

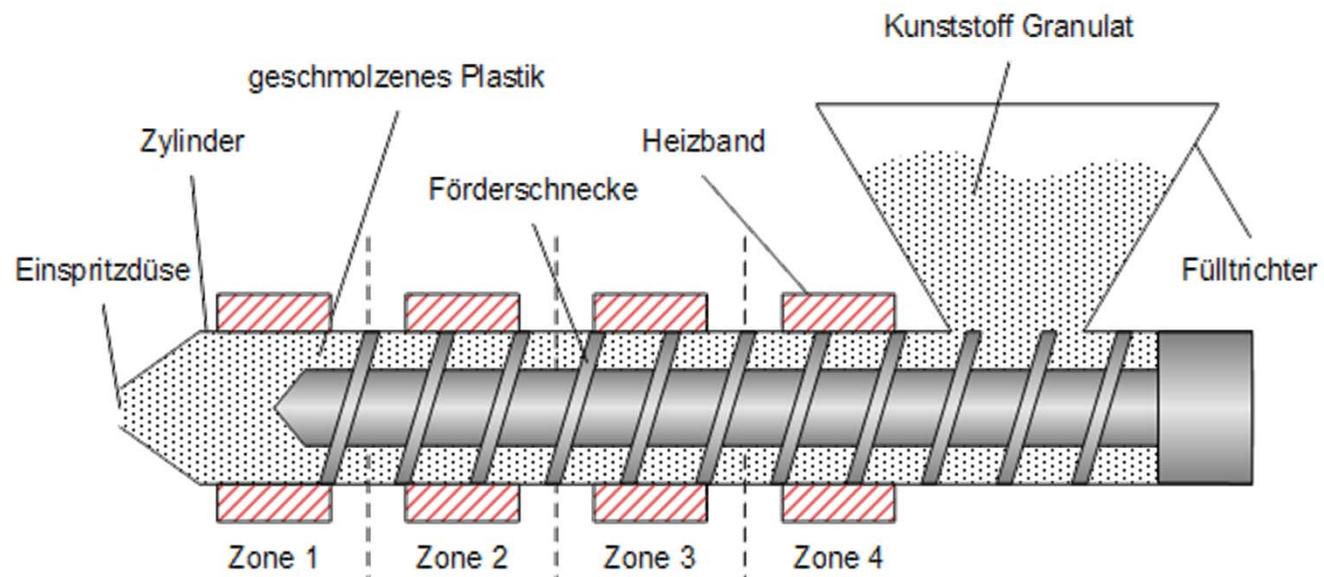


Bachelorarbeit

Temperaturregelung eines Kunststoffextruders



Aufbau Extruder





Simulationsmodell erstellen/erweitern

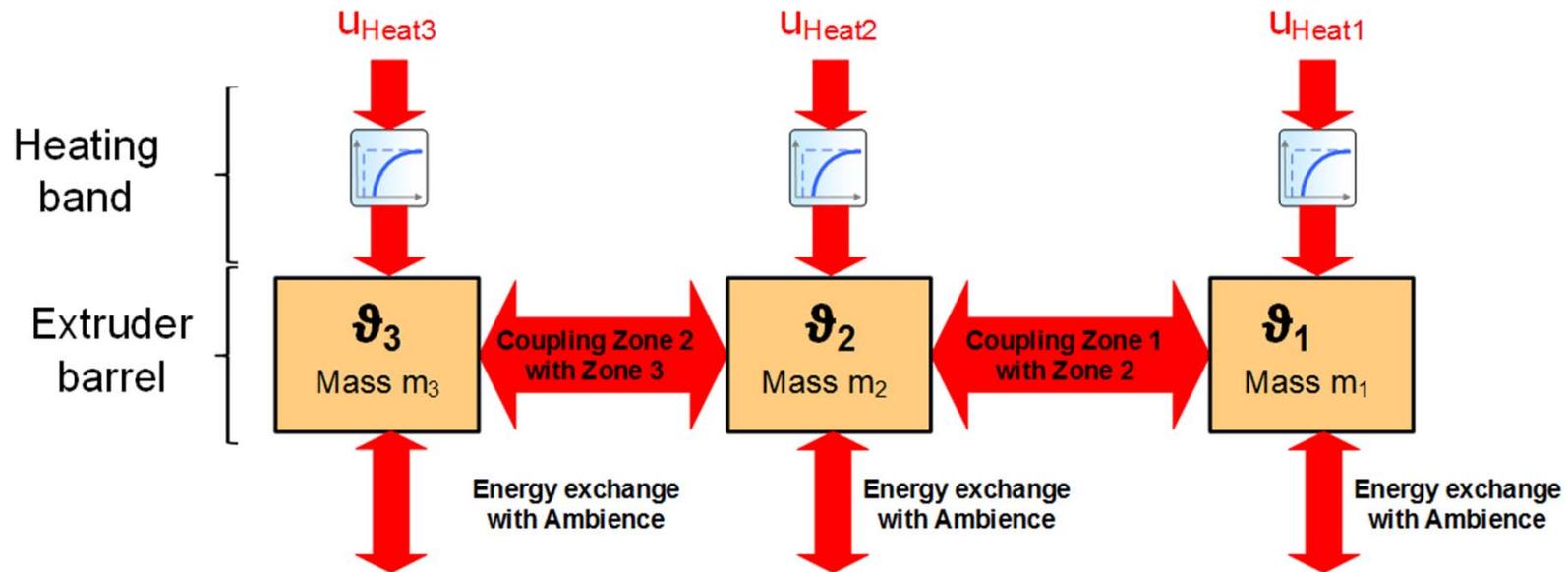
Kopplungen sollen berücksichtigt werden

Verifizierung am realen Extruder

Messung vorbereiten

Messungen definieren (Anregungssequenz)

Messungen am Extruder durchführen





Potentialanalyse

Optimale Steuerungsaufgabe für gleichmäßiges Aufheizen

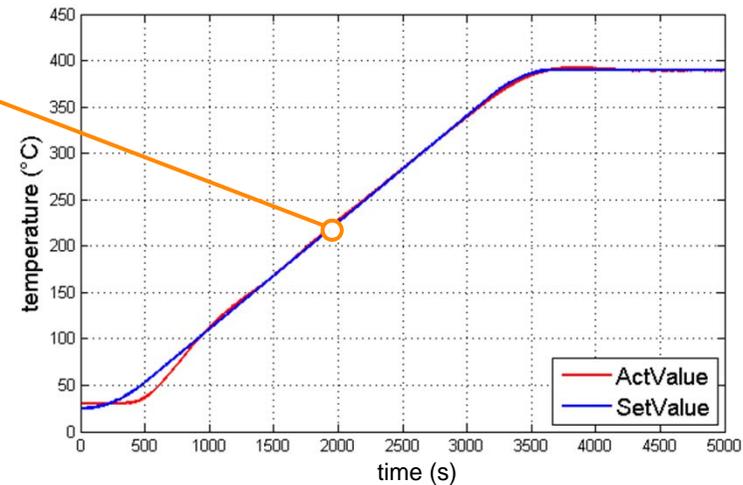
- Alle Zonen sollen einer vorgegebenen Trajektorie folgen um Material gleichmäßig zu erhitzen

Wie schnell kann man das System aufheizen

Konzepterstellung

Synchronisation auf einer echtzeitfähigen SPS zum gleichmäßigem Aufheizen

Synchronisierte
Aufheizrampe



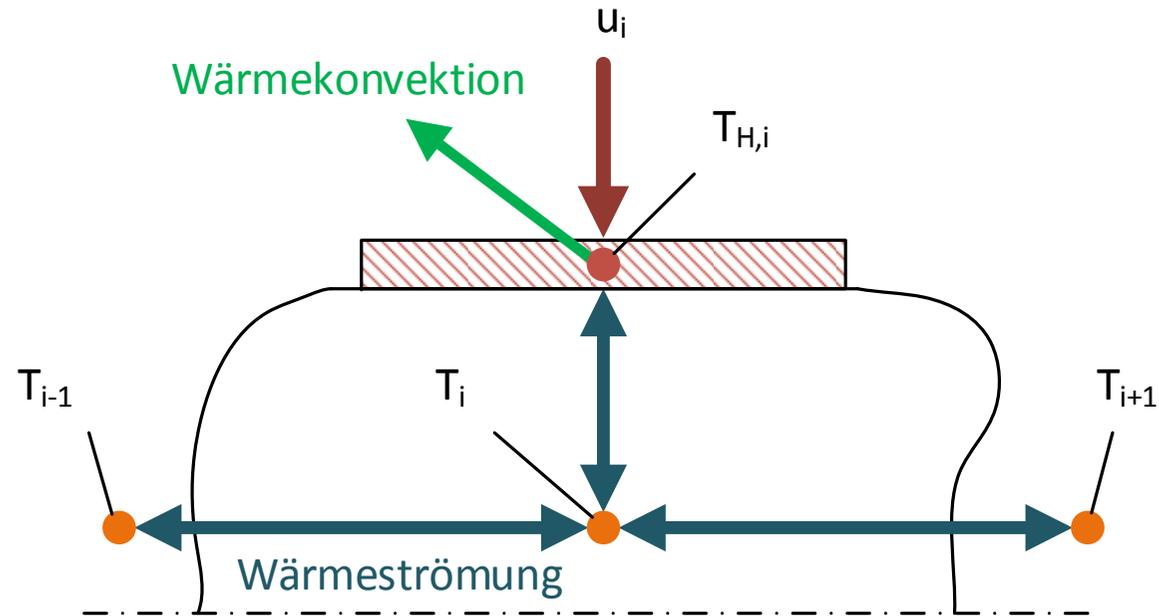


Modellbildung





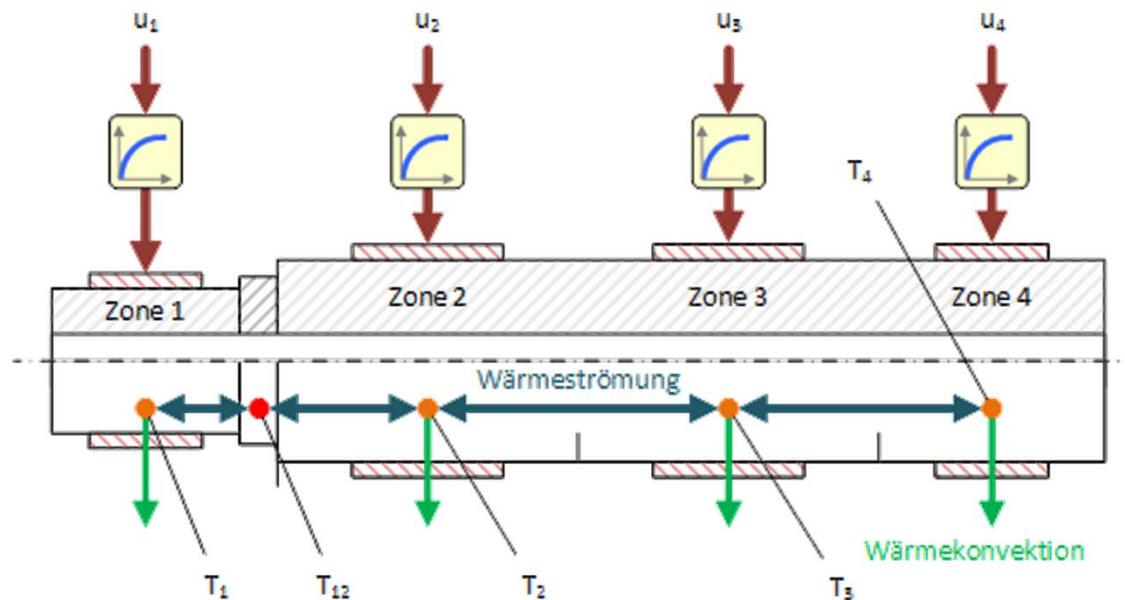
Physikalisches Modell



$$m_{H,i} c_{H,i} \frac{\partial}{\partial t} T_{H,i} = -\alpha_i M_{H,i} T_{H,i} + P_{\max} * u_i$$

$$\frac{d}{dt} T_i = \frac{1}{m_i c_i} (-\lambda_{i-1,i} A_{i-1,i} (T_i - T_{i+1}) - \lambda_{i,i+1} A_{i,i+1} (T_i - T_{i+1}) - \lambda_{H,i} A_{H,i} (T_i - T_{H,i}))$$

Heuristisches Modell



$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x}$$

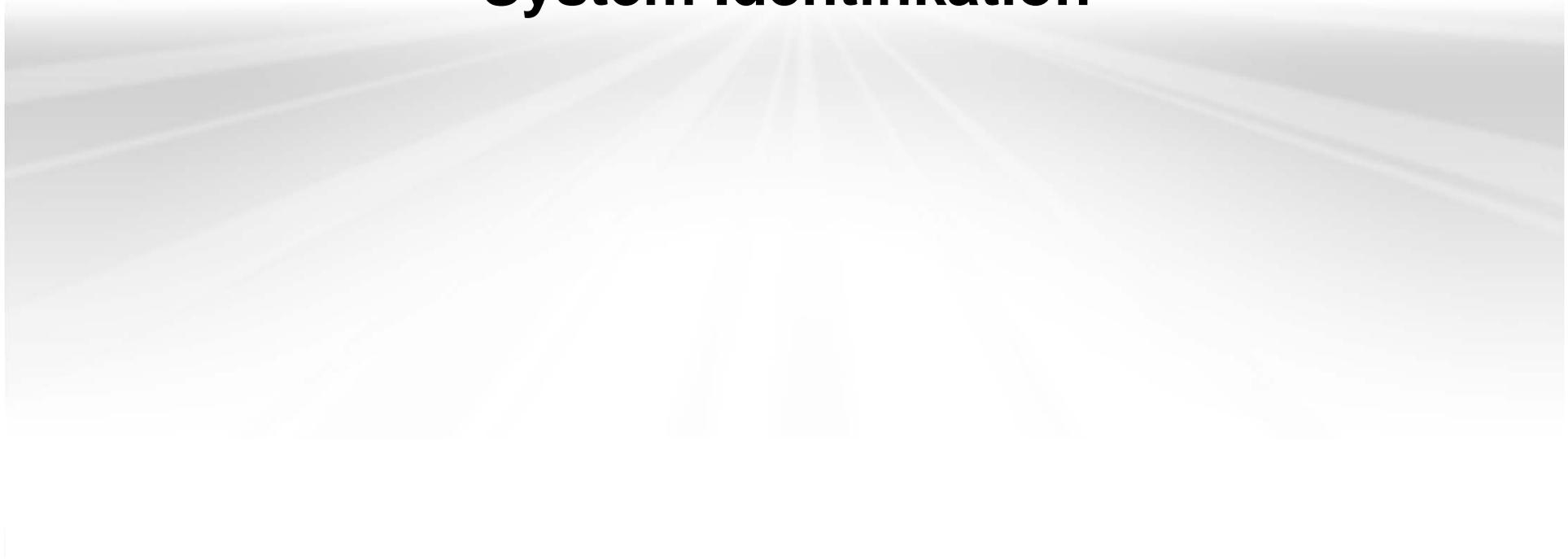
$$\mathbf{x}^\top = [P_1 \quad P_2 \quad P_3 \quad P_4 \quad T_1 \quad T_z \quad T_2 \quad T_3 \quad T_4]$$

$$\mathbf{u}^\top = [u_1 \quad u_2 \quad u_3 \quad u_4]$$

$$\mathbf{y}^\top = [T_1 \quad T_2 \quad T_3 \quad T_4]$$



System Identifikation





Grey Box Identifikation

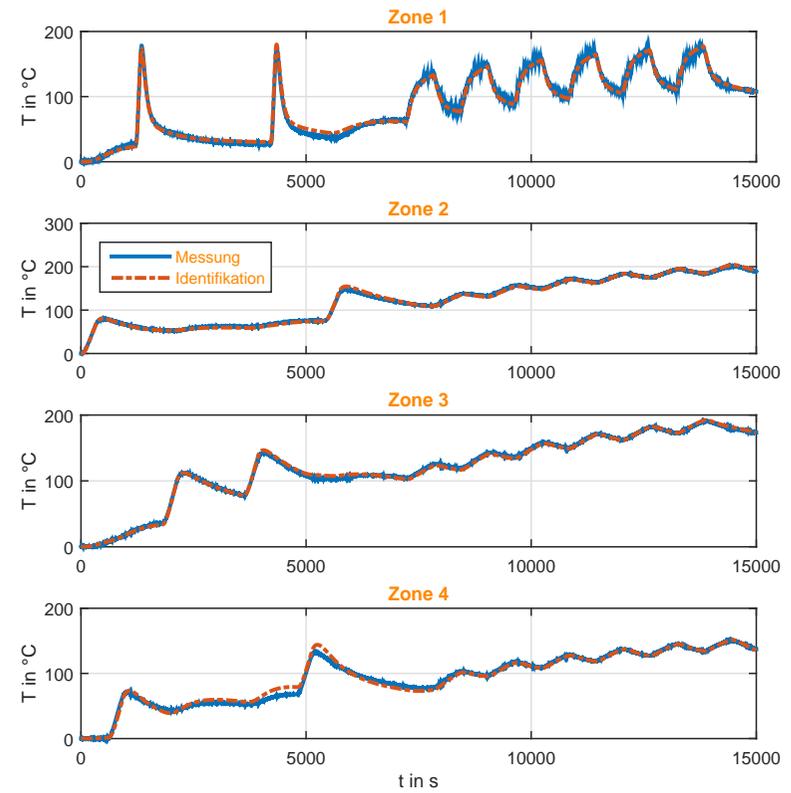
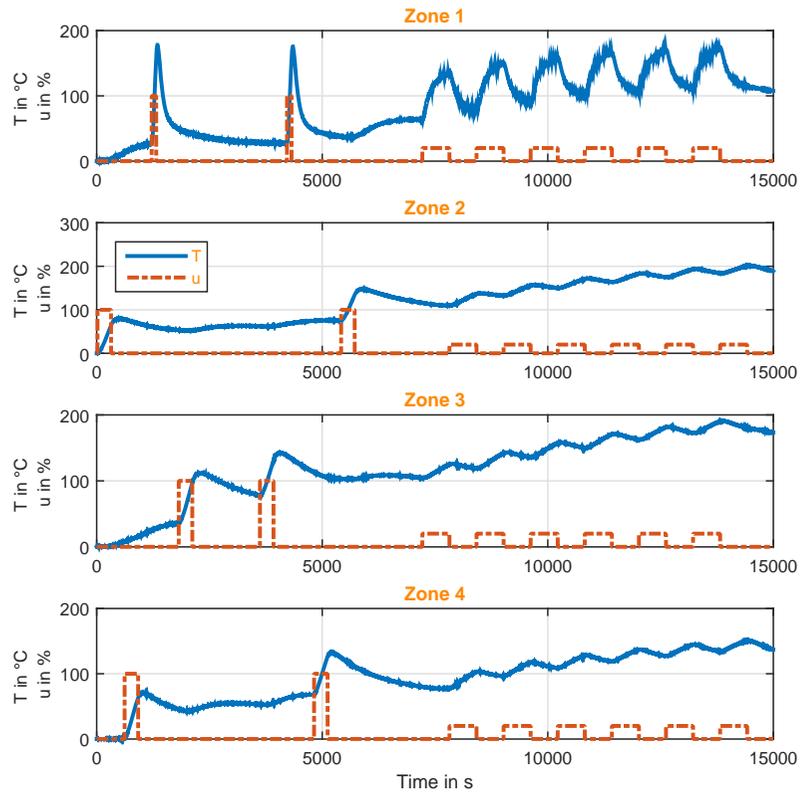
- Minimiert wird der Quadratische Fehler

$$J(\Theta) = \frac{1}{N} \sum_1^N \mathbf{e}^\top(t, \Theta) \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{e}(t, \Theta)$$

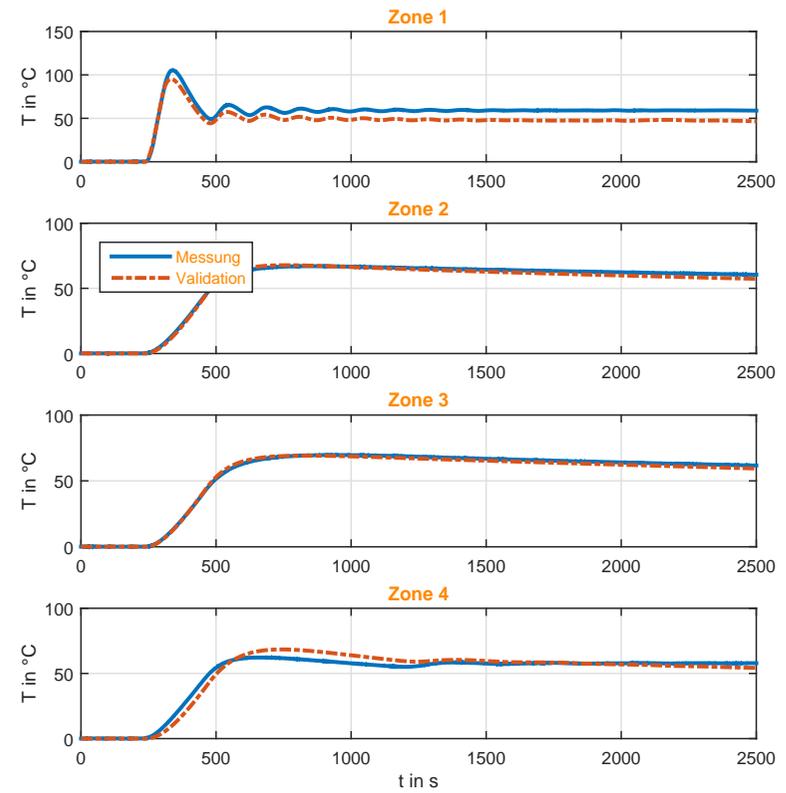
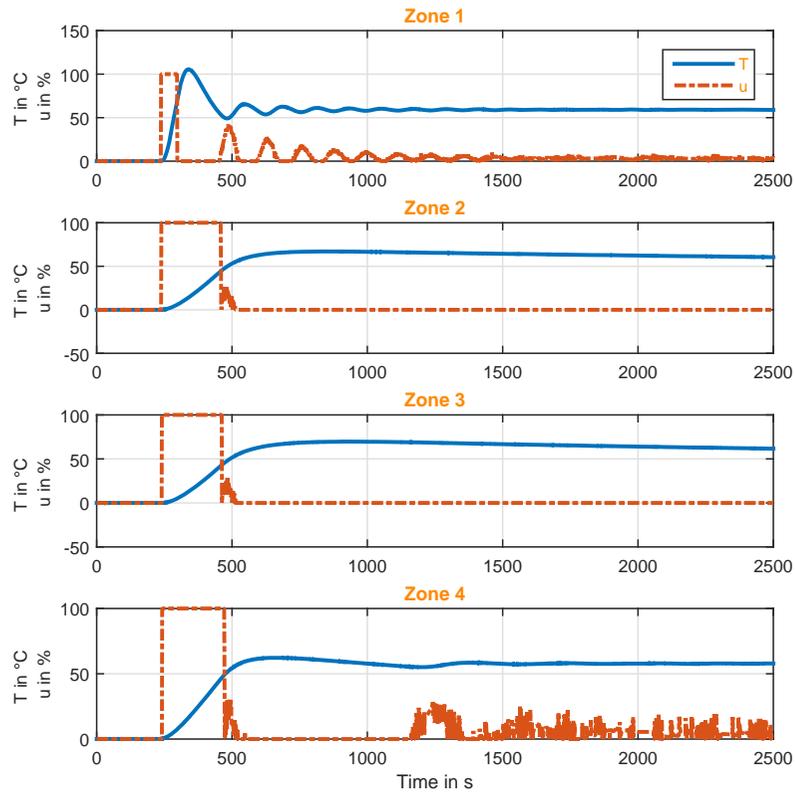
$$\Theta^\top = [T_{1,1} \ T_{1,2} \ T_{1,3} \ T_{1,4} \ C_1 \ C_{12} \ C_2 \ C_3 \ C_4 \ a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ \Lambda_{12} \ \Lambda_{21} \ \Lambda_{23} \ \Lambda_{34}]$$

- Subspace Gauß-Newton Verfahren
 - Singuläre Werte der Jakobimatrix J werden verworfen
 - Hessematrix wird durch $J^\top J$ approximiert
 - Ergibt sich keine Verbesserung durch $J^\top J$ wird die Gradientenrichtung verwendet

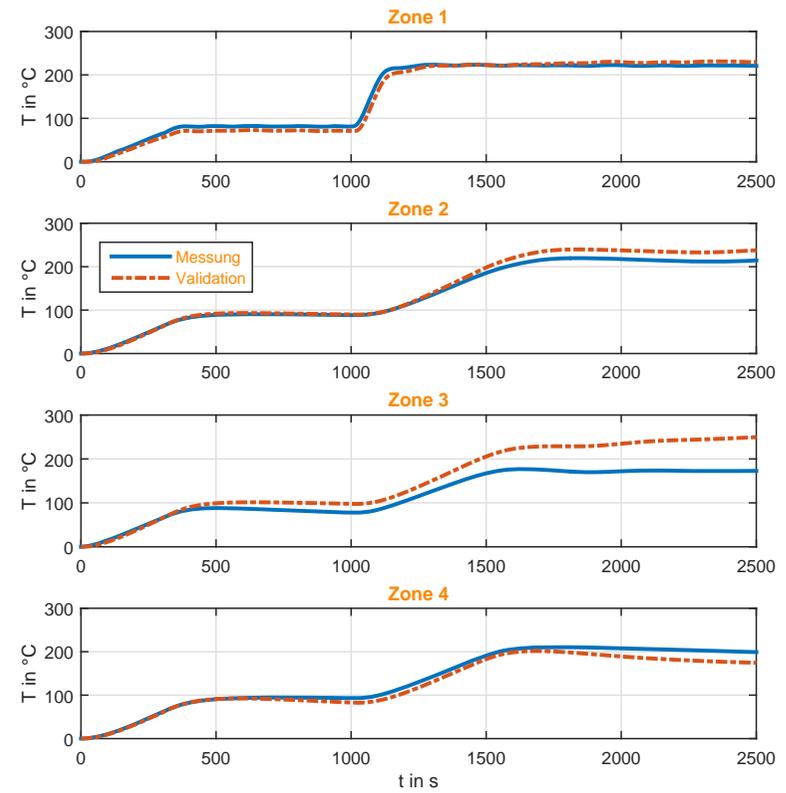
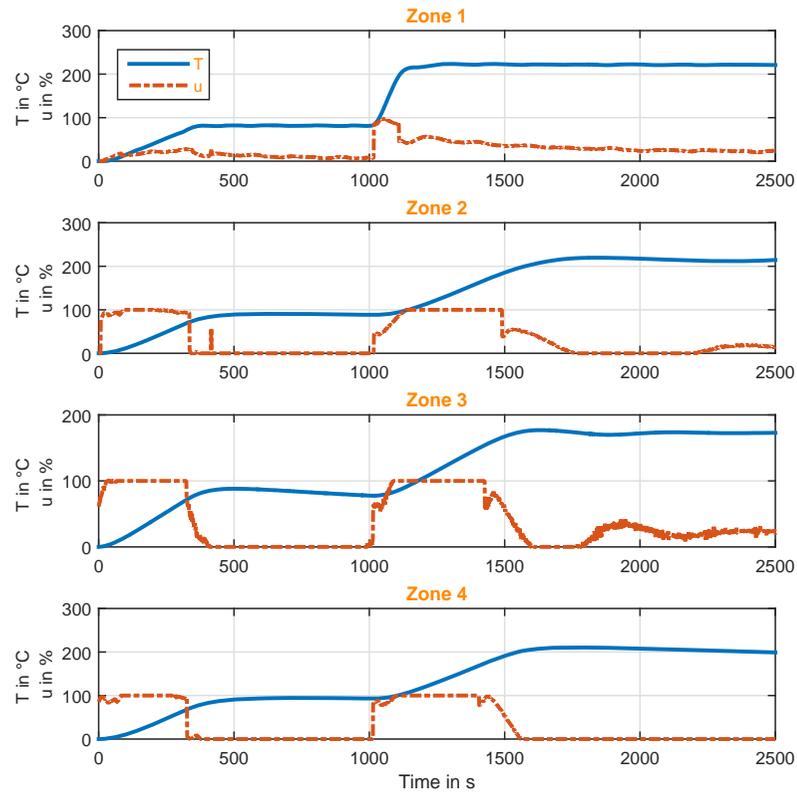
Messdaten



Validationsdaten 1



Validationsdaten 2





Suchen des maximal erreichbaren Ergebnis
Optimale Steuerung





Allgemeines

- Extrudermodell wird diskretisiert (Abtastzeit = 60 s)
 - Lösung mit direktem Verfahren
- Für jeden Abtastschritt wird die Stellgröße vorgegeben
 - Stellgrößenfolge entspricht den Optimierungsparametern
- Synchrones Aufheizen
 - Sollwert soll so schnell wie möglich erreicht werden
 - Temperatur aller Zonen soll gleich bleiben

$$J(\mathbf{T}) = \sum_{i=0, j=0, i \neq j}^{3,3} q_{i+j} (T_{i+1} - T_{j+1})^2 = q_1 (T_1 - T_2)^2 + q_2 (T_1 - T_3)^2 \dots$$



Kostenfunktion

$$\min_{\mathbf{u}_k} J(\mathbf{u}_k) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \mathbf{y}_i^\top \mathbf{Q}_1 \mathbf{y}_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (\mathbf{y}_i - \mathbf{y}_{ref})^\top \mathbf{Q}_2 (\mathbf{y}_i - \mathbf{y}_{ref})$$

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}_d \mathbf{x}_k + \mathbf{B}_d \mathbf{u}_k$$

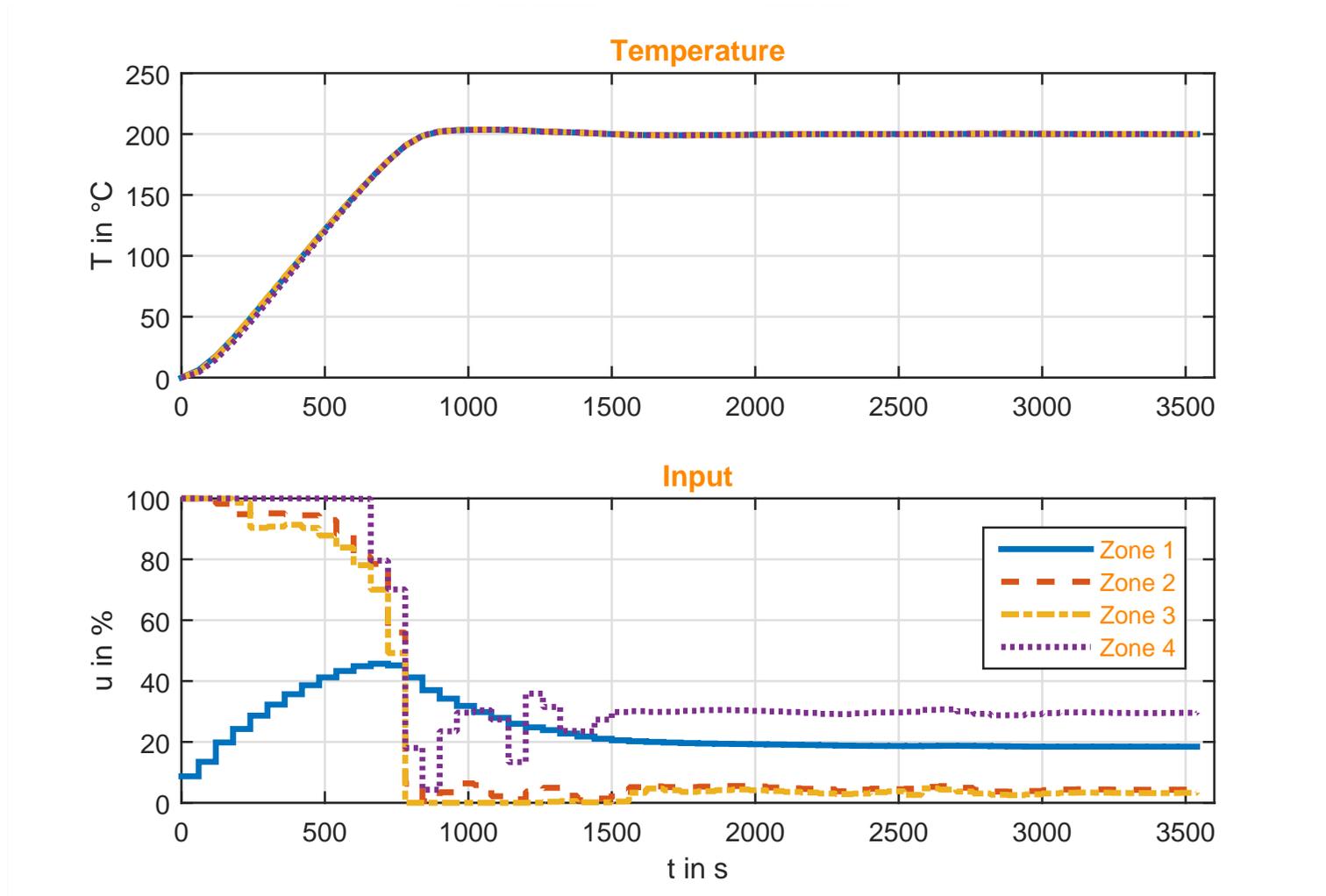
$$\mathbf{y}_k = \mathbf{C}_d \mathbf{x}_k$$

$$u_{k,i} \leq 100\% \quad i = 1 \dots N$$

$$\mathbf{Q}_1 = 5 \cdot 10^5 \begin{bmatrix} 3 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 3 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 3 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 3 \end{bmatrix} \quad \mathbf{Q}_2 = 1 \cdot 10^4 \mathbf{I}$$



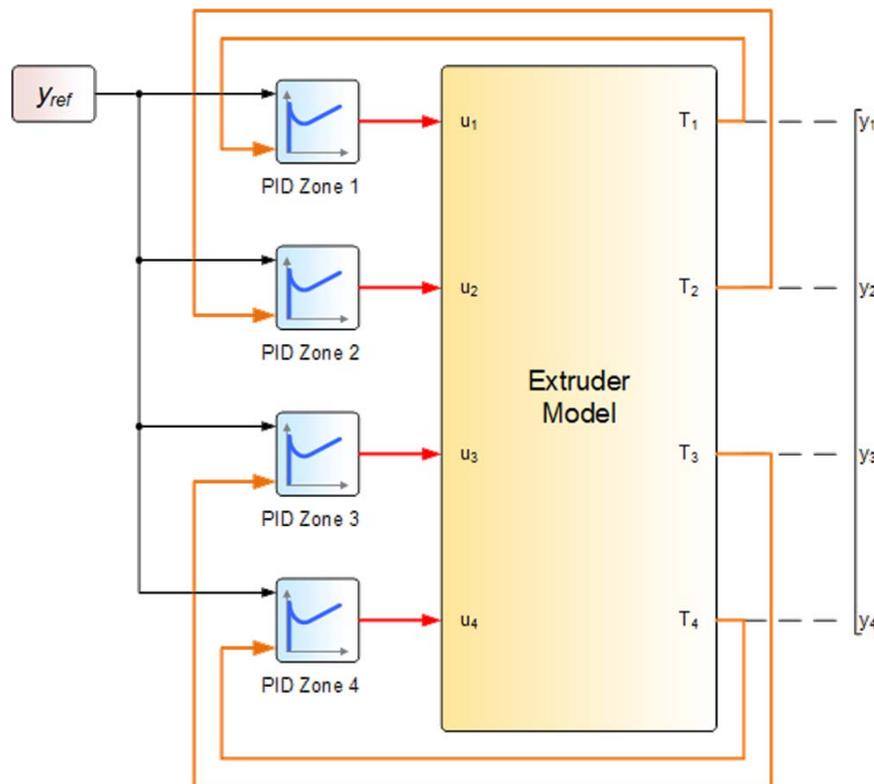
Ergebnis





Synchrones Aufheizen mit bestehendem Konzept
SISO Konzept



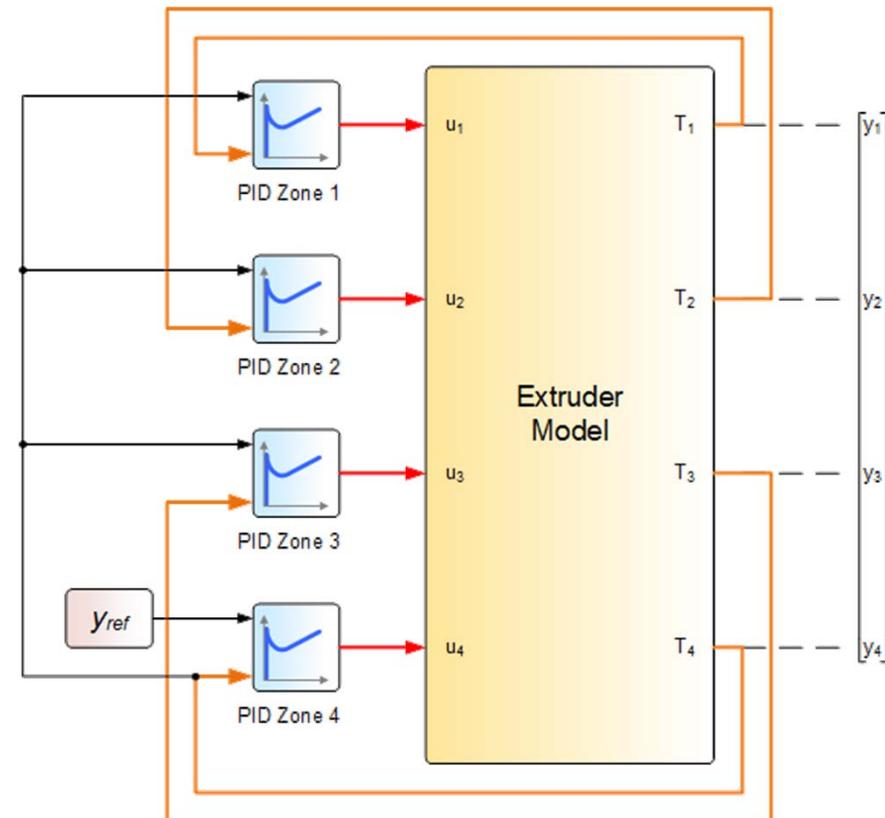


- Jede Zone wird als SISO System betrachtet
- Kopplungen werden nicht berücksichtigt
- Die einzelnen Zonen werden mit einem PID-Regler geregelt



Kann Verhalten durch Vorwissen des Systems verbessert werden?

- Systemdynamiken sind vorab bekannt
 - Zone 4 ist die langsamste
- Sollwert für die schnellen Zonen 1,2,3 ist die Temperatur der langsamsten Zone
- Gesucht sind optimale Reglerparameter





Kostenfunktion und Nebenbedingungen

$$\min_{\Theta} J(\Theta) = \int_{t_0}^{t_1} l(t, \Theta) dt$$

$$l(t, \Theta) = y(t, \Theta)^\top Q_1 y(t, \Theta) + (y(t, \Theta) - y_{ref})^\top Q_2 (y(t, \Theta) - y_{ref})$$

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{u}$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{x}$$

$$\mathbf{u} = \mathbf{R}(\Theta) \cdot (\mathbf{y} - \mathbf{y}_{ref})$$

$$\mathbf{y}(t_0 = 0) = \mathbf{0}$$

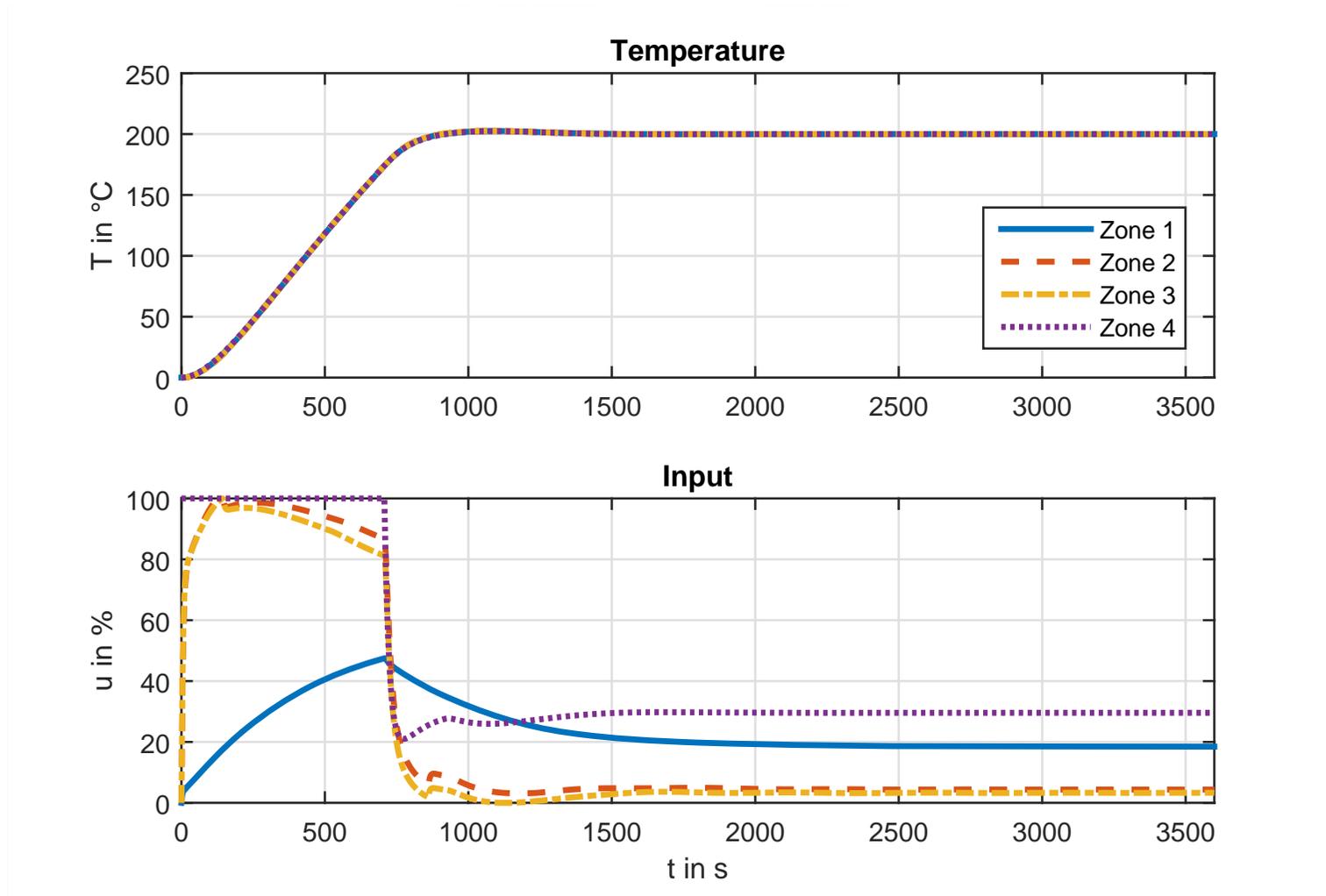
$$t_1 = 3600s$$

$$Q_1 = 5 \cdot 10^5 \begin{bmatrix} 3 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 3 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 3 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 3 \end{bmatrix} \quad Q_2 = 1 \cdot 10^4 I$$

Optimale PID-Parameter



Inkl. Systemvorwissen



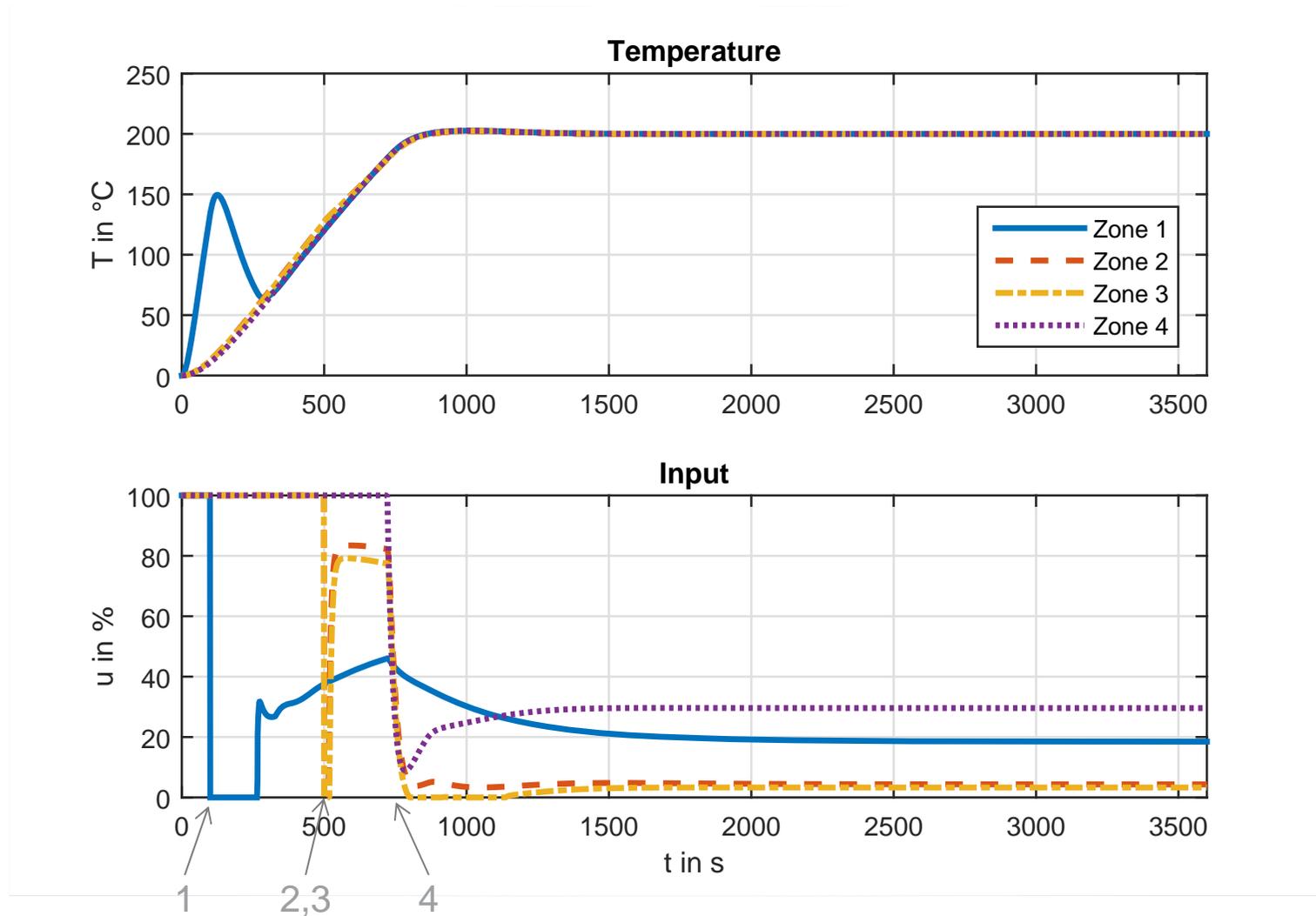


Wie kann das aktuelle Tuning integriert werden?

- Keine Vorkenntnisse über System
- Strecke und Regelparameter müssen identifiziert werden
 - Sprung am Eingang mit maximaler Leistung
 - Identifikation einer SISO Strecke für jede Zone mittels LQ
 - PID Parameter mittels heuristischem Einstellverfahren
- Nach Identifikation werden optimale PID-Parameter gesucht um Kostenfunktion zu minimieren



Optimale PID-Parameter nach Identifikation



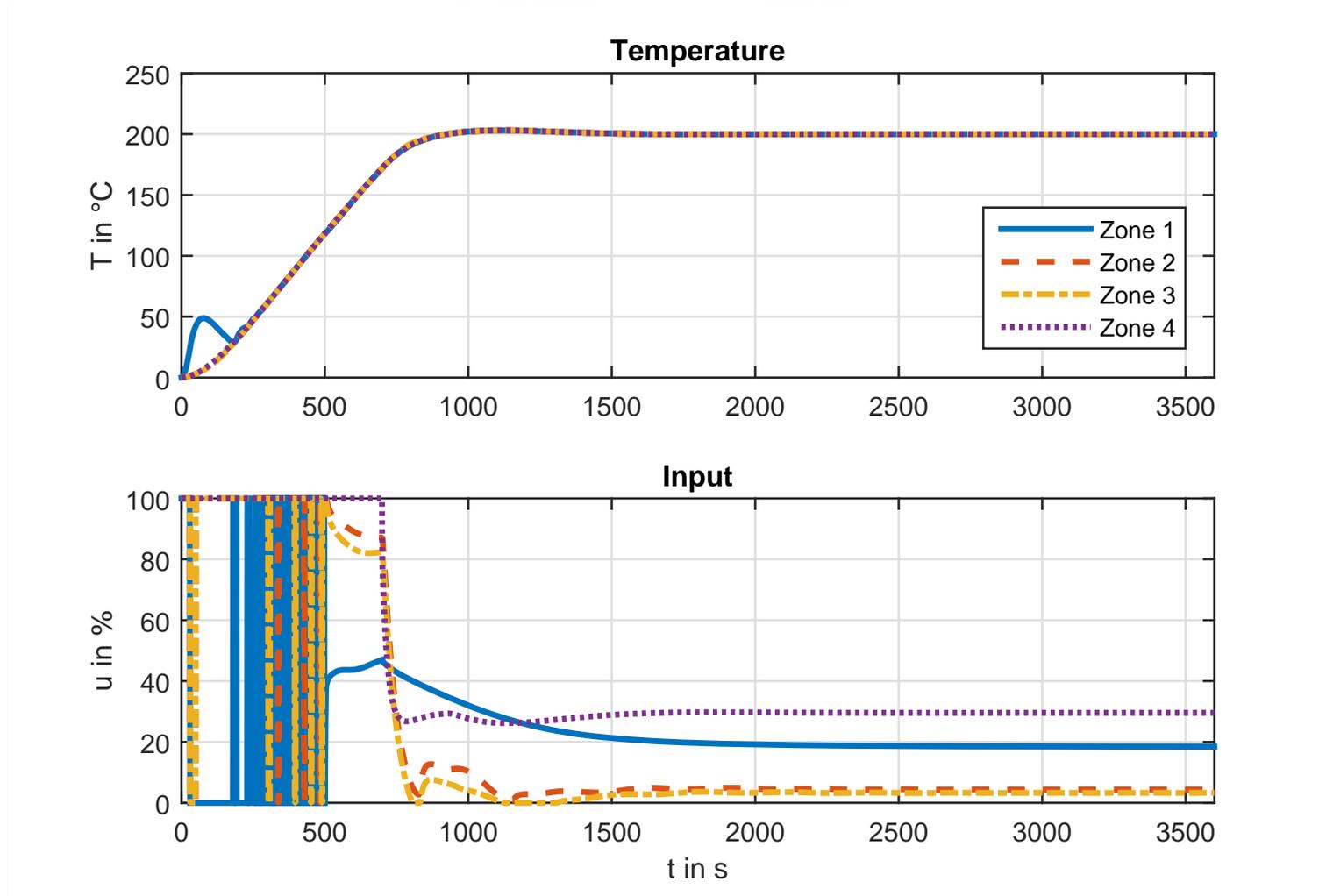


Kann der Tuningablauf noch optimiert werden?

- Temperaturunterschied zwischen den Zonen soll reduziert werden
- Zweipunktregler wird verwendet um schnelle Zonen der langsamsten nachzuregeln bis Strecke identifiziert werden kann
- Aufheizen mit voller Leistung bis langsamste Zone identifiziert wurde
 - Welche Zone erfährt zuletzt eine Temperaturerhöhung um $+2^{\circ}\text{C}$
- **Aktivieren der Zweipunktregler**
 - Sollwert ist Temperatur der langsamsten Zone 4
- **PID-Regelung**
 - Sobald Strecke bzw. Regelparameter identifiziert wurde



Zweipunktregler





Zweipunktregler mit Störeinflüssen

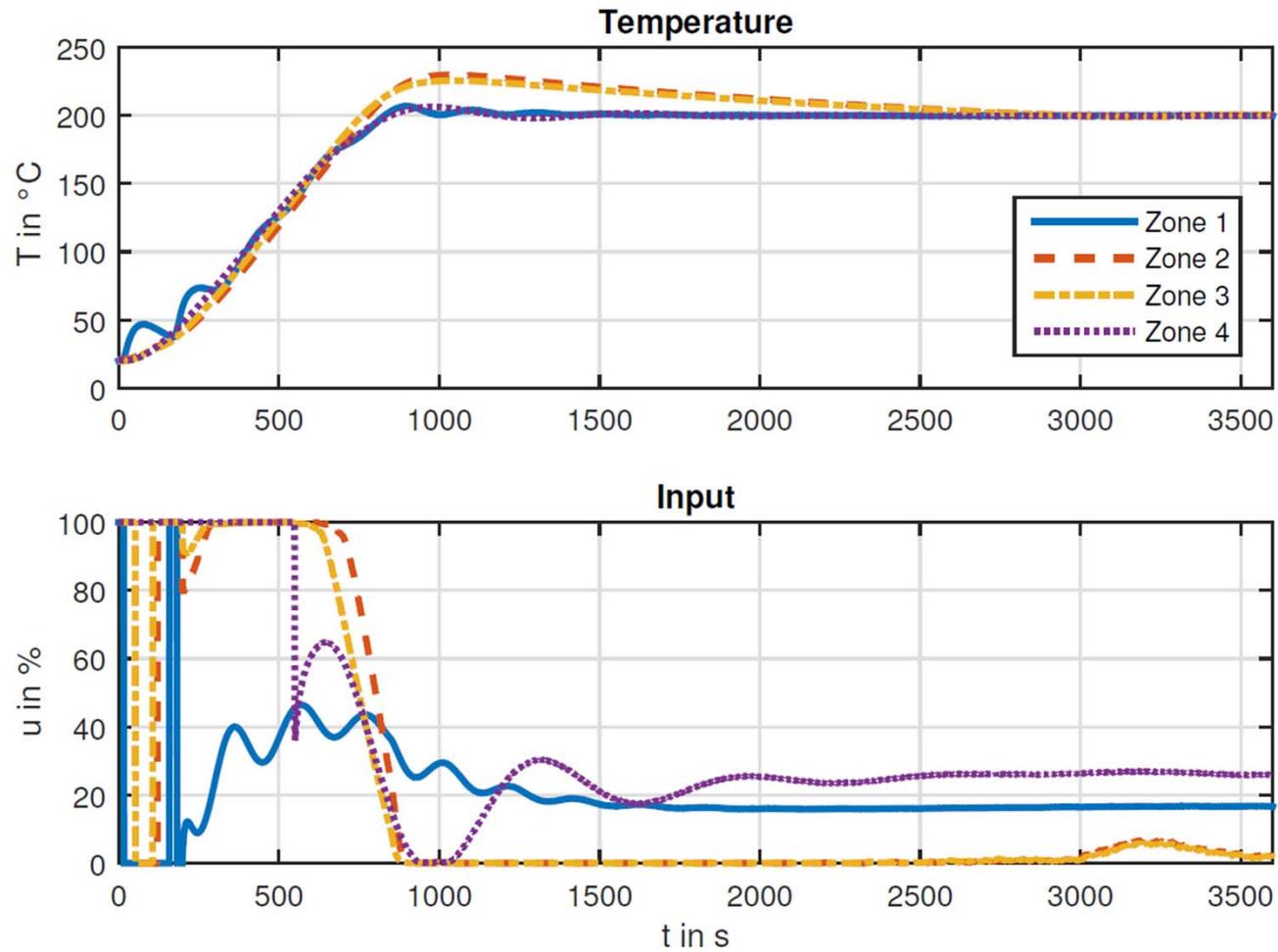
Folgende realen Einflüsse eines Extruders werden berücksichtigt

- Totzeit
- Rauschen
- Quantisierung
- Unterschiedliche Starttemperaturen

Methode 1

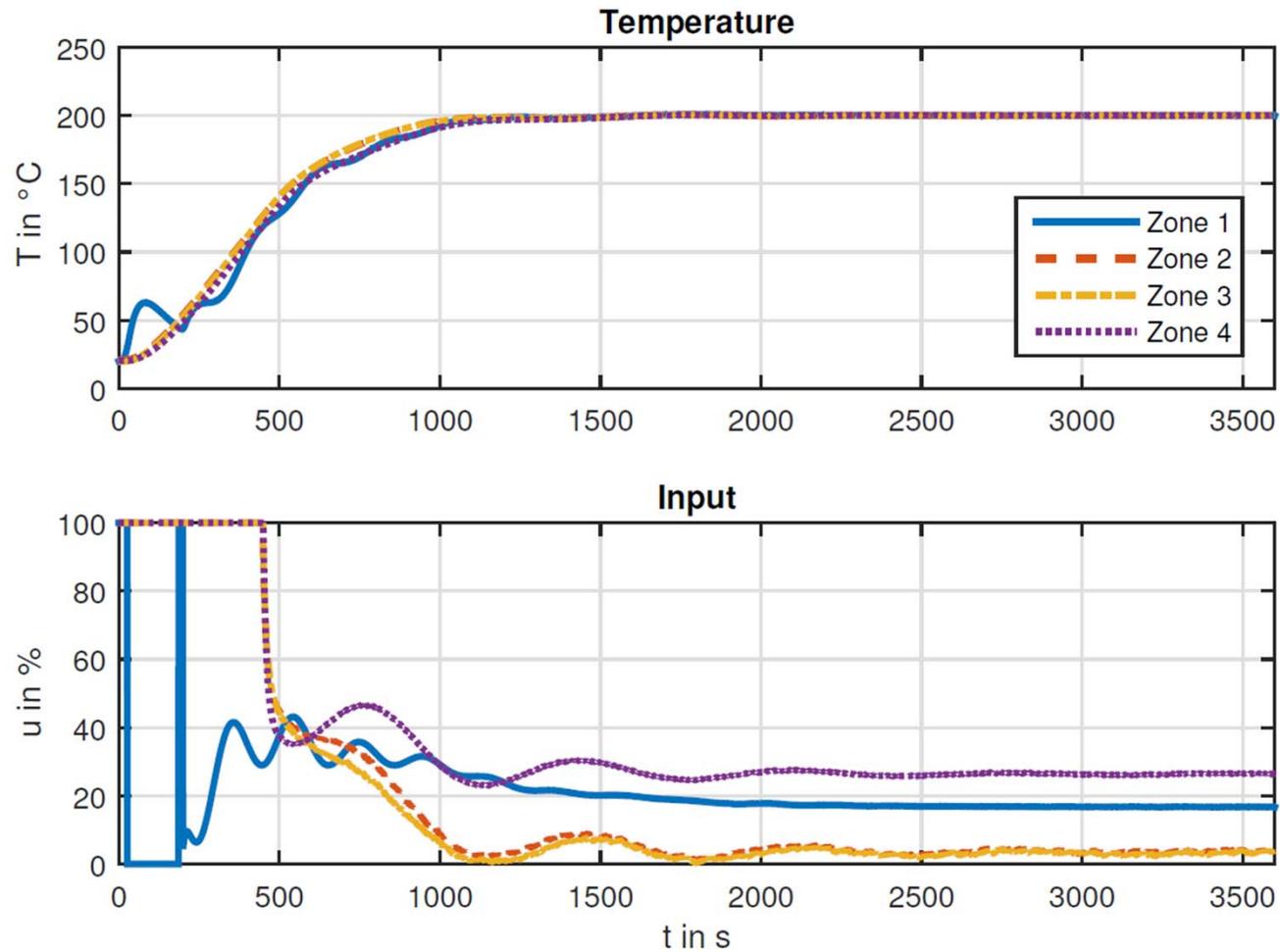


Zonen 1,2,3 werden nachgeregelt



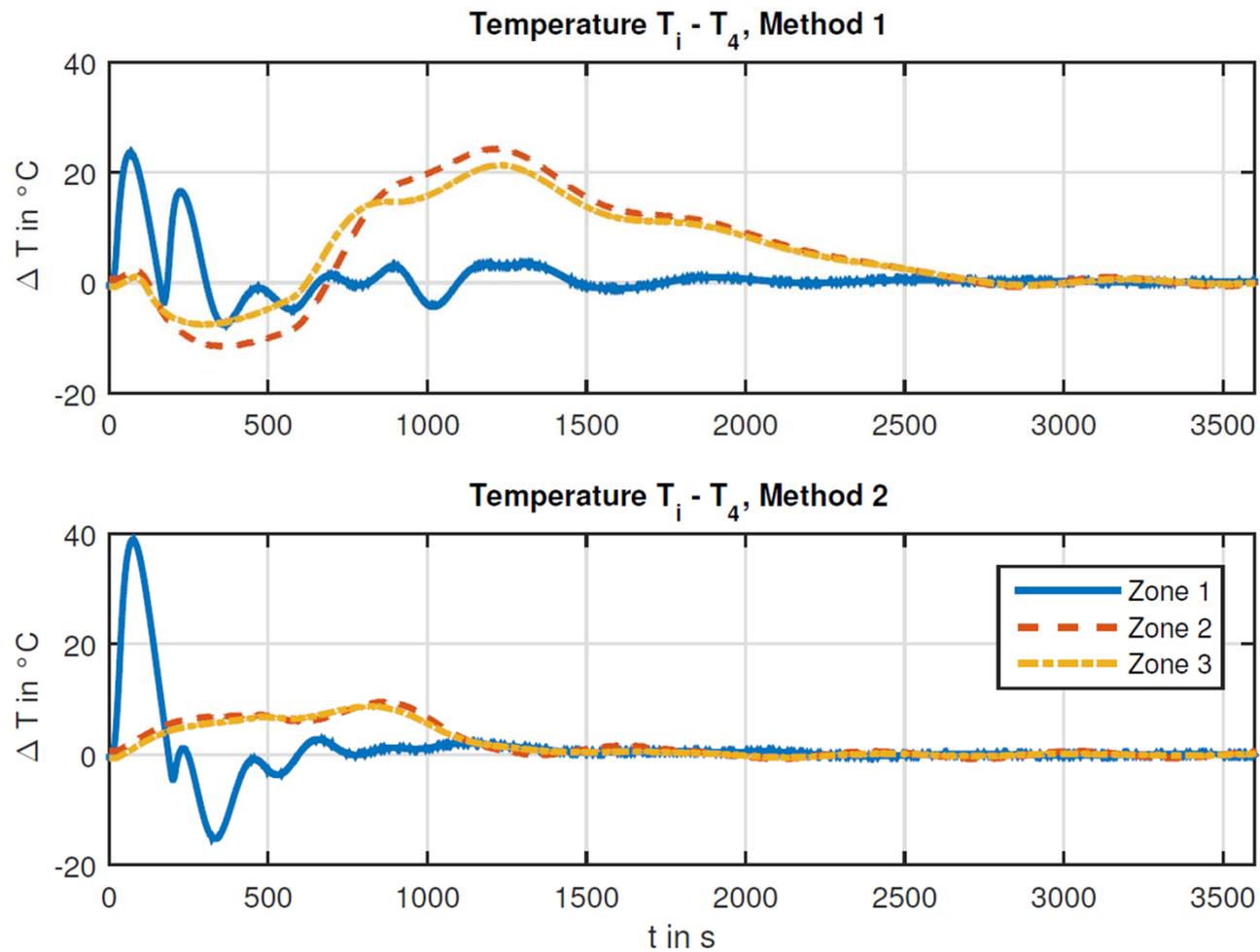
Methode 2

Zone 1 wird nachgeregelt





Abweichung im Vergleich mit Zone 4

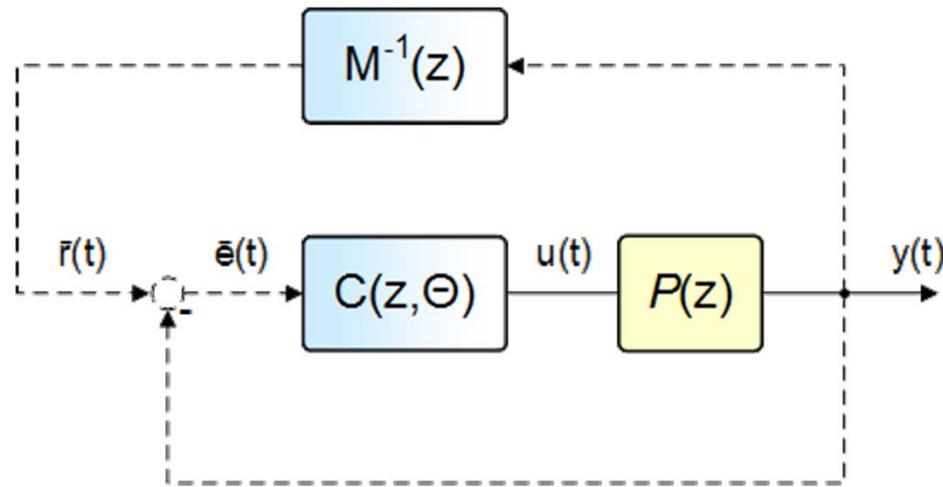




Regelung mit MIMO Konzept



VRFT - Datenbasiertes Tuning

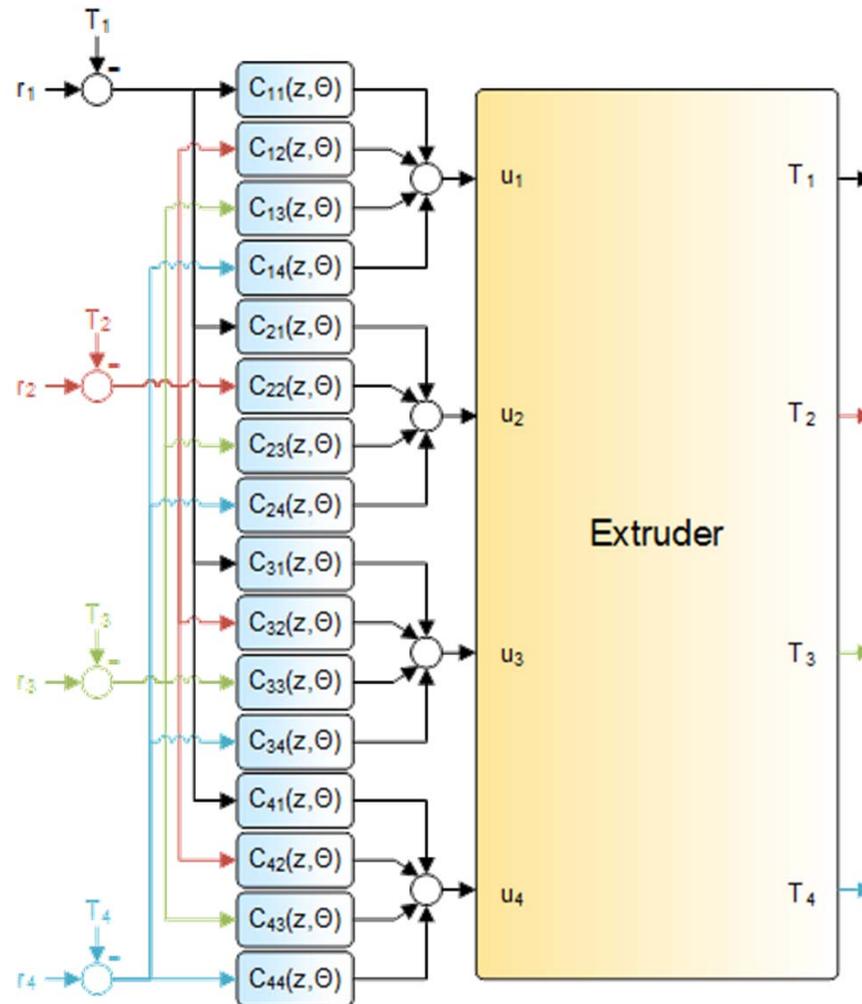


$$J(\theta) = \left\| \left(\frac{\mathbf{P}(z)\mathbf{C}(z, \theta)}{1 + \mathbf{P}(z)\mathbf{C}(z, \theta)} - \mathbf{M}(z) \right) \mathbf{W}(z) \right\|$$

Virtual Referenz Feedback Tuning



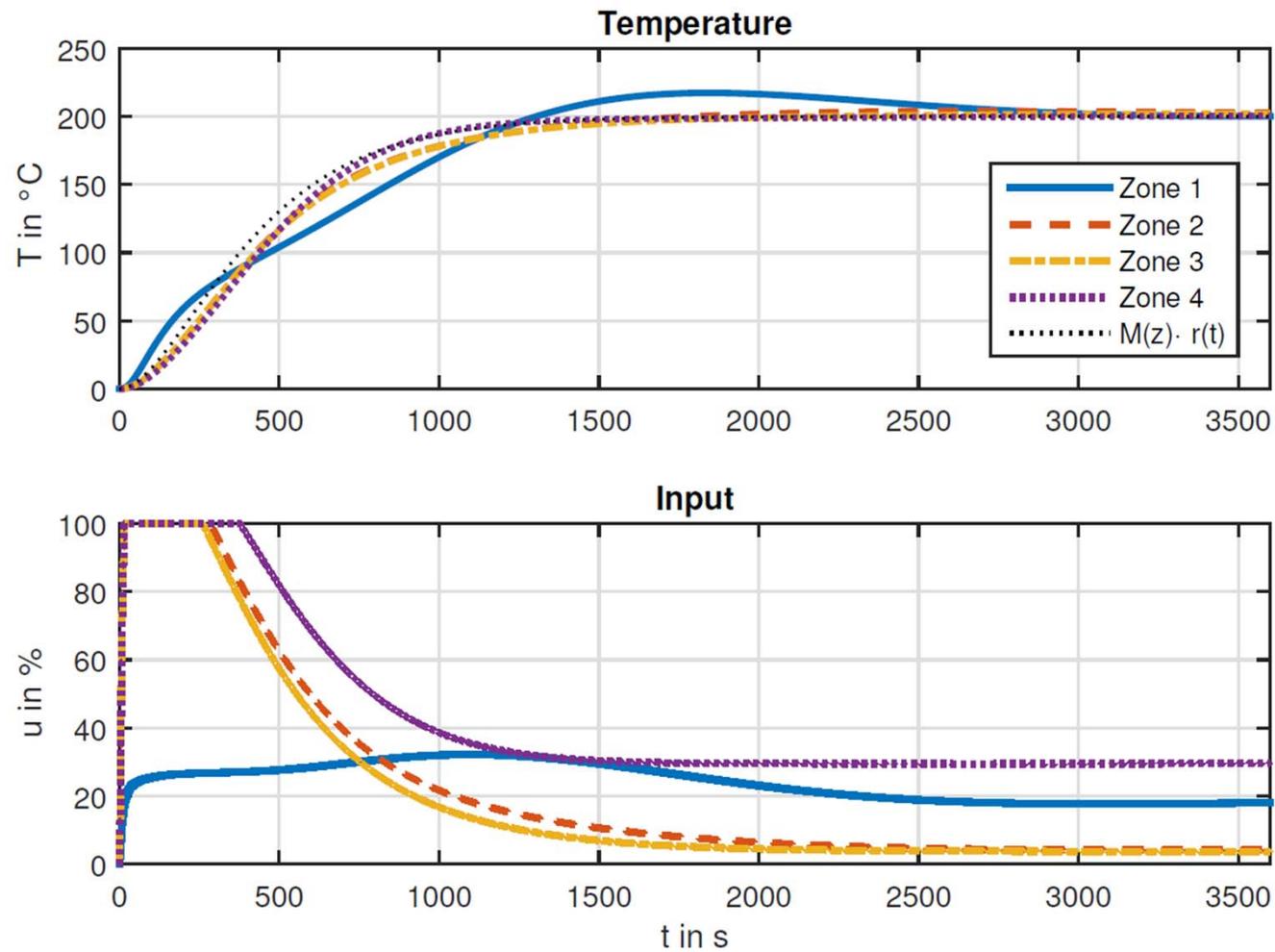
Regelungskonzept



VRFT – Synchrones Aufheizen



Alle Zonen mit gleiche Dynamik







Danke für Ihre Aufmerksamkeit

