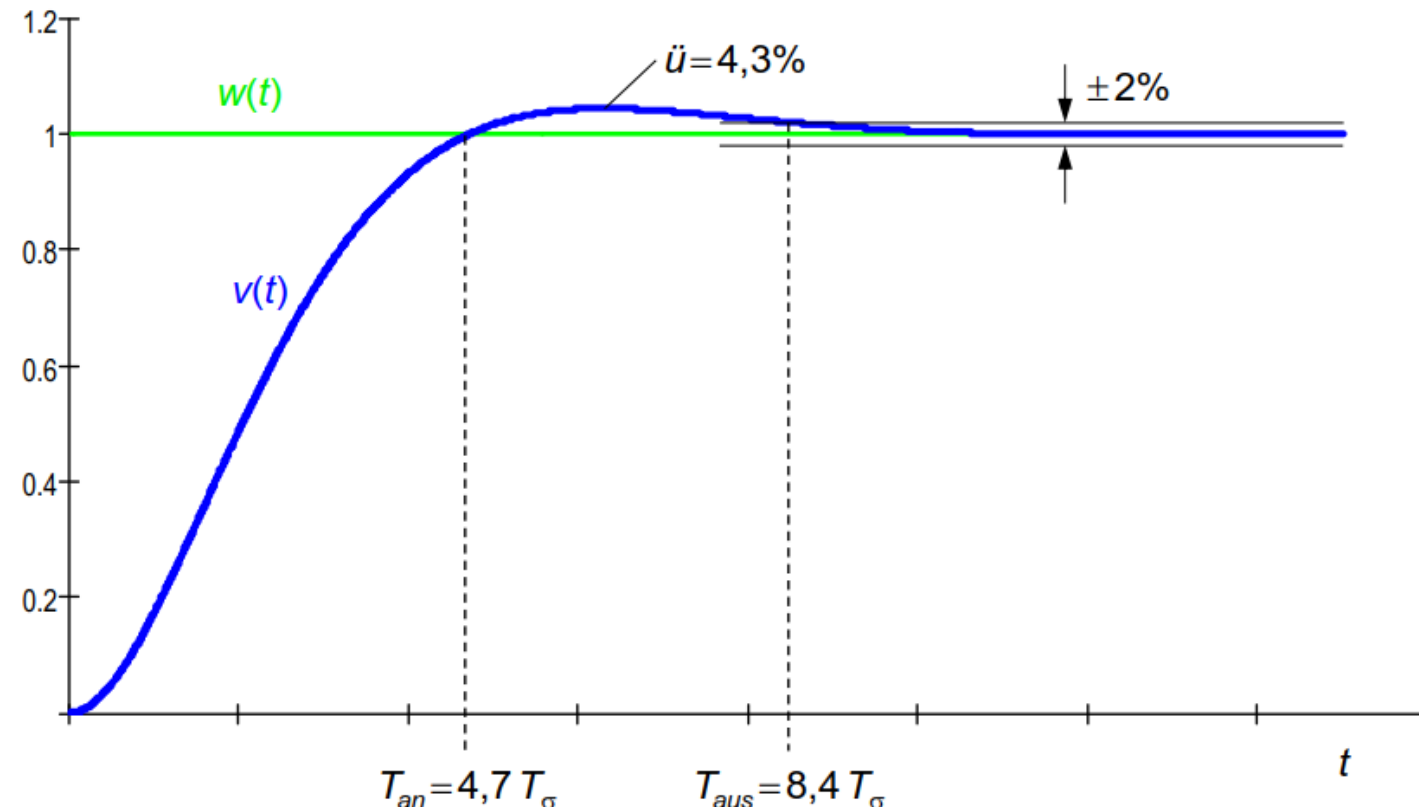
Damit ergibt sich eine relative Überschwingweite

$$\ddot{u} = 4,3\%$$

Die Anschwingdauer hängt dann nur noch von  $T_\sigma$  ab:

$$T_{an} = 4,7 T_\sigma$$

Somit sieht die Führungssprungantwort bei Regelung mit BO immer so aus:



Beliebter Einsatz:  
BO für Stromregler von E-Antrieben  
SO für Drehzahlregler von E-Antrieben  
=> Kaskadierung, siehe Kapitel 8

**Einige in der Praxis beliebte Methoden zum Einstellen von Reglern:**

**Phasen- (und Amplituden-)Reserve (Kapitel 6)**

**Wurzelortskurven (Kapitel 6)**

**Chien, Hrones, Reswick**

**Ziegler, Nichols**

**Betragsoptimum und Symmetrisches Optimum**

**Optimierung in Hinblick auf günstiges Führungs- ODER Störverhalten**

**Will man Führungs- UND Störverhalten optimieren:**

**Strukturelle Erweiterungen des einschleifigen Regelkreises ⇔ siehe Kapitel 8!**