

Temperaturregelung im 3D-Druck

PID-Regler und Co.

Kenan Kundo & Arne Büngener

Uni Hamburg

Proseminar 3D-Druck, 2015

Übersicht

Allgemeines

Geschichte

Motivation

PID-Regler

Allgemein

P-Regler

I-Regler

D-Regler

PID-Tuning

Anwendung im 3D-Druck

Schematisch

Beispiel-Kurven

Übersicht

Allgemeines

Geschichte

Motivation

PID-Regler

Allgemein

P-Regler

I-Regler

D-Regler

PID-Tuning

Anwendung im 3D-Druck

Schematisch

Beispiel-Kurven

Übersicht

Allgemeines

Geschichte

Motivation

PID-Regler

Allgemein

P-Regler

I-Regler

D-Regler

PID-Tuning

Anwendung im 3D-Druck

Schematisch

Beispiel-Kurven

Geschichte

- wurde zuallererst in der Schiffssteuerung benutzt und dort entwickelt
 - es wurde mehr Wert auf Stabilität als auf Kontrolle gelegt
- zunächst jedoch mit analogen Reglern

Übersicht

Allgemeines

Geschichte

Motivation

PID-Regler

Allgemein

P-Regler

I-Regler

D-Regler

PID-Tuning

Anwendung im 3D-Druck

Schematisch

Beispiel-Kurven

Motivation

- Höhere Stabilität
 - angenehmer
 - sicherer
- Automatisierung der Steuerung
 - Temperaturregelung beim 3D-Druck für gleichmäßige, gute Druckqualität
 - Geschwindigkeitsregelung (Tempomat)
 - Steuerungsregelung (Schiffssteuerung)
 - etc.

Übersicht

Allgemeines

Geschichte

Motivation

PID-Regler

Allgemein

P-Regler

I-Regler

D-Regler

PID-Tuning

Anwendung im 3D-Druck

Schematisch

Beispiel-Kurven

Übersicht

Allgemeines

Geschichte

Motivation

PID-Regler

Allgemein

P-Regler

I-Regler

D-Regler

PID-Tuning

Anwendung im 3D-Druck

Schematisch

Beispiel-Kurven

Begriffe

- Sollwert (Führungsgröße)
- Istwert (Regelgröße)
- Regeldifferenz/-abweichung : Sollwert - Istwert
- Nachstellzeit t_n ()
- Totzeit (Verzögerung vom Signal)

PID-Regler

- Mathematische Beschreibung für einen idealen PID-Regler

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

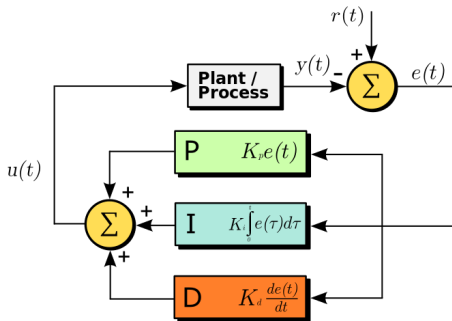


Abbildung: PID-Regler grafisch

Übersicht

Allgemeines

Geschichte

Motivation

PID-Regler

Allgemein

P-Regler

I-Regler

D-Regler

PID-Tuning

Anwendung im 3D-Druck

Schematisch

Beispiel-Kurven

P-Regler

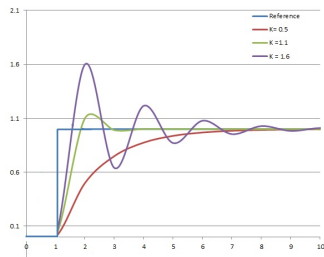
p : proportional

- $K_p e(t)$
- reagiert schnell
- neigt bei zu großem K_d zu „overshooting“

P-Regler

p : proportional

- $K_p e(t)$
- reagiert schnell
- neigt bei zu großem K_d zu „overshooting“



Übersicht

Allgemeines

Geschichte

Motivation

PID-Regler

Allgemein

P-Regler

I-Regler

D-Regler

PID-Tuning

Anwendung im 3D-Druck

Schematisch

Beispiel-Kurven

I-Regler

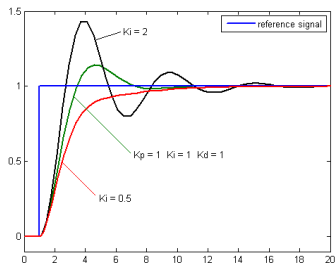
i : integral

- $K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$
- berechnet sich aus Größe und Dauer des „Fehlers“

I-Regler

i : integral

- $K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$
- berechnet sich aus Größe und Dauer des „Fehlers“



Übersicht

Allgemeines

Geschichte

Motivation

PID-Regler

Allgemein

P-Regler

I-Regler

D-Regler

PID-Tuning

Anwendung im 3D-Druck

Schematisch

Beispiel-Kurven

D-Regler

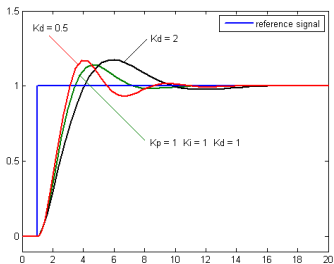
d : derivative (Ableitung)

- $K_d \frac{d}{dt} e(t)$
- nicht allein benutzbar
- „Dämpfer“

D-Regler

d : derivative (Ableitung)

- $K_d \frac{d}{dt} e(t)$
- nicht allein benutzbar
- „Dämpfer“



PID-Regler

- Mathematische Beschreibung für einen idealen PID-Regler

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

Übersicht

Allgemeines

Geschichte

Motivation

PID-Regler

Allgemein

P-Regler

I-Regler

D-Regler

PID-Tuning

Anwendung im 3D-Druck

Schematisch

Beispiel-Kurven

PID-Tuning

- Anpassung der Konstanten K_p , K_i und K_d zur Minimierung von Schwankungen der Ausgangskurve
- Normalerweise Bestimmung der Konstanten durch Experiment
- Abhängig vom System
- Steigerung der Effektivität, bei richtigem Tuning
- andersrum fatal

Übersicht

Allgemeines

Geschichte

Motivation

PID-Regler

Allgemein

P-Regler

I-Regler

D-Regler

PID-Tuning

Anwendung im 3D-Druck

Schematisch

Beispiel-Kurven

Übersicht

Allgemeines

Geschichte

Motivation

PID-Regler

Allgemein

P-Regler

I-Regler

D-Regler

PID-Tuning

Anwendung im 3D-Druck

Schematisch

Beispiel-Kurven

Anwendung

- Temperatursteuerung im Druckkopf

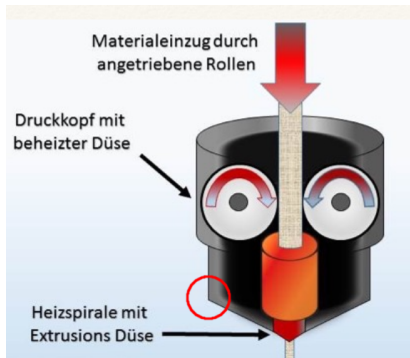


Abbildung: Druckkopf Schematisch, Copyright © 2013. ProTec3D

Übersicht

Allgemeines

Geschichte

Motivation

PID-Regler

Allgemein

P-Regler

I-Regler

D-Regler

PID-Tuning

Anwendung im 3D-Druck

Schematisch

Beispiel-Kurven

Anwendung

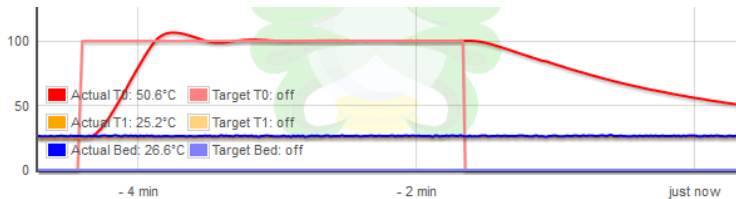


Abbildung: Temperaturverlauf Druckkopf

Anwendung

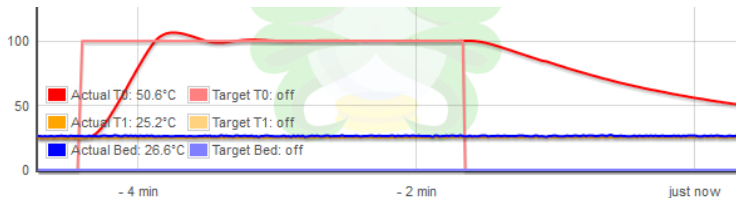


Abbildung: Temperaturverlauf Druckkopf

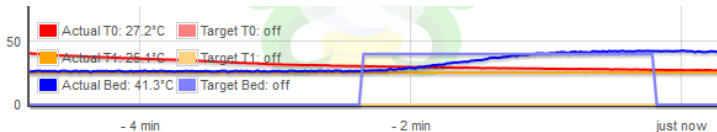


Abbildung: Temperaturverlauf Druckbett

Zusammenfassung

- **Grenzen**
 - Kurvenverarbeitung
 - Starr
- **Optimal für** Steuerung von abstrahierbaren Vorgängen
- **Ausblick:** Software zur Anpassung der Konstanten zur Laufzeit

Quellen I

Zuletzt abgerufen am 23.7.2015

- Kiam Heong Ang, Gregory Chong: PID Control System Analysis, Design, and Technology, 2005
- K. J. Åström: Control System Design, 2002
(<http://www.cds.caltech.edu/~murray/courses/cds101/fa02/caltech/astrom-ch6.pdf>)
- K. J. Åström, R. M. Murray: Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers, 2006
(http://www.cds.caltech.edu/~murray/books/AM08/pdf/am06-complete_16Sep06.pdf, p. 301ff)
- <http://homepages.uni-regensburg.de/~erc24492/PID-Regler/PID-Regler.pdf>
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Change_with_Ki.png
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c7/Change_with_Kd.png
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a3/PID_varyingP.jpg