**– System**V = Endwert T = t bei  **🡪**  🡪   
🡪 wenn Pol weiter links, System schneller

**– System**   
🡪 🡪 ,

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| D > 1 | 2 reelle Pole | aperiodische Dämpfung |
| D = 1 | 2 reelle Pole (Doppelpol) | aperiodischer Grenzfall |
| 0 < D < 1 | konj. kompl. Polpaar in linker s-Halbebene | gedämpfte harmonische Schwingung |
| D = 0 | konj. kompl. Polpaar auf Im-Achse | ungedämpfte harmonische Schwingung |
| D < 0 | min. 1 Pol in rechter s-Halbebene | aufklingende Systemreaktion 🡪 instabil |

* Anfangswertsatz: (nur wenn x(t) bei t=0 keine -Anteile)
* Endwertsatz: (nur wenn endl. Grenzwert )

Ein Bild, das Text, Screenshot, Schrift, Zahl enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0,5 | 1 | 2 | 4 | 5 | 10 | 20 |
| -6 dB | 0 dB | 6 dB | 12 dB | 14 dB | 20 dB | 26 dB |

Ein Bild, das Text, Schrift, Screenshot enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Logarithmische Skala auf Kästchenpapier:

3 Kästchen 🡪 x2

4 Kästchen 🡪 x2,5

= 7 Kästchen 🡪 x5

mathematisch (bei 10 Kästchen/dek.):   
 Anzahl Kästchen, zB Kästchen

Steigung -Glied:

eine Dekade: -20dB

Verdopplung: -6dB

Ein Bild, das Diagramm, Plan enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**1. Einführung**

**0. Allgemeines**

Führungsgröße = Sollwert (w)

Stellgröße = Stellwert (y)

Regelgröße = Istwert (v)

Regelabweichung (e)

Störgröße (z)

Reglerübertragungsfkt:

Streckenübertragungsfkt:

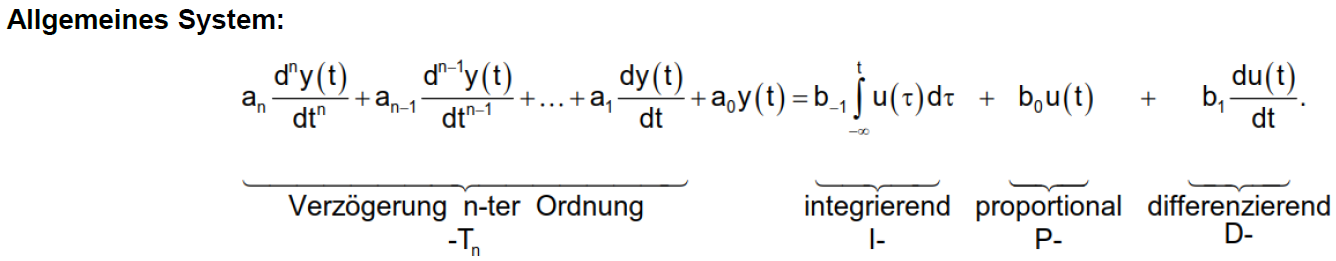
Störübertragungsfkt: 🡪

Führungsübertragungsfkt: 🡪

stationär genau, wenn

vollständige Störunterdrückung = Zähler von = 0  
 stationär genau, wenn (da Regelabweichung dann )

**2. Regelkreisglieder**



Bestimmung aus :  
🡪 Umformen sodass Nenner Konstante u. positive Potenzen von s enthält:   
🡪 System-Grundtyp aus Zähler: = D, = P, = I  
🡪 Verzögerung aus Nenner: höchste Potenz = n

**Zusammenhang Übertragungsfunktion - Sprungantwort**

Integrierende Systeme

🡪

Differenzierende Systeme

🡪 (nicht realisierbar!)   
🡪

( = Verzögerungszeit, = Differenzierzeit;   
bei RC-Glied: )

Totzeit-/Laufzeitsysteme

🡪

Anfangswert: (Herleitung Anfangswertsatz)

Endwert: (wenn kein I-Anteil)

Anfangssteigung:  *Nennergrad Zählergrad*

für : 🡪 , System sprungfähig, Anfangsw 0

für u. : 🡪 , Anfangswert = 0, Steigung

für u. : 🡪 , läuft flach aus Nullpunkt

Nenner in Linearfaktordarstellung:

Summe der kleinen Zeitkonstanten 🡪 🡪 Näherung für Reglerentwicklung

Summe aller Zeitkonstanten 🡪 🡪 Abschätzung Einschwingdauer =

Ein Bild, das Diagramm enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Ein Bild, das Diagramm enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Ein Bild, das Diagramm enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**– System**

für D < 1:

= Periodendauer  
 = Anschwingdauer (1. mal Endwert)

(Eigen-Kreisfr.)  
 **(Bogenmaß !)**

= Abklingkonstante = Abstand Tangente v. Einhüllende zu SP dieser Tangente mit V

Ein Bild, das Text, Antenne enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

für D = 0:

für D 1: 🡪 Kapitel 4

Ein Bild, das Diagramm enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**(gilt nur   
für !)**

**bleibende Regelabweichung**

Einstellung eines P-Reglers für bestimmte Regelabweichung (hier zB < 5%):

**Totzeit**

verlangsamt Wirkungen

Wirkung der Totzeit verschwindet für 🡪 kein Einfluss auf bleibende Regelabweichung

Ein Bild, das Text, Diagramm, Plan, parallel enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Konstruktion zusammengesetzter Frequenzgänge**

1. Pole und Nullstellen bestimmen um daraus Ordnung zu bestimmen
2. reelle Pole u. Nullstellen 🡪 Faktoren 1. Ordnung 🡪 auf Form „“ bringen
3. konjugiert komplexe Pole u. Nullstellen 🡪 Faktoren 2. Ordnung 🡪 auf Form „“ bringen
4. Knickstellen bestimmen + Konstruktion von Grenzfrequenz zu Grenzfrequenz

Erkennen des Systemtyps:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | **mit -Anteil** | **ohne od.** |
| **Ortskurve:** | nur im 4. Quadranten | im 4. + 3. Quadranten | im 4., 3. + 2. Quadranten | kommt aus | Anfangsbetrag 0  Anfangsphase +90° |
| **Bodediagramm:** | -20dB/dek, -90° | -40dB/dek, -180° | -60dB/dek, -270° | Anfangssteigung -20dB/dek.  Anfangsphase -90° | Anfangssteigung +20dB/dek.  Anfangsphase +90° |

aus Bodediagramm: 1. einpendeln auf festen dB-Wert: (sprungfähig) 2. -20dB/dek.: 3. -40dB/dek. od. mehr:

Ein Bild, das Text, Diagramm, Zahl, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Frequenzgang eines Systems bestimmen:**

* nach Betrag u. Phase aufteilen
* charakteristische Punkte bestimmen

**Besonderheiten :**

**wenn (also nur reelle Pole) 🡪 Aufteilung in 2 x**

wenn :

bei gilt: Betrag = 🡪 aber nicht Maximum!

**Resonanzüberhöhung nur bei**

Maximalwert bei Resonanzfrequ.

dort: Resonanzüberhöhung **(bei ab !)**

Ein Bild, das Text, Schrift, Screenshot, weiß enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

🡪 schwingfähig für   
 🡪 rel. Überschwingweite (sichtbar in Sprungantwort)

🡪 Resonanzüberhöhung für   
 🡪 Resonanzüberhöhung (sichtbar an Betragsgang)

Ein Bild, das Reihe, Diagramm, parallel, Steigung enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**3. Frequenzgangfunktionen, Ortskurven, Bode-Diagramme**

**4. Modellbildung von Regelstrecken**

Ein Bild, das Reihe, Diagramm, parallel, Screenshot enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Identifikation aperiodischer -Strecken** (Sprungantworten ohne Überschwinger)  
🡪 als Reihenschaltung von n -Strecken darstellbar, da nur reelle Pole

(je höher n, desto langsamer anfängliche Systemreaktion)

🡪

🡪

🡪 oder

1. Methode: Näherung durch Wendetangente

Tangente mit maximaler Steigung in Sprungantwort finden

🡪 0 bis SP Tangente mit x-Achse

🡪 bis SP Tangente mit Endwert  
🡪 – Näherung

Vorteil: einfach + in allen Fällen möglich

Nachteil: sehr grobe Näherung

2. Methode: Semigrafische Näherung für

1. berechnen u. auf positiver x-Achse eintragen

2. y-Wert ablesen =

3. Wert an neg. x-Achse ablesen =   
🡪 🡪 🡪

Ein Bild, das Text, Reihe, Diagramm, parallel enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Ein Bild, das Reihe, Diagramm, Steigung, parallel enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**experimentelle Modellbildung**

Zusammenfassen kleiner Zeitkonstanten ( Faktor 5): (ggf. inkl. Totzeit)

Zusammenfassen aller Zeitkonstanten: 🡪 Einschwingdauer =

Alternative:

Ein Bild, das Text, Screenshot, Schrift, Zahl enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Ermittlung Übertragungsfunktion aus Betragsgang:

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

-System mit Totzeit

1. D aus ü ermitteln:

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, Zahl enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

2. Methode: Semigrafische Näherung für

1. berechnen u. auf positiver x-Achse eintragen

2. y-Wert ablesen = oder

wenn ganzzahlig:

3. Wert an neg. x-Achse ablesen =   
🡪 🡪

wenn ganzzahlig:

3a. Aufrunden 🡪 🡪 sehr ungenau!

3b. In Diagramm rechts eintragen u. x-Wert ablesen =

4b. Aus Sprungantwort ablesen, bei dem „“ erreicht wird  
🡪 🡪 (mit = abgerundet!) 🡪

Ein Bild, das Reihe, Diagramm, parallel enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Identifikation von – Strecken**

Ein Bild, das Text, Reihe, Diagramm, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

3. Methode: Zeitprozentkennwert   
(Methode von Strejc)

Aus Sprungantwort bei   
und bei ablesen

1. Näherung durch :

🡪 🡪   
🡪

2. Näherung durch :

🡪   
🡪

3. Näherung durch :

🡪 🡪

(nur für Zähler > 0 🡪 sonst nicht kausal)   
🡪

**5. Regler und Regelkreise**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **P-Regler** () | | | **I-Regler** () |
|  | -Strecke | -Strecke | -Strecke | -Strecke |
| Strecken-übertragungs-  funktion |  |  |  |  |
| Führungs/Stör-übertragungs-funktion |  |  |  |  |
| Koeffizienten | 🡪 immer  🡪 immer ,  wenn | 🡪 schwächer gedämpft als ungeregelte Strecke! |  |  |
| Stabilität | immer stabil | immer stabil | ab n=3 von abhängig | von abhängig |
| Endwert | 🡪 immer | 🡪 immer |  | 🡪 unabh. v. !  🡪 unabh. v. ! |
| Endwert |  |  |  |  |
| steigendes | * sinkende Regelabweichung * Regelkreis wird schneller | * sinkende Regelabweichung * sinkende * steigende Schwingneigung |  |  |
| Fazit | "Der P-Regler braucht eine Regelabweichung , um am Ausgang ein Stellsignal auszugeben." (Da einfach nur mit multipliziert wird) | | | "Der Integrator integriert so lange, bis sein Eingangssignal ist!" 🡪 keine bleibende Regelabweichung () im Führungs- UND Störverhalten (gut) |

bleibende Regelabweichung: (bei Führungssprüngen mit: und , bei Störsprüngen mit: und )

**PI-Regler** () (mit = Nachstellzeit)

Ein Bild, das Diagramm, Reihe, Text, Plan enthält.

Automatisch generierte Beschreibung  
bei Stellbegrenzung: **Wind-Up-Effekt** (erforderliches Stellsignal kann nicht aufgebracht werden 🡪 I-Anteil integriert Regelabweichung immer weiter auf)   
🡪 höhere Überschwinger, höhere Ausregelzeiten

**PD-Regler** ()  
schnelle Reaktion auf Regelabweichung; = Vorhaltezeit **🡪 nicht realisierbar, da !  
  
-Regler** () 🡪 klein gewählt

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Ein Bild, das Text, Screenshot, Schrift, Zahl enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Pol-Nullstellen-Kompensation** (Ziel: Kompensation eines langsamen Streckenpols)  
zB PD-Regler mit PT2-Strecke: 🡪 günstiges Führungsverhalten (Störverh. ggf Kriechen)

**-Regler**🡪 schnelle Reaktion + stationäre Genauigkeit

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, Screenshot enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Kompensationsregler** 🡪 Idee: vorgeben und passenden Regler berechnen  
 (wenn bleibende Regelabweichung kein I-Anteil mgl.)  
  
🡪 gesamtes dynamisches Verhalten wird kompensiert,   
da und Pole und Nullstellen der Strecke kompensieren  
🡪 durch und wird gewünschtes Führungsverhalten eingestellt  
  
🡪 ABER: schlechtes Störverhalten („Kriechen“),da kompensierte Streckenpole auftreten:   
🡪 Außerdem: nicht bei minimalphasigen Strecken einsetzen,da instabil: 🡪 strebt gegen

**🡪 Kompensationsregler nicht für instabile oder minimalphasige Strecken anwenden!**

für muss gelten: (n = Pole, m = NS, W = , S = Strecke)

**PI-Regler mit Begrenzungsbeobachter** 🡪 I-Anteil jedes Reglers muss überwacht werden  
Ein Bild, das Diagramm, Reihe, Plan, technische Zeichnung enthält.

Automatisch generierte Beschreibung (K nicht zwingend nötig)

**Wurzelortskurven**

Parameter: Reglerverstärkung   
aus WOK keine Aussage über bleibende Regelabweichung (stationäres Verhalten)

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**(geschlossener) Regelkreis stabil**

Ortskurve  
kritischer Punkt liegt auf der linken Seite der Ortskurve von (wenn diese in -Laufrichtung durchlaufen wird), wobei der Teil der Ortskurve entscheidend ist, der am nächsten am kritischen Punkt liegt

Ein Bild, das Reihe, Diagramm, Text, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Bode-Diagramm

bei allen Kreisfrequenzen, bei denen , ist Betrag ( positive )

**(geschlossener) Regelkreis am Stabilitätsrand**

Dauerschwingungsbedingung: 🡪 ,

Ortskurve von läuft durch (kritischer Punkt) 🡪 zugehörige Kreisfrequenz:

Bodediagramm: es gibt ein , bei dem Betrag = und Phase = sind

**6. Stabilitätskriterien**

**Amplituden-/Phasenreserve** (wenn positiv: geschlossener Regelkreis stabil)

Ein Bild, das Diagramm, Reihe, Kreis, Text enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

(mit = Kreisfrequenz bei -180°)  
 (mit = Kreisfrequenz bei Betrag = 1 ( 0 dB), SP Einheitskreis)

Bode-Diagramm

(mit = Kreisfrequenz bei -180°) 🡪 wenn nie -180° keine Angabe mgl.

(mit = Kreisfrequenz bei Betrag = 1 ( 0 dB))

**kritische Verstärkung ermitteln**

Ortskurve: (Bode: ) **🡪 hier wirklich nachdenken!**

**für bestimmtes einstellen**

(Bode-Diagramm: ) **🡪 TIMO, hier wirklich nachdenken!**

**für bestimmtes einstellen (I-Regler )**

ablesen, an dem gewünschte erreicht (Verschiebung Phasengang um -90° beachten!)  
 🡪 Nenner normieren 🡪 Bsp.: 🡪

**praktische Richtlinien:**   
 🡪 kein Überschwinger 🡪 1 Überschwinger

🡪 ein paar Überschwinger, dafür bessere Störunterdrückung

(Herleitung: mit als unverstärkter Regler)  
(wenn nicht sondern zB Parameter ist, muss Gleichung so aufgestellt werden, dass anstelle von steht)  
  
WOK-Konstruktionsregeln

Regel 1: Startpunkte sind Pole des offenen Kreises (da bei )

Regel 2: Endpunkte sind NS des offenen Kreises (da bei )

Regel 3: Anzahl Äste gegen Unendlich = n – m = Pole – NS

Regel 4: falls alle Pole u. NS in linker s-Halbebene (inkl. 0): jeder Ort auf reeller Achse, auf dessen rechter Seite Pole + NS = ungerade, ist Wurzelort

Regel 5: für reale physikalische Systeme (reelle und/oder konjugiert komplexe Pole u. NS) ist WOK symmetrisch zu reeller Achse

**Fortsetzung WOK**

Einstellung / Analyse Dynamik: **dominanten Pol/Polpaar** betrachten = Pol(paar) am nächsten an Null  
- reeller Einfachpol: nichtschwingend, Einschwingdauer ca. =   
- reeller Doppelpol: nichtschwingend (aperiodischer Grenzfall), Einschwingdauer ca. =   
- konj. komplexes Polpaar mit Realteil: schwingend, ,   
- konj. komplexes Polpaar ohne Realteil: Dauerschwingung, Periodendauer   
- positiver Realteil: instabil  
  
wenn gefragt, wie für ein bestimmtes zu wählen ist:   
1. (**nur PT2!**)   
2.   
3. Winkel einzeichnen und SP mit WOK ablesen

Ein Bild, das Diagramm, Reihe, Text, parallel enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Wahl von bei PI-Regler**

Bsp:   
1. Kompensation der langsamen Zeitkonstante ( **🡪 beste Option!**  
gutes Führungsverhalten  
schlechtes Störverhalten, da Kriechen

2. Kompensation der schnellen Zeitkonstante (  
Führungs- u. Störverhalten noch schlechter als bei 1., da Pole näher an 0 (und somit langsamer)

3. Keine Kompensation (  
etwas besser als 2., da etwas größer, da Äste der WOK aufgrund von NS leicht nach links gezogen werden  
deutlicher Überschwinger in Führungssprungantwort, da nun (45° für ü = 4% gilt nicht mehr)  
🡪 PT1-Vorfilter im Sollwertkanal dämpft Überschwinger



Ein Bild, das Text, Reihe, Diagramm, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Optimierung im Frequenzbereich**

Führungsverhalten Störverhalten

Durchtrittsfrequenz <-> Bandbreite Führungsverh. 🡪 größeres

🡪 🡪 bessere Störunterdrückung

🡪 🡪

🡪

Betragsoptimum und symmetrisches Optimum  
betragsoptimale Dämpfung (), damit möglichst lange an 0dB-Linie

1. Regler mit I-Anteil wählen (wg. stationärer Genauigkeit)  
2. Große Streckenzeitkonstante(n) mit Regler-NS kompensieren (1xT: PI oder 2xT: PIDT1)  
3. Kleine Zeitkonstanten v. Strecke u. Regler zu zusammenfassen  
4. so wählen, dass erfüllt (45°-Winkel in WOK)   
🡪 Führungssprungantwort immer und und   
Ein Bild, das Text, Zahl, Screenshot, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung  
BO gutes Führungsverhalten; SO besseres Störverhalten 🡪 daher aber –Vorfilter notwendig

**Einstellwerte nach Ziegler u. Nichols**

1. Regelkreis mit P-Regler schließen 2. erhöhen, bis Regelkreis schwingt (Dauerschw.)

3. Kenndaten Regelkreis am Stabilitätsrand entnehmen: und

4. Einstellwerte für günstiges Führungsverhalten: Ein Bild, das Text, Schrift, Screenshot, Reihe enthält.

Automatisch generierte Beschreibung  
Vorteil: einfach  
Nachteile: schwach gedämpfte Regelung; erst ab …-Strecken; Schwingversuch muss zulässig sein

**Methode von Chien, Hrones & Reswick**

– Approximation der Streckensprungantwort durch   
Methode „Näherung durch Wendetangente“

Ein Bild, das Text, Screenshot, Zahl, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung  
🡪 für Führungsverhalten kleineres und Kompensation

Vorteile: einfache Anwendung; keine aufwendige Modellbildung; praxiserprobt

Nachteile: bei extremen – Verhältnissen nicht sinnvoll; keine Regeln für schwingfähige Systeme; Spezifikation wird oft nicht wirklich eingehalten

**Spezifikationen einer guten Regelung**

gutes Führungsverhalten: v(t) nicht zu langsam, nicht zu schwach gedämpft  
🡪 Kompensation langsamer Streckenzeitkonstanten durch Reglernullstellen

gutes Störverhalten: v(t) kein Kriechen  
🡪 Vermeidung der Kompensation langsamer Streckenzeitkonstanten  
🡪 höhere Verstärkung

**7. Optimierung von Regelkreisen**

Ein Bild, das Reihe, Diagramm, Text enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Achtung!   
Zähler muss 1 sein**

**Kaskadenregelung**

Ein Bild, das Text, Reihe, Diagramm, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

(nur möglich wenn zusätzliche Messgröße vorliegt/ermittelbar ist)  
  
Dimensionierung unterlagerter Regelkreis:

Dimensionierung äußerer Regelkreis: Strecke = ( = groß, = klein)  
  
🡪 Ausgangssignal ist Sollwert des inneren Regelkreises 🡪 somit Grenzwerte für einhaltbar  
🡪 gutes Resultat wenn schneller als (innerer Kreis liefert kleine Zeitkonstante)  
🡪 Störung wird in innerer Schleife unterdrückt und wirkt sich dadurch weniger auf aus

**Führungsgrößenumformung / Vorfilter** *(Ziel: Verbesserung Führungsverhalten)*wenn Regler auf gutes Störverhalten eingestellt wurde, zB mit SO

1. Möglichkeit: Zwei-Freiheitsgrade-Struktur mit Vorfilter

Ein Bild, das Diagramm, Reihe, Schrift, Text enthält.

