

# Regelungstechnische Aufgaben für die Temperaturregelung im Kunststoffmaschinenbau

## 1 Zusammenfassung

Die Temperaturregelung bei Kunststoffmaschinen ist ein Beispiel für eine dezentrale intelligente Komponente in einem Automatisierungssystem. Der Trend geht seit Jahren dahin, dass außer dem Anschluß des Sensors und der Stellglieder nur noch der Sollwert für die zu regelnde Temperatur vorgegeben wird. Den Rest, d.h. die Konfigurierung und Parametrierung und dabei speziell die Ermittlung der benötigten Regelparameter, soll der Regler selbständig ausführen. In diesem Beitrag wird eine Lösung für den Regelalgorithmus und die Selbstoptimierung vorgestellt, die dieser Forderung schon sehr nahe kommt. Dabei ist die Lösung stark von technischen Randbedingungen und von der nötigen hohen Zuverlässigkeit geprägt.

## 2 Einführung

Von den Herstellern von Komponenten zur dezentralen Temperaturregelung bei Kunststoffmaschinen wird erwartet, dass sie Geräte anbieten, die beim Anschluß und bei der Inbetriebnahme möglichst keinen Aufwand verursachen. Danach muss der Regler hohe Forderungen an die Regelabweichung bei verschiedenen Betriebszuständen der Maschine erfüllen.

Die Regler haben typischerweise folgende Anschlüsse:

Regelgrößeneingang: für Thermoelement, seltener Pt100

Stellgrößenausgang: Relaiskontakt oder Binärsignal für Solid-State-Relais für geschaltete Heizung und Kühlung

Busschnittstelle: für Kommunikation zur übergeordneten Steuerung (CAN-Open, Profibus DP, RS485, ...)

sonstige I/O: Anschluß für Heizstromüberwachung Alarmausgänge, etc.

Die Inbetriebnahme sieht idealerweise so aus, dass über die Steuerung der Temperatursollwert vorgegeben wird und der Regler aktiv geschaltet wird.

Zur Realisierung dieser Idealvorstellung bei der Inbetriebnahme und der geforderten Regelgüte muss neben vielen anderen Aspekten ein geeigneter Regelalgorithmus und eine dazu passende Selbstoptimierung der Regelparameter existieren.

Im folgenden werden nur die regelungstechnischen Aspekte dieser Aufgabe betrachtet und am Beispiel der Zylinderzonen bei Extrudern, Folienblasmaschinen oder Spritzgussmaschinen gezeigt.

Für alle folgenden Darstellungen wurde eine PT3-Regelstrecke mit den Zeitkonstanten  $T_x = 90, 3, 1.5 \text{ min}$  und der Streckenverstärkung  $K_s = 1000K / 100\%$  simuliert.

### 3 Forderungen an den (optimierten) Regler:

#### Schnellstmögliches Anregeln

Die theoretisch minimale Anregelzeit kann bei voller Heizleistung (z.B. 2-Pkt-Regler ohne Rückführung) bis zu 2h betragen.

Die Betriebsbereitschaft (ausgeregelter Temperatur) muss möglichst schnell erreicht sein.

=> Verhalten wie dead beat erwünscht

=> hohe Reglerverstärkung

#### Überschwingungsfreies Führungsverhalten

Kunststoffe vertragen keine Überhitzung ohne Qualitätsverlust oder Schaden, speziell bei PVC kann Beschädigung der Anlage erfolgen.

=> Führungsoptimierung, d. h.  $T_n$  groß bei linearer Regelung



Bild 1: Gewünschtes "dead beat"-Verhalten des Reglers

#### Schnellstmögliche Ausregelung von Störungen

Der Start bzw. Stop der Maschine / Anlage führt u. U. zu starken Arbeitspunktänderungen. Die benötigte mittlere Stelleistung kann sich um einige -zig Prozent ändern.

Eine Störgrößenaufschaltung existiert in der Regel nicht.

=> Störoptimierung, d. h.  $T_n$  klein

=>  $X_p * T_n$  (Regelfläche) ist streng zu minimieren

#### Kein "hin und her" zwischen Heizen und Kühlen

Bei einem 3-Pkt.-Regler und einem Arbeitspunkt, der einen sehr geringen Heizen- oder Kühlenstellgrad benötigt, darf keine Energievernichtung erfolgen.

=> dynamische Totzone

#### Nicht zu kleiner Stellzyklus

Um den Verschleiß der Stellglieder zu reduzieren, ist der Stellzyklus zu maximieren.

=> u. U. hohe Totzeit bei Pulsweitenmodulation

=> deshalb hohe Reglerverstärkung nicht möglich

#### 4 Streckeneigenschaften = "Freiheitsgrade" für die Lösbarkeit der Regelungsaufgabe:

##### PTn-Verhalten

Die Strecken besitzen nur reelle Pole und meist keine Nullstellen.

Sie sind gut modellierbar mit PT3 (d. h. mit Ausgleich).

=> Einheitliche Struktur des Regelalgorithmus möglich

=> modifizierter PID bzw. PDPI

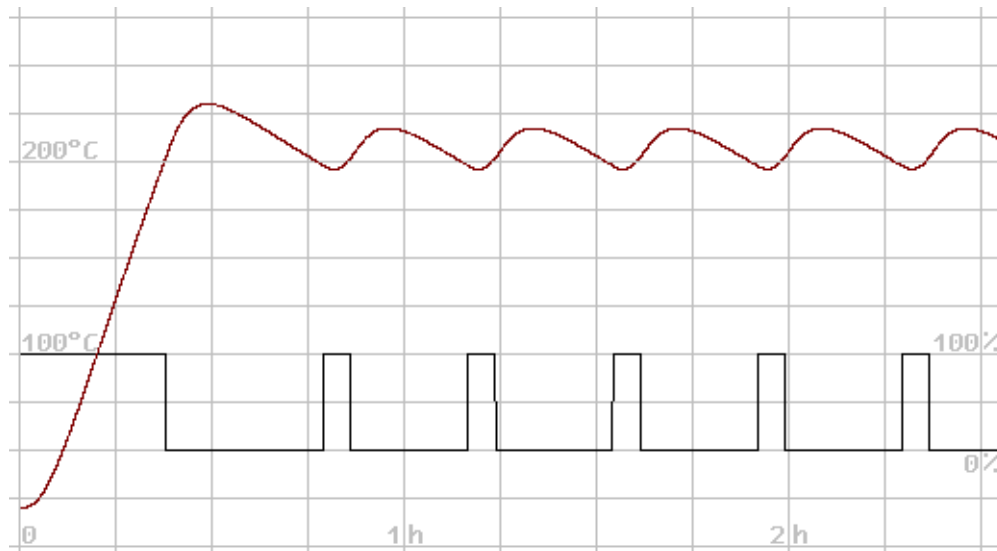


Bild 2: Reaktion der Strecke auf 2-Pkt.-Schalter zur Veranschaulichung der Streckendynamik

##### Zeitinvariant

Die verschiedenen Betriebszustände lassen sich hinreichend gut durch eine konstante Streckendynamik mit einer sprungförmigen Störgröße darstellen.

=> Zeit- und arbeitspunktinvariante Regelparameter

##### Verkopplungen

Benachbarte Regelzonen sind in der Regel verkoppelt.

Durch die Festwertregelung der Nachbarzone(n) reduziert sich der Einfluß in erster Näherung auf eine konstante Last.

=> Regelparameter nicht abhängig von der Regelung der Nachbarzone(n)

##### Geschaltete Stellenergie

Die Stellgröße darf beliebig unruhig sein, da das auf die Häufigkeit der Schaltvorgänge keinen Einfluß haben muss.

Ausnahme: Rasche Vorzeichenwechsel verboten (Heizen <-> Kühlen)

=> Hohe Regelverstärkung,

=> fast ungedämpfter Vorhalt möglich

Lösung der Widersprüche:

Die Widersprüche existieren nur bei einem linearen Ansatz

- => nichtlineare Reglerstruktur zwingend notwendig
- => aktive Einbeziehung der Stellgrößenbegrenzung
- => I-Teil benötigt Spezialbehandlung bei PID-Struktur
- => PDPI-Struktur

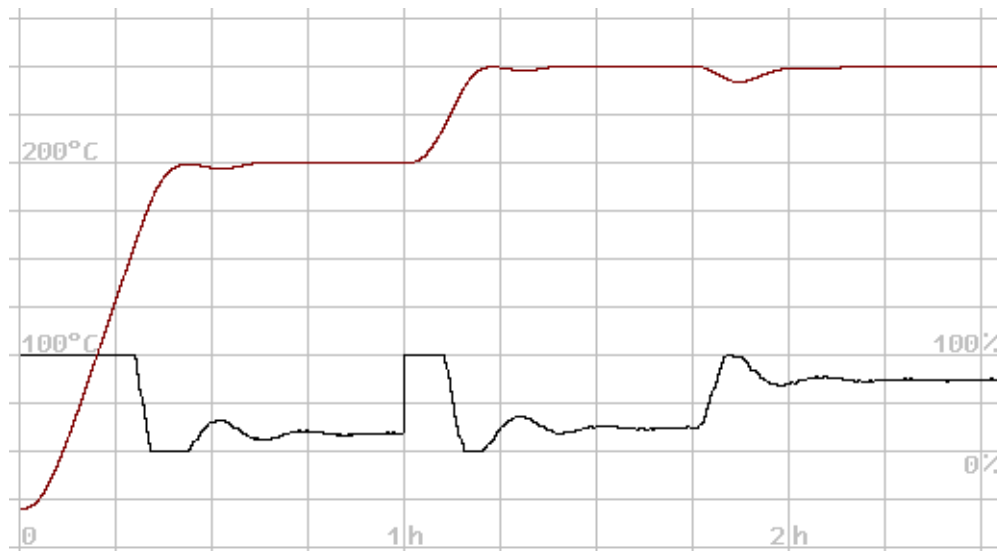


Bild 3: Regelverhalten eines 2-Pkt.-Reglers (Anfahren, Sollwertsprung, 50%-Laststoß)  
Reglerdaten:  $X_{pI} = 14.8K$ ,  $X_{pII} = 19.2K$ ,  $T_n = 6.9min$ ,  $T_v = T_n/4$ ,  $T_c = 20s$

## 5 Forderungen an die Robustheit:

Brauchbares Reglergebnis ohne Parametrierung oder Optimierung durch den Kunden  
Ein Teil unserer Kunden baut die Regler in diverse Zonen der Maschine ein ohne die Werkseinstellung der Parameter zu verändern.

Unerwünschte Parameter

Die Anwender bedienen praktisch nur die Sollwerte. Die Regelparameter und Konfigurationseinstellungen sind unerwünschter Ballast. D.h.  $X_p$ ,  $T_n$  und  $T_v$  müssen nicht sein. Die Regelparameter einer völlig anderen Struktur können auch H0, H3 und H4 heißen. Oder noch besser: Sie sollten ganz entfallen.

=> Die PDPI- und die modifizierte PID-Struktur sind hinreichend robust für diese Anwendungen.

## 6 Forderungen an die Optimierung:

Die Selbstoptimierung muss immer brauchbare Parameter ermitteln.

Der Anwender verläßt sich blind auf die Funktion der Selbstoptimierung, er überwacht oder beeinflusst weder den Ablauf noch das Ergebnis der Optimierung.

Eine einfache Bedienung ist erforderlich !

Die Optimierung darf den Betrieb (möglichst) nicht beeinflussen  
Schwingungen etc. während des Betriebs sind nicht erlaubt.  
Eine Verzögerung des Anfahrvorgangs muss sich "in Grenzen halten".

Die Selbstoptimierung muss jederzeit startbar sein.

Voraussetzungen für den Zustand der Strecke muss die Selbstoptimierung selbst schaffen.

- => Es kommt nur eine Anfahr- (Inbetriebnahme-) Adaption in Frage.
- => Eine Weiterentwicklung der (uralten) Verfahren von Ziegler u. Nichols sowie Chien, Hrones und Reswick haben sich unter den gegebenen Bedingungen als mit Abstand am brauchbarsten erwiesen.

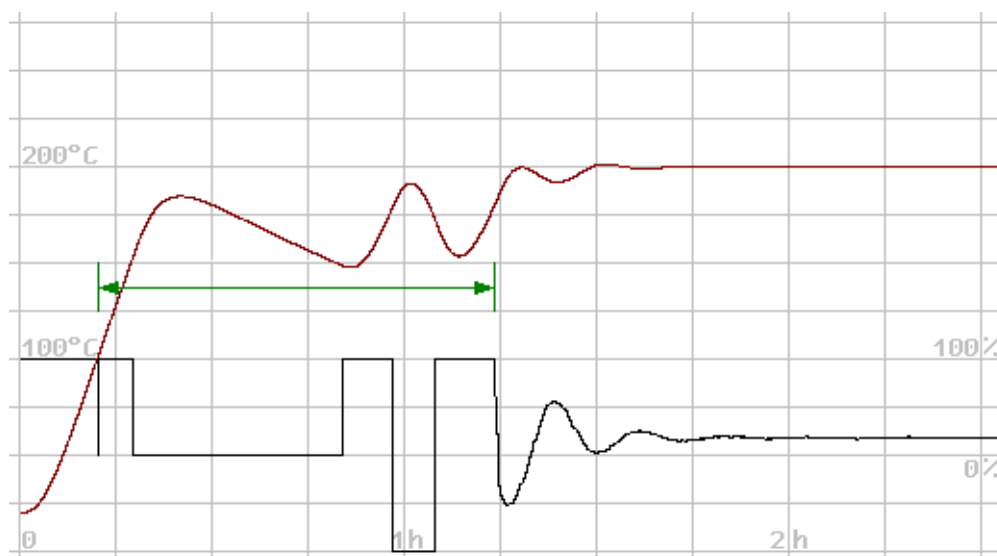


Bild 4: Einfache 3-Pkt.-Anfahroptimierung

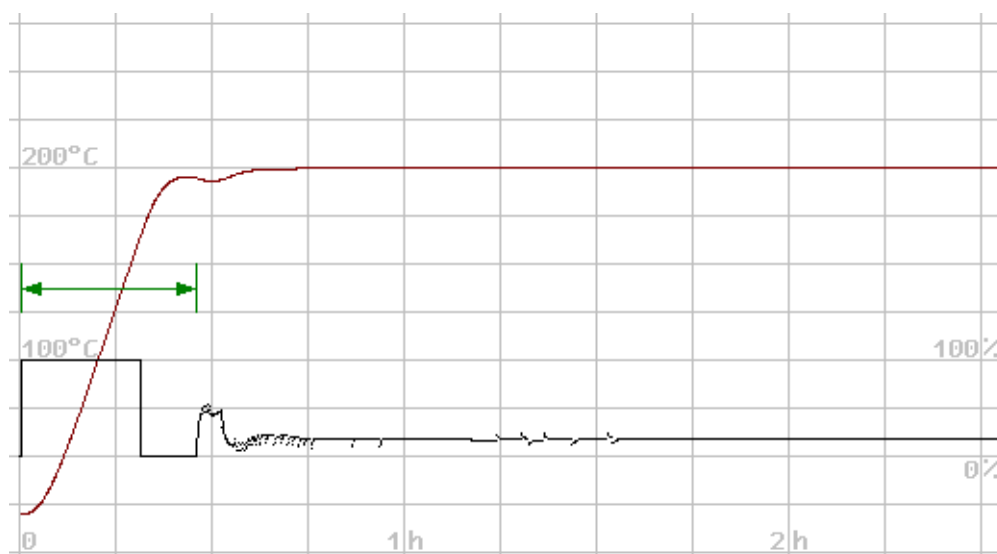


Bild 5: Verkürzte 2-Pkt.-Anfahroptimierung