

UNIVERSELLE MODELLIERUNG VON MISCHERMODELEN AUF BASIS VON BÉZIERKURVEN

Yannick Fürst

29. Januar 2021

Hermann-Rietschel-Institut

TU Berlin

Unter der
Schirmherrschaft des



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy

on the basis of a decision
by the German Bundestag

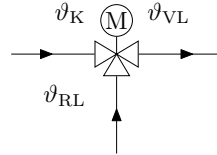
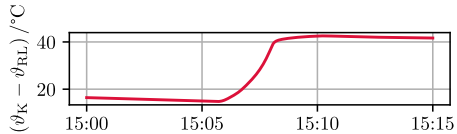
FKZ: 03ET1447A



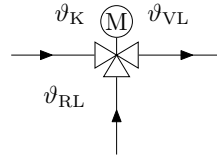
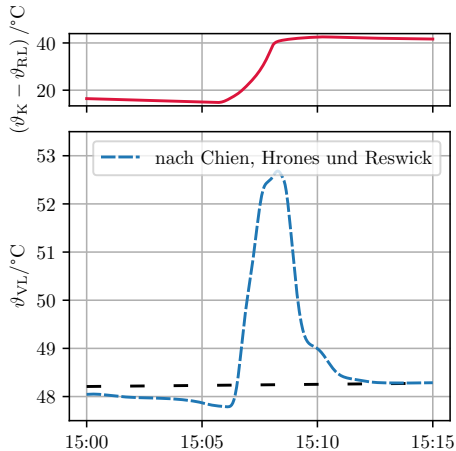
HRI
Hermann Rietschel
Institut



Beispiel Regelung:

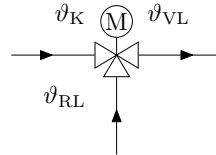
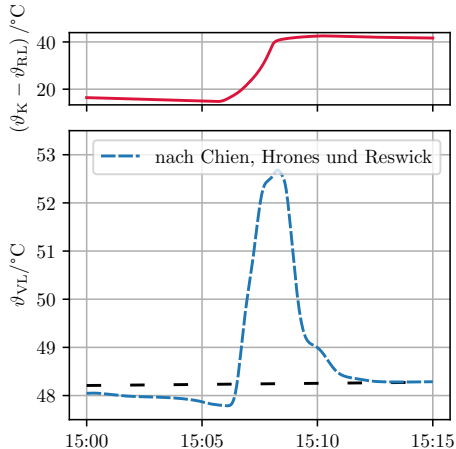


Beispiel Regelung:



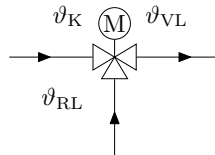
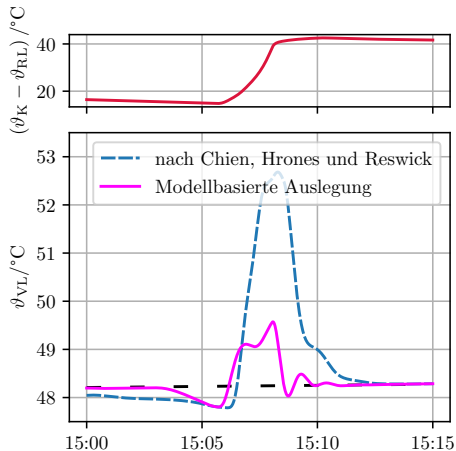
- PID Regler mit Auslegung nach Chien, Hrones und Reswick schwingt stark über

Beispiel Regelung:



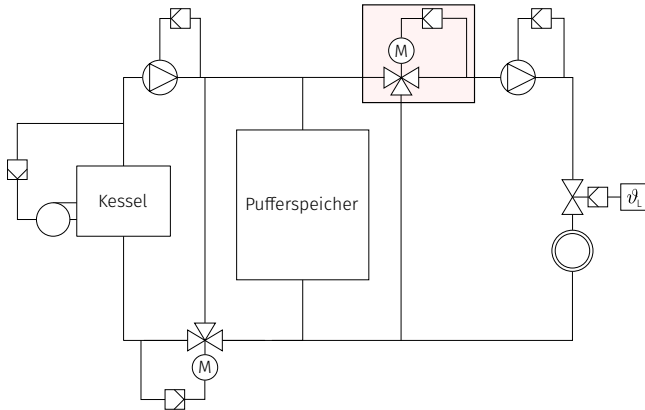
- PID Regler mit Auslegung nach Chien, Hrones und Reswick schwingt stark über
- Ursache ist die Berücksichtigung zu weniger Prozessinformationen

Beispiel Regelung:

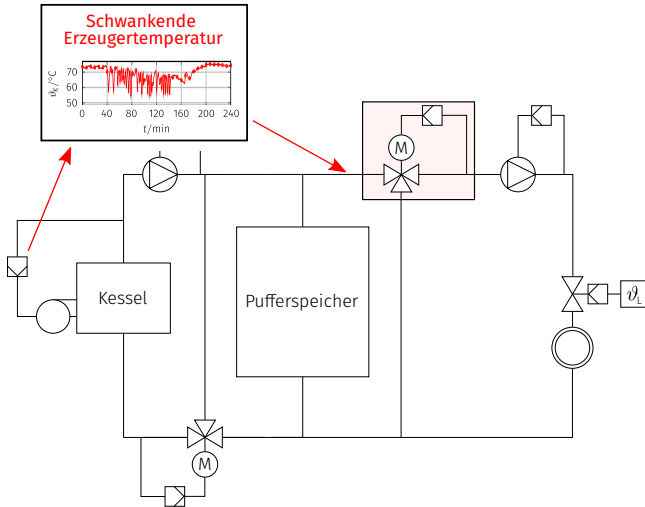


- PID Regler mit Auslegung nach Chien, Hrones und Reswick schwingt stark über
- Ursache ist die Berücksichtigung zu weniger Prozessinformationen
- Mehr Prozessinformationen erlauben eine abgestimmtere Auslegung

WODURCH WIRD DAS MISCHERVERHALTEN CHARAKTERISIERT?

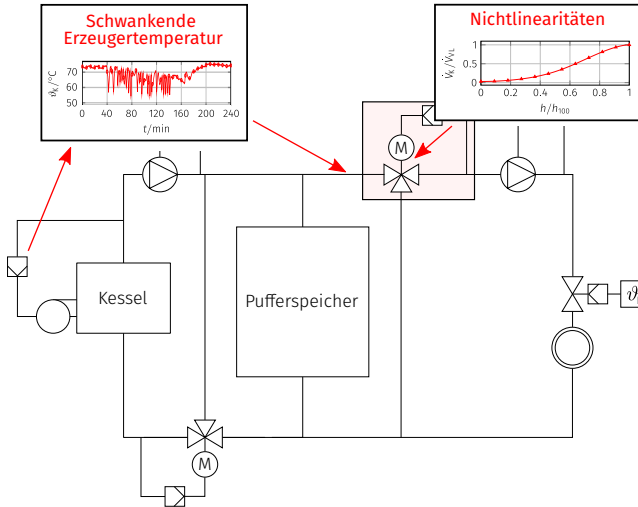


Mischerverhalten wird beeinflusst durch:



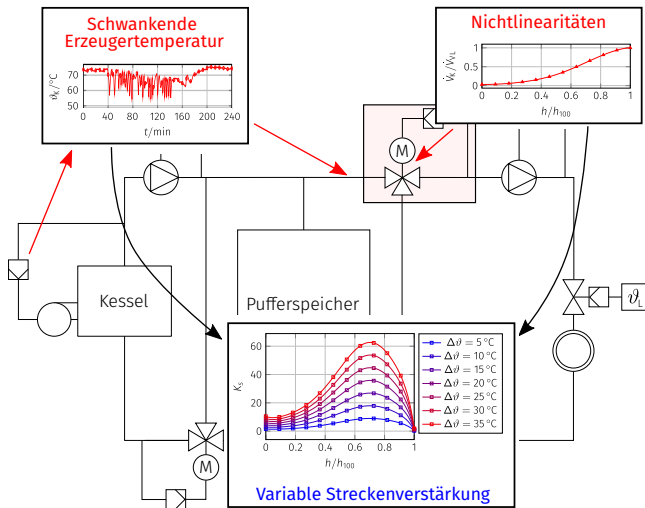
Mischerverhalten wird beeinflusst durch:

- Auftretende Störgrößen



Mischerverhalten wird beeinflusst durch:

- Auftretende Störgrößen
- Nichtlineares hydraulisches Verhalten

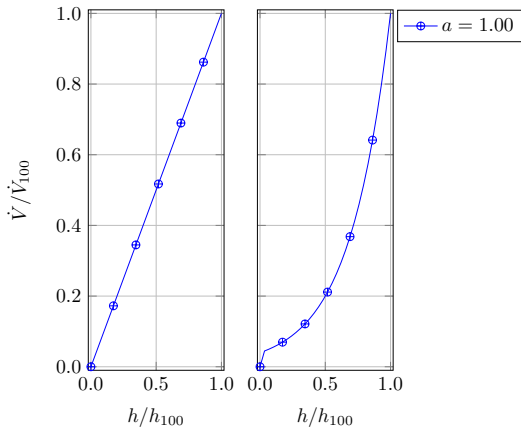


Mischerverhalten wird beeinflusst durch:

- Auftretende Störgrößen
- Nichtlineares hydraulisches Verhalten

→ Die „Sensibilität“ des Mixers ist eine Funktion des Betriebspunktes

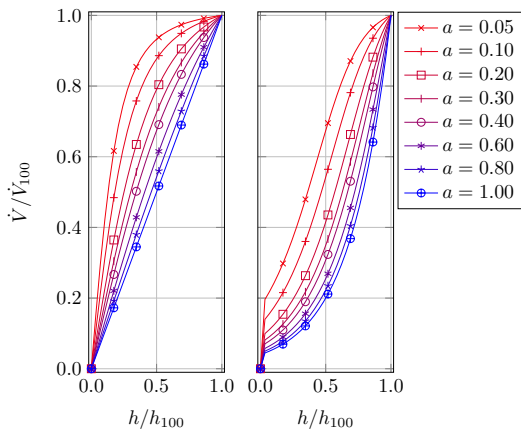
Theoretische Ventilkennlinien:



Kenntnis erforderlich von:

- den realen Ventilkennlinien

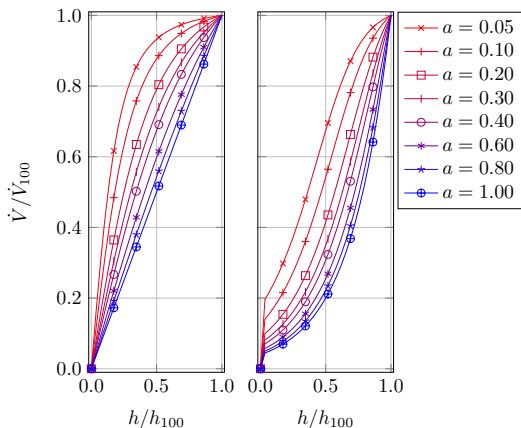
Theoretische Ventilkennlinien:



Kenntnis erforderlich von:

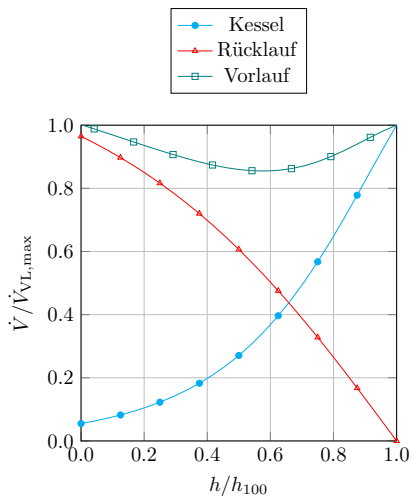
- den realen Ventilkennlinien
- der Einbausituation (Ventilauthorität a)

Theoretische Ventilkennlinien:



Kenntnis erforderlich von:

- den realen Ventilkennlinien
- der Einbausituation (Ventilauthorität a)
- der k_{vs} -Werte

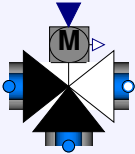


Kenntnis erforderlich von:

- den realen Ventilkennlinien
- der Einbausituation (Ventilauthorität a)
- der k_{vs} -Werte

→ Selbst baugleiche Mischer besitzen eine individuelle Betriebskennlinie

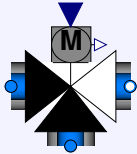
White-Box



Bsp.: *Modelica*

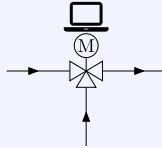
WELCHE MODELLIERUNGSANSÄTZE KOMMEN IN FRAGE?

White-Box



Bsp.: *Modelica*

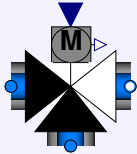
Grey-Box



Bsp.: *dieses Modell*

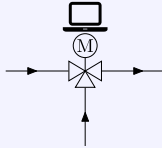
WELCHE MODELLIERUNGSANSÄTZE KOMMEN IN FRAGE?

White-Box



Bsp.: *Modelica*

Grey-Box



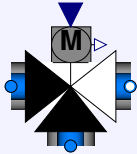
Bsp.: *dieses Modell*

Black-Box



Bsp.: *ARX, Hammerstein*

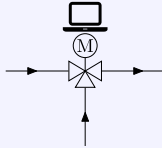
White-Box



Bsp.: *Modelica*

Setzt Kenntnis aller
Parameter voraus

Grey-Box



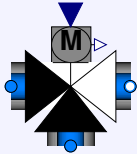
Bsp.: *dieses Modell*

Black-Box



Bsp.: *ARX, Hammerstein*

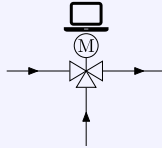
White-Box



Bsp.: *Modelica*

Setzt Kenntnis aller
Parameter voraus

Grey-Box



Bsp.: *dieses Modell*

Bezieht Parameter aus
Messgrößen

Black-Box

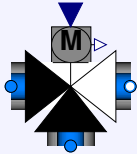


Bsp.: *ARX, Hammerstein*

Bezieht Parameter aus
Messgrößen

WELCHE MODELLIERUNGSANSÄTZE KOMMEN IN FRAGE?

White-Box

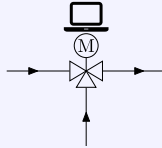


Bsp.: *Modelica*

Setzt Kenntnis aller
Parameter voraus



Grey-Box



Bsp.: *dieses Modell*

Bezieht Parameter aus
Messgrößen

Black-Box

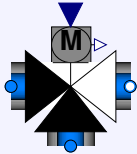


Bsp.: *ARX, Hammerstein*

Bezieht Parameter aus
Messgrößen

WELCHE MODELLIERUNGSANSÄTZE KOMMEN IN FRAGE?

White-Box

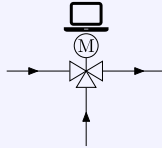


Bsp.: *Modelica*

Setzt Kenntnis aller
Parameter voraus



Grey-Box



Bsp.: *dieses Modell*

Bezieht Parameter aus
Messgrößen



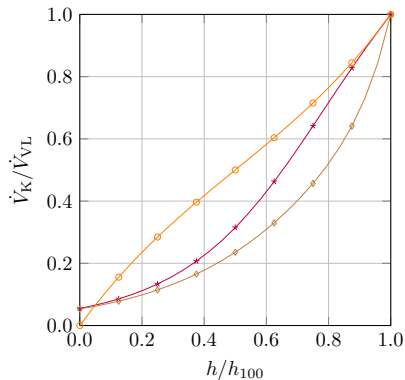
Black-Box



Bsp.: *ARX, Hammerstein*

Bezieht Parameter aus
Messgrößen

Vorlauftemperatur wird durch
Volumenstromverhältnis bestimmt



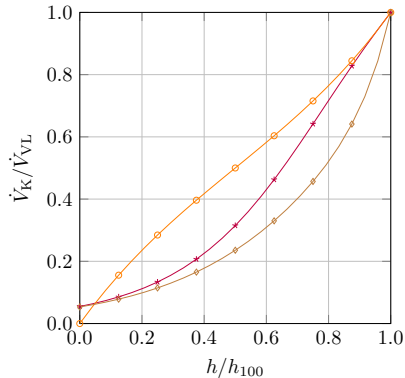
$$\vartheta_{RL} + \frac{\dot{V}_K}{\dot{V}_{VL}} \cdot (\vartheta_K - \vartheta_{RL})$$

Vorlauftemperatur wird durch
Volumenstromverhältnis bestimmt

$$\vartheta_{\text{RL}} + \frac{\dot{V}_{\text{K}}}{\dot{V}_{\text{VL}}} \cdot (\vartheta_{\text{K}} - \vartheta_{\text{RL}})$$

Naiver Ansatz: *Polynom*

$$\frac{\dot{V}_{\text{K}}}{\dot{V}_{\text{VL}}} \left(\frac{h}{h_{100}} \right) = \sum_{k=0}^n a_k \cdot \left(\frac{h}{h_{100}} \right)^k$$



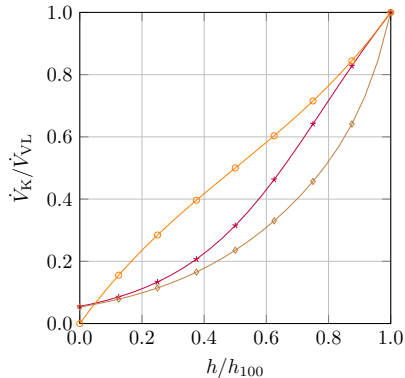
Vorlauftemperatur wird durch
Volumenstromverhältnis bestimmt

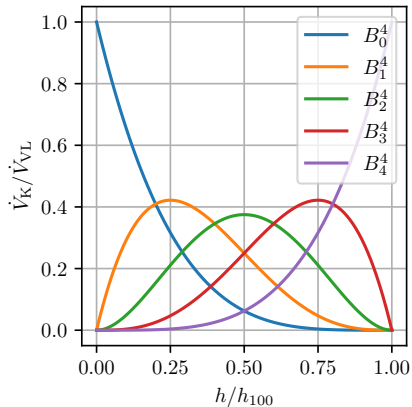
$$\vartheta_{\text{RL}} + \frac{\dot{V}_{\text{K}}}{\dot{V}_{\text{VL}}} \cdot (\vartheta_{\text{K}} - \vartheta_{\text{RL}})$$

Naiver Ansatz: *Polynom*

$$\frac{\dot{V}_{\text{K}}}{\dot{V}_{\text{VL}}} \left(\frac{h}{h_{100}} \right) = \sum_{k=0}^n a_k \cdot \left(\frac{h}{h_{100}} \right)^k$$

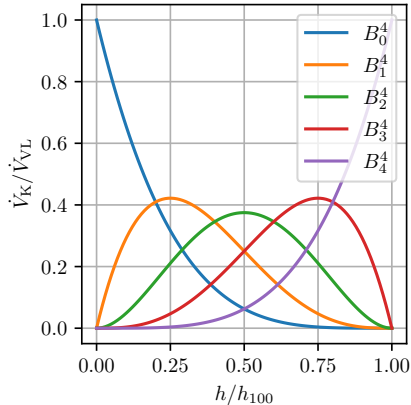
Problem: Monotonie oder andere Eigenschaften
können nicht gezielt vorgegeben werden.





Verwendung von Bernsteinpolynomen

$$B_i^n(x) = \binom{n}{i} x^i (1-x)^{n-i}, \quad 0 \leq i \leq n$$

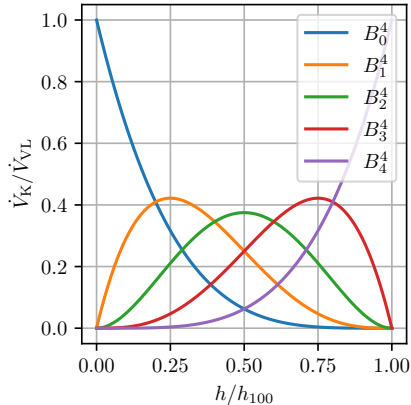


Verwendung von Bernsteinpolynomen

$$B_i^n(x) = \binom{n}{i} x^i (1-x)^{n-i}, \quad 0 \leq i \leq n$$

Neuer Ansatz:

$$\frac{\dot{V}_K}{\dot{V}_{VL}} \left(\frac{h}{h_{100}} \right) = \sum_{k=0}^n b_k \cdot B_k^n \left(\frac{h}{h_{100}} \right)$$



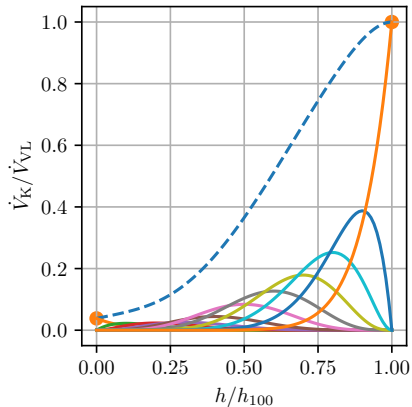
Verwendung von Bernsteinpolynomen

$$B_i^n(x) = \binom{n}{i} x^i (1-x)^{n-i}, \quad 0 \leq i \leq n$$

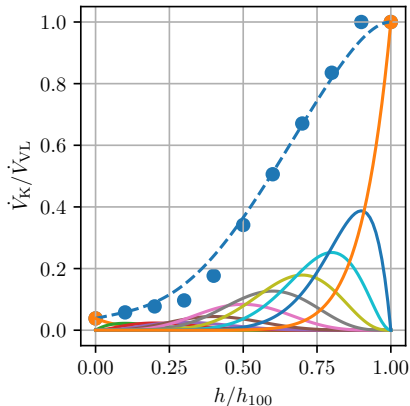
Neuer Ansatz:

$$\frac{\dot{V}_K}{\dot{V}_{VL}} \left(\frac{h}{h_{100}} \right) = \sum_{k=0}^n b_k \cdot B_k^n \left(\frac{h}{h_{100}} \right)$$

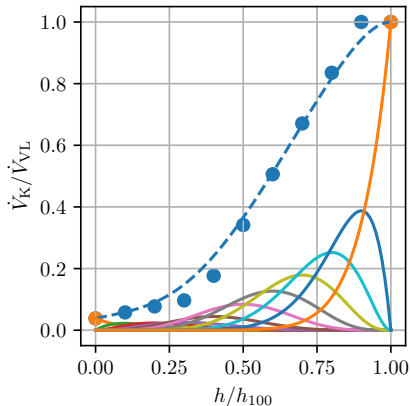
Vorteil: Verlauf kann durch b_k präzise vorgegeben werden.



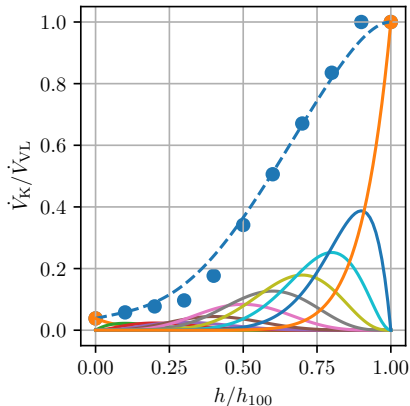
- b_0 und b_n geben den Anfangs- und Endpunkt vor (hier: $b_0 > 0$ und $b_n = 1$)



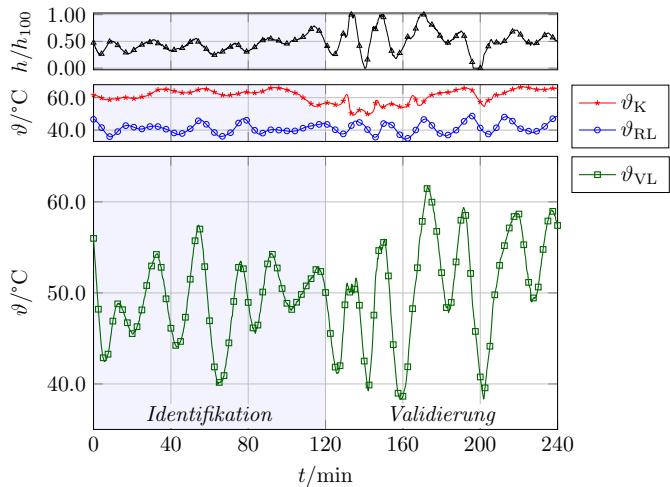
- b_0 und b_n geben den Anfangs- und Endpunkt vor (hier: $b_0 > 0$ und $b_n = 1$)
- $b_i \leq b_{i+1}$ für $0 \leq i \leq n - 1$ garantiert Monotonie



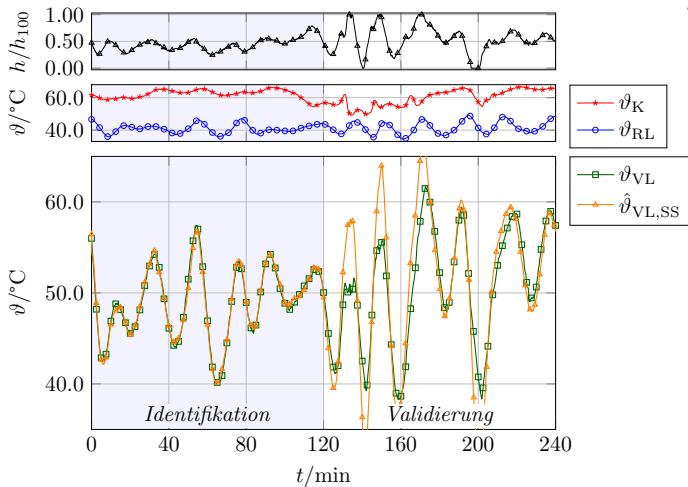
- b_0 und b_n geben den Anfangs- und Endpunkt vor (hier: $b_0 > 0$ und $b_n = 1$)
- $b_i \leq b_{i+1}$ für $0 \leq i \leq n - 1$ garantiert Monotonie
- trotz der Ordnung $n = 10$ treten keine Oszillationen auf



- b_0 und b_n geben den Anfangs- und Endpunkt vor (hier: $b_0 > 0$ und $b_n = 1$)
- $b_i \leq b_{i+1}$ für $0 \leq i \leq n - 1$ garantiert Monotonie
- trotz der Ordnung $n = 10$ treten keine Oszillationen auf
- Ansatz übertragbar auf andere Probleme

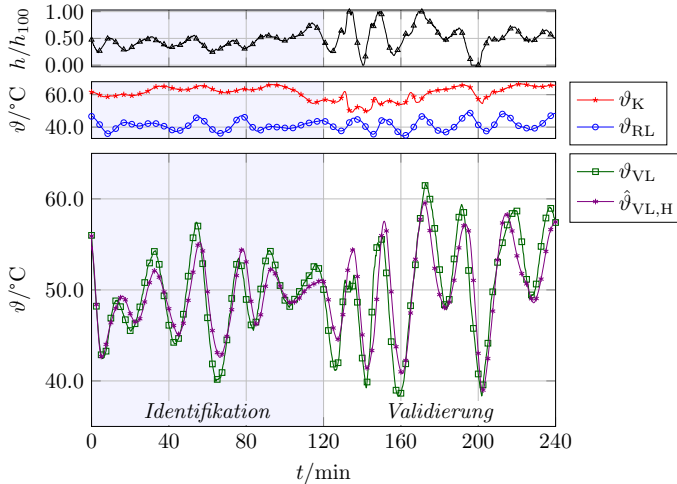


Vergleich mit Methoden der
Systemidentifikation:



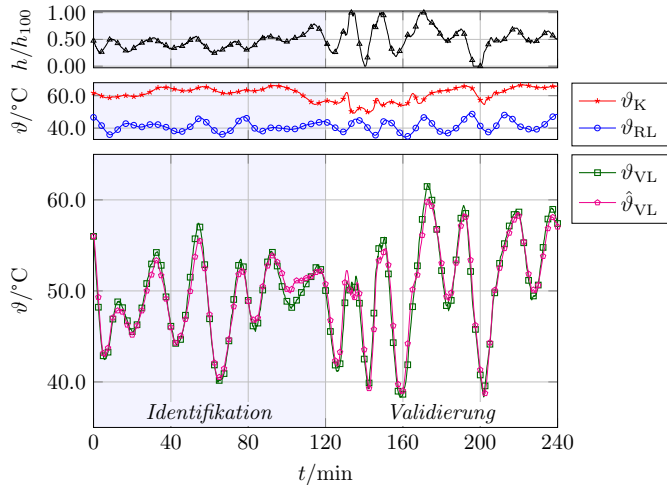
Vergleich mit Methoden der Systemidentifikation:

- Zustandsraummodell (SS) extrapoliert schlecht



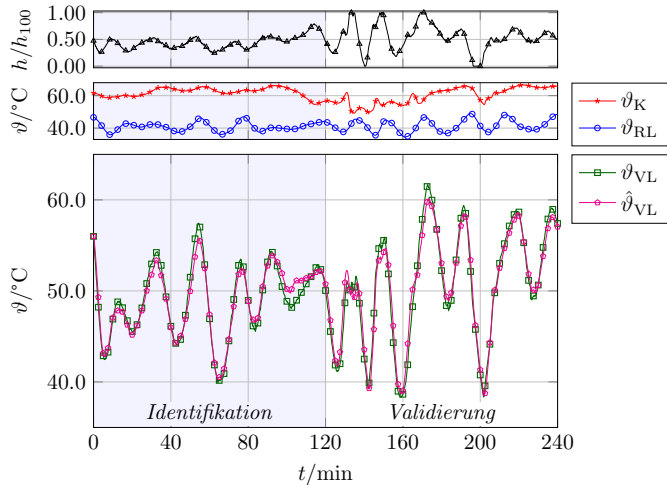
Vergleich mit Methoden der Systemidentifikation:

- Zustandsraummodell (SS) extrapoliert schlecht
- Hammersteinmodell (H) besser, aber Abweichung noch immer hoch



Vergleich mit Methoden der Systemidentifikation:

- Zustandsraummodell (SS) extrapoliert schlecht
- Hammersteinmodell (H) besser, aber Abweichung noch immer hoch
- Vorgeschlagenes Modell erreicht mit $RMSE = 0,953 \text{ K}$ sehr hohe Genauigkeit



Vergleich mit Methoden der Systemidentifikation:

- Zustandsraummodell (SS) extrapoliert schlecht
- Hammersteinmodell (H) besser, aber Abweichung noch immer hoch
- Vorgeschlagenes Modell erreicht mit RMSE = 0,953 K sehr hohe Genauigkeit

(Fürst et al., 2020)

- Mischerverhalten hochgradig nichtlinear und abhängig vom Betriebspunkt

- Mischerverhalten hochgradig nichtlinear und abhängig vom Betriebspunkt
- Allgemeingültige Beschreibung der hydraulischen Zusammenhänge erfolgt über eine Bézierkurve

- Mischerverhalten hochgradig nichtlinear und abhängig vom Betriebspunkt
- Allgemeingültige Beschreibung der hydraulischen Zusammenhänge erfolgt über eine Bézierkurve
- Methoden der linearen Systemidentifikation ungeeignet; vorgeschlagenes Modell erreicht sehr hohe Genauigkeit

-  Fürst, Yannick, Stefan Brandt und Martin Kriegel (Juni 2020). „Thermal modelling of three-way mixing valves using Bézier curves for parameter estimation applications“. In: *Journal of Process Control* 90, S. 56–62. DOI: [10.1016/j.jprocont.2020.04.004](https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2020.04.004).



FRAGEN?

Yannick Fürst
yannick.fuerst@tu-berlin.de
www.hri.tu-berlin.de