Automatisch generierte Beschreibung  
Ergänzung Vorfilter außerhalb Regelkreis-Schleife  
Führungsübertragungsfunktion:   
🡪 ( so vorgeben, dass realisierbar (genug Pole!))  
🡪 damit und unabhängig voneinander einstellbar  
Nachteil: Bei Änderung von Regler , muss auch neu dimensioniert werden

2. Möglichkeit: Zwei-Freiheitsgrade-Struktur mit Vorfilter und Streckenmodell

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, Plan enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Ergänzung Vorfilter außerhalb Regelkreis-Schleife und Ergänzung Streckenmodell  
🡪 am besten (kann dann in gekürzt werden)  
Führungsübertragungsfunktion:   
🡪 (da ) ( so vorgeben, dass realisierbar (genug Pole!))

**Störgrößenaufschaltung** *(Ziel: Verbesserung Störunterdrückung)*

Ein Bild, das Diagramm, Reihe, Rechteck, parallel enthält.

Automatisch generierte Beschreibung  
🡪 wenn Störung kommt, kann gleich Stellsignal erhöht werden

(d.h. Voraussetzung ist, dass Störung gemessen werden kann)  
🡪 für Störunterdrückung muss Zähler = 0 werden   
🡪 ideale Störunterdrückung: 🡪 meist nicht realisierbar   
bzw. (mit ) (zB mit )  
🡪 asymptotische Störunterdrückung: (in diesem Fall ist ein P-Glied!)

**8. Erweiterung des einfachen Regelkreises: Störgrößenaufschaltung, Vorfilter, Kaskadenregelung**

Bilineare Transformation (Standard für Digitalfilter-Entwurf; in Praxis keine Vorteile)

Sprunginvariante Transformation (aufwendige Rechnung, dafür „echt“ zeitdiskreter Entwurf)  
Vorgehen: mit   
**(bei nur !!)**

**Diskretisierungsmethoden**

Vorwärtsdifferenz (einfach und in Praxis beliebt)

Bsp. PT1: 🡪

Näherung:   
🡪   
 *„neu“ = „alt“ + „alt“*

🡪 z-Übertragungfunktion: (alt.: )

Ein Bild, das Diagramm, Reihe, Schrift, Plan enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Rückwärtsdifferenz (unempfindlicher gegen größere )

Ein Bild, das Text, Handschrift, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Ein Bild, das Text, Handschrift, Schrift, Diagramm enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Ein Bild, das Text, Diagramm, Screenshot, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung  
  
statt Integratoren nun Verzögerungsglieder 🡪 Verzögerung um einen Abtasttakt  
stabil wenn alle Pole im Einheitskreis liegen

Ein Bild, das Text, Diagramm, Schrift, Reihe enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

quasikontinuierliche Regelung für Abtastzeit   
(mit = Radius Kreis in s-Ebene um Nullpunkt, der **alle Pole und NS** **von und**  (nicht !) einschließt; alternativ rechnerisch: maximaler Betrag aller Pole und NS)  
🡪 da in Praxis häufige Verletzung der Faustformel Stabilitäts-/Dynamik-Kontrolle erforderlich

**9. Zeitdiskrete Regelung**

**Der zeitdiskrete PIDT1-Regler als Programm**

Ein Bild, das Text, Diagramm, Screenshot, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Der PID-Regler im Zeitdiskreten 🡪 realisierbar mit Rückwärtsdifferenz**

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Differenzierer im Kontinuierlichen und Diskreten**

Ein Bild, das Text, Screenshot, Schrift enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

**Integrator im Kontinuierlichen und Diskreten**

Ein Bild, das Text, Screenshot, Diagramm, Reihe enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Merkmal eines Systems mit I-Anteil:  
- im Zeitkontinuierlichen: Pol bei s = 0  
- im Zeitdiskreten: Pol bei z = 1 und damit Summe der Nenner-Koeffizienten = 0

**ANHANG**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Ergänzung zu 3.** | Betragsgang | Sprungantwort |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |