

# Temperaturregelung PID-Regler beim 3D-Druck

Nils-Hendrik Mohrmann

Fachschaft Informatik

15. Juni 2016

# Gliederung

Temperaturregelung beim 3D-Drucker

Einleitung PID-Regler

PID Berechnung

Schaltung

Tuning

Simulation

Aussichten

Quellen

# Einsatz beim 3D Druck

Temperaturgeregelt:

- Hot End

  - Filament benötigt optimale Temperatur

- Druckbett

  - Für die ersten Schichten wichtig

# Motivation

Verbesserung der Temperatursteuerung  
Druckqualität optimieren

# Hot End

Heizelement:

Heater ring

Sensor:

Heißleiter am Druckkopf

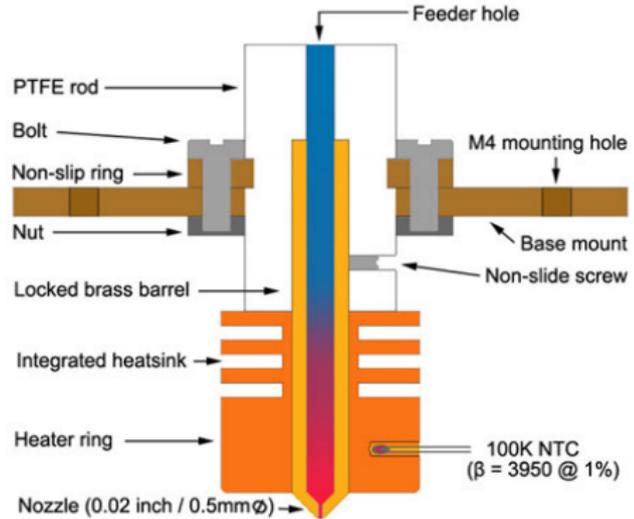


Abbildung 1: Aufbau des Hot End's

# Hot End

Zu hohe Temperatur:  
Material zu flüssig  
Tropfenbildung  
Fadenbildung

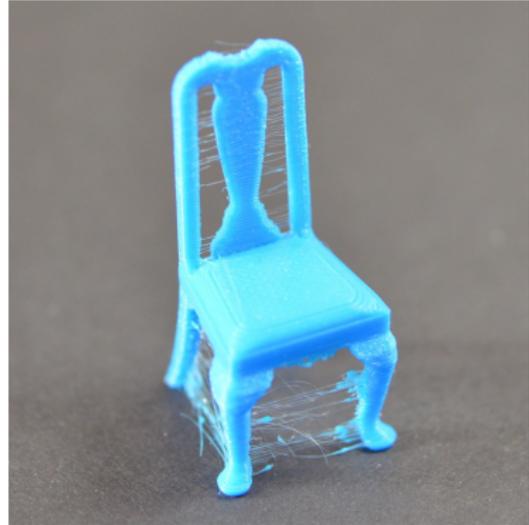


Abbildung 2: Drucker zieht kleine Fäden

# Hot End

Zu hohe Temperatur:  
Kühlt nicht schnell genug ab  
Verformung nach dem Druck

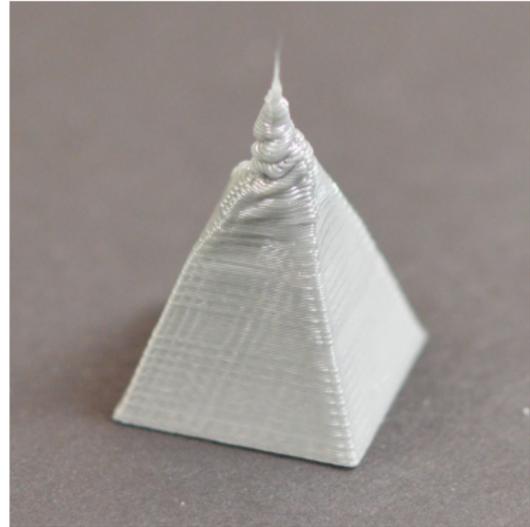


Abbildung 3: Objekt verformt sich

# Druckbett

Temperaturunterschied zu groß:  
Material zieht sich zusammen



**Abbildung 4:** Filament löst sich vom Druckbett

# PID - proportional-integral-derivative

Berechnung der Regelung nach:

P aktuelle Abweichung

I Integral der Abweichung

D Änderungsrate

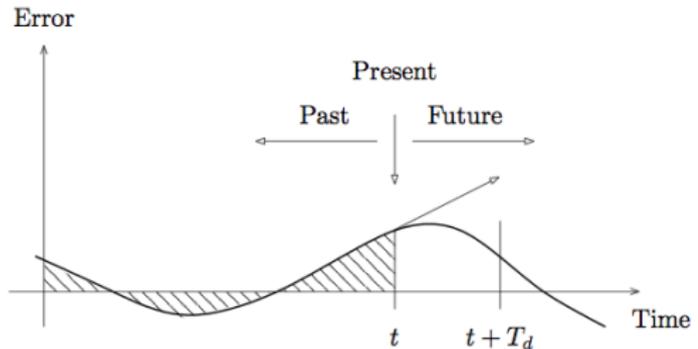


Abbildung 5: 3 Bereiche, die geregelt werden

# PID Berechnung

Addition der 3  
Regelungsberechnungen,  
die von der Abweichung  
abhängig sind

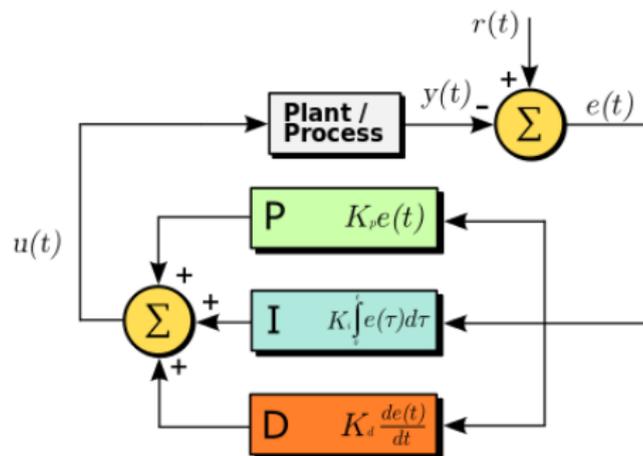


Abbildung 6:  $r$  = Sollwert,  $y$  = Istwert ,  
 $e$  = Abweichung,  $u$  = Regelgröße

# PID Berechnung

Formel

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

$u$  Ausgangs/ Regelgröße

$e$  Abweichung

$K_P$  Koeffizient des proportionalen Anteils

$K_I$  Koeffizient des Integral Anteils

$K_D$  Koeffizient des Ableitungs Anteils

$\tau$  Integral Variable

# Analoge Schaltung eines PID

Operationsverstärker zum  
Vergleichen  
Kondensatoren für das  
Integral/Ableitung

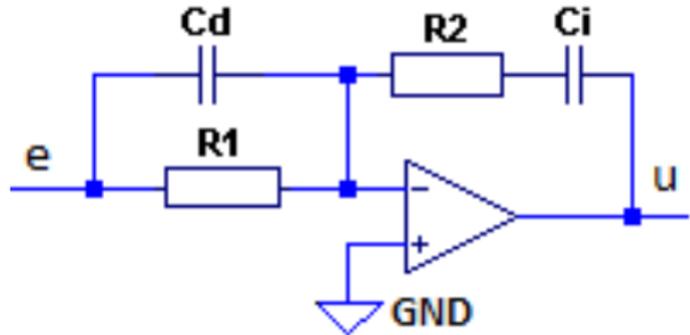


Abbildung 7: Analoger Schaltungskreis

# Digitale Mikroprozessoren

Mikroprozessoren zur  
Berechnung  
A-D / D-A Wandler  
zwischen Regelung und  
Sensoren/ Steuerung

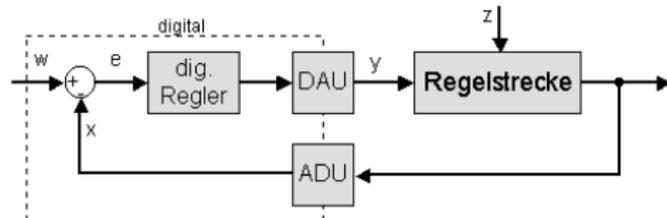


Abbildung 8: Digitaler Schaltungskreis

# Tuning

## Ziele

1. Stabilität und Robustheit
2. Zeitverhalten bis zum eingeschwungenen Zustand
3. Robustheit gegen Außeneinflüsse

# Tuning

Methoden zur Bestimmung:  
Experimentelles Ermitteln der Parameter

1.  $K_P$  halbwegs stabil hochstellen
2.  $K_I$  langsam hochstellen
3.  $K_D$  Dämpfung hinzufügen
4.  $K_P$  leicht anheben

# Tuning

Effekte durch die Veränderung der einzelnen Parameter  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$

**TABLE 1** Effects of independent P, I, and D tuning on closed-loop response.

For example, while  $K_I$  and  $K_D$  are fixed, increasing  $K_P$  alone can decrease rise time, increase overshoot, slightly increase settling time, decrease the steady-state error, and decrease stability margins.

	Rise Time	Overshoot	Settling Time	Steady-State Error	Stability
Increasing $K_P$	Decrease	Increase	Small Increase	Decrease	Degrade
Increasing $K_I$	Small Decrease	Increase	Increase	Large Decrease	Degrade
Increasing $K_D$	Small Decrease	Decrease	Decrease	Minor Change	Improve

Abbildung 9: Veränderung der einzelnen Parameter

# Simulation

Simulation mit PID Basic (Sysquake)

# Simulation

$$K_P = 3,4$$

$$K_I = 0$$

$$K_D = 0$$

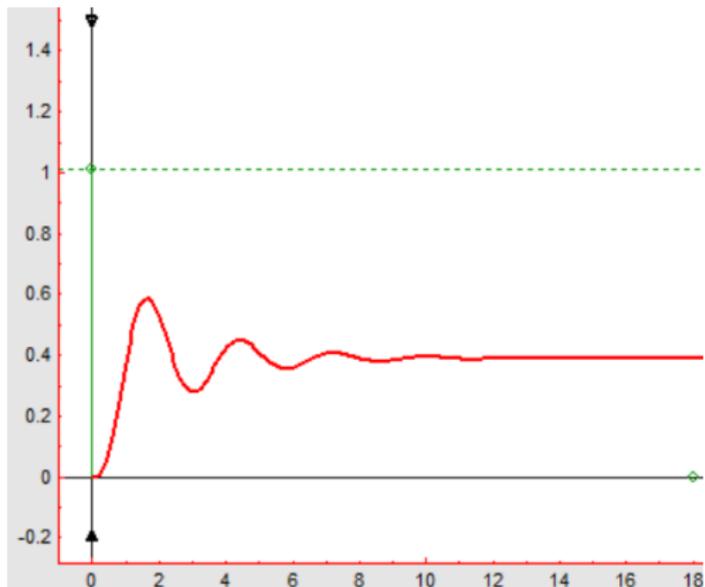


Abbildung 10: PID Basic (Sysquake)

# Simulation

$$K_P = 3,4$$
$$K_I = 1.35$$
$$K_D = 0$$

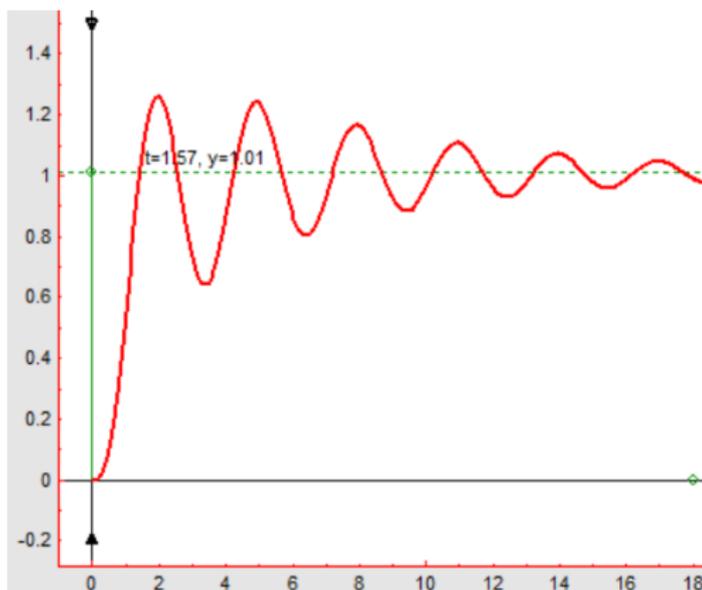


Abbildung 11: PID Basic (Sysquake)

# Simulation

$$K_P = 3,4$$
$$K_I = 1.35$$
$$K_D = 0.35$$

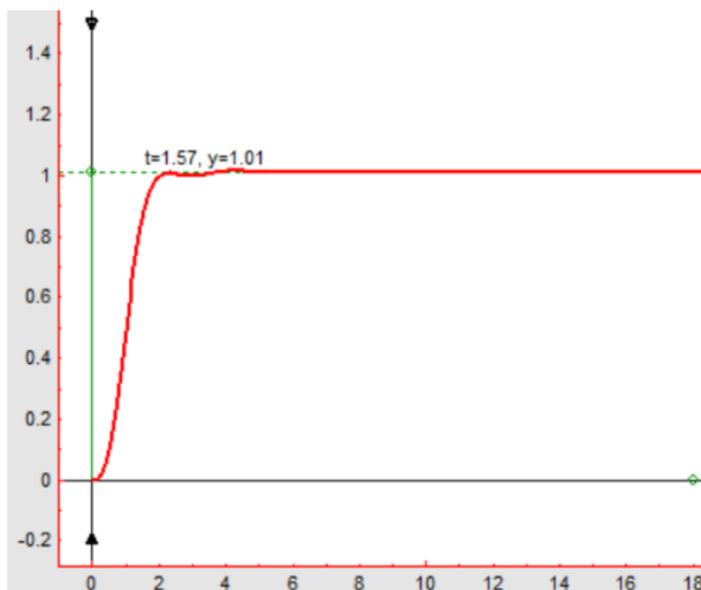


Abbildung 12: PID Basic (Sysquake)

# Ziegler-Nichols Schwingmethode

## Einstellung nach der Schwingmethode

1.  $K_P$  vergrößern bis zum Dauerschwingen ( $K_{P_{krit}}$ )
2. Periodendauer  $T_{krit}$  bestimmen
3. Anhand der Tabelle die Parameter berechnen

Regler	$K_p$	$T_n$	$T_v$
P	$0.5 \cdot K_{p_{krit}}$		
PI	$0.45 \cdot K_{p_{krit}}$	$0.85 \cdot T_{krit}$	
PID	$0.6 \cdot K_{p_{krit}}$	$0.5 \cdot T_{krit}$	$0.12 \cdot T_{krit}$

$$K_i = K_p / T_n$$

$$K_d = K_p \cdot T_v$$

Abbildung 13: Tabelle zur Ziegler-Nichols Schwingmethode

# Aussichten

- Empirisches Einstellen
- Ziegler-Nichols Schwingmethode
- Einstellung nach der Sprungantwort (Ziegler-Nichols)

# Quellen & Literatur

## Paper:

- YUN LI, KIAM HEONG ANG, and GREGORY C.Y. CHONG, "PID Control System Analysis and Design", IEEE CONTROL SYSTEMS MAGAZINE, 2006
- Karl Johan Åström, "Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers", Department of Automatic Control Lund Institute of Technology, 2006
- Kiam Heong Ang, Gregory Chong and Yun Li, "PID Control System Analysis, Design, and Technology", IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, 2005
- Karl Johan Åström, "Control System Design", 2002,  
<http://www.cds.caltech.edu/~murray/courses/cds101/fa02/caltech/astrom-ch6.pdf>
- Experimental tuning of PID controllers,  
[http://techt teach.no/fag/tmp250/v06/pidcontrol/pid\\_tuning.pdf](http://techt teach.no/fag/tmp250/v06/pidcontrol/pid_tuning.pdf)

# Quellen & Literatur

## Web:

<http://rn-wissen.de/wiki/index.php/Regelungstechnik>

[http://www.cds.caltech.edu/~murray/amwiki/index.php/PID\\_Control](http://www.cds.caltech.edu/~murray/amwiki/index.php/PID_Control)

<http://ateam.lbl.gov/Design-Guide/DGHtml/controlblockalgorithms.htm>

<http://www.industrialcontrolsonline.com/training/online/>

[basics-pid-control-proportionalintegralderivative](http://www.industrialcontrolsonline.com/training/online/basics-pid-control-proportionalintegralderivative)

[https://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller)

<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

## Simulation:

<http://www.calerga.com/contrib/1/index.html>

# Quellen & Literatur

## Abbildungen:

- 1: <http://3dprinting.com/3dprinters/fdm-extruder-hot-ends-with-inductive-heating/>
- 2: <https://www.simplify3d.com/wp-content/uploads/2015/09/Hairs-And-Stringing.jpg>
- 3: <https://www.simplify3d.com/wp-content/uploads/2015/09/Over-Heating.jpg>
- 4: <https://www.simplify3d.com/wp-content/uploads/2015/09/Print-Not-Sticking-To-Bed.jpg>
- 5: Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers, Åström S.302
- 6: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:PID\\_en\\_updated\\_feedback.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:PID_en_updated_feedback.svg)
- 7: <http://rn-wissen.de/wiki/index.php?title=Datei:Pidregler.gif>
- 8: <http://rn-wissen.de/wiki/index.php?title=Datei:Digreg.gif>
- 9: PID Control System Analysis and Design, YUN LI S.33
- 10-12: Screenshots aus PID Basic (Sysquake)
- 13: <http://rn-wissen.de/wiki/index.php/Regelungstechnik>