



**THE FULL  
SERVICE  
OEM  
PROVIDER**



W.O.M. WORLD OF MEDICINE GmbH

# Beobachtergestützte Regelung einer Gasheizung in der Minimal-Invasiven-Medizin (kurz MIM)

Felix Menzel, 12.05.2015



# Regelungssysteme bei WOM (1)

## Anwendung: Insufflatoren (Laparoskopie)



## Anwendung: Pumpen (Arthroskopie)



## Regelgrößen:

Fluid-Drücke (statische und dynamische Drücke), Volumen- oder Masseströme, Drehzahlen, Temperaturen, elektrische Größen

## Systemdynamik ist charakterisiert durch:

- ▶ Physik
  - Klassische Mechanik
  - Strömungsmechanik
  - Thermodynamik
- ▶ Störungen
- ▶ Parametervarianz
- ▶ Linearität und Nichtlinearität

# Regelungssysteme bei WOM (2)

## **Warum wird überhaupt geregelt?**

Robuste Sicherheit

## **Was ist für uns ein Regelsystem?**

Bestandteil des mechatronischen Systems: Sensor-, Aktor-, Logik (Applikation), Regelstrecke

## **Wie wird geregelt? Komplexität der Reglerapplikation?**

Vorwiegend Softwareregler mit zunehmender Komplexität

## **Welche Tendenzen sind erkennbar?**

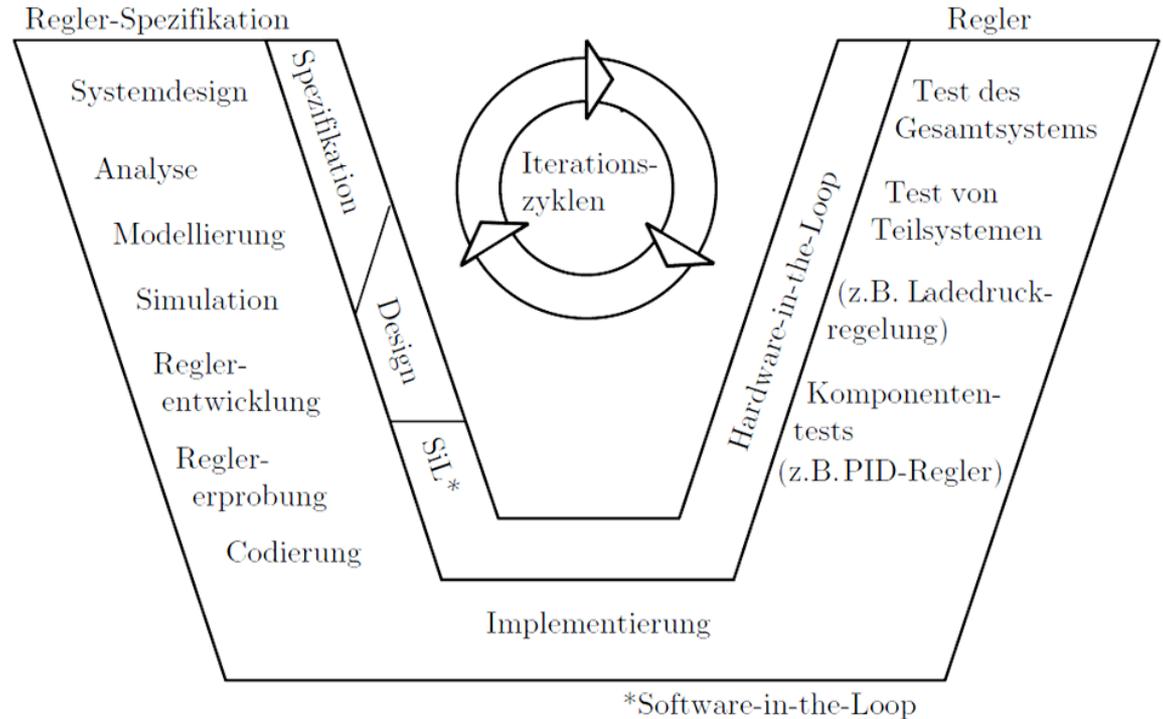
Kosteneinsparung durch mehr Intelligenz

## **Wie entwickeln wir unsere Reglerapplikation?**

Methodisch mit Rapid-Control-Prototyping

# Agenda - Rapid-Control-Prototyping (kurz RCP)

1. Aufgabenklärung und Lösungskonzept
2. Systemmodellierung und Identifikation
3. Reglerentwicklung in der Simulation
4. RCP-Erprobung
5. Codegenerierung
6. Fazit

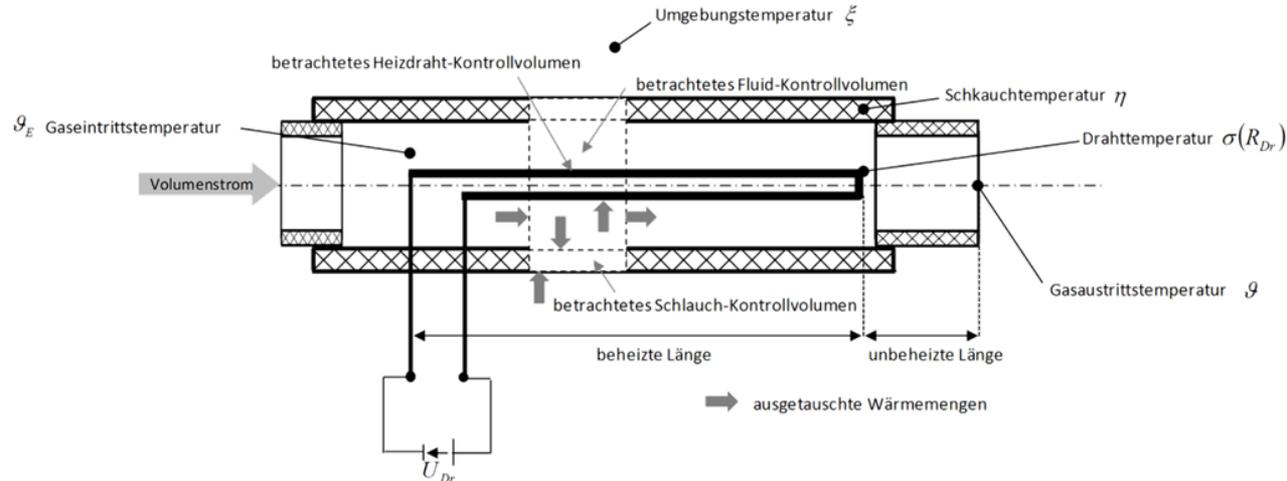


aus Abel D (2006). Rapid Control Prototyping. Methoden und Anwendung

# Regelung einer Gasheizung in der MIM - Aufgabe

## Problemstellung aus regelungstechnischer Entwicklersicht:

- in der Laparoskopie ist das Beheizen des insufflierten Gases üblich → Anforderung: Gastemperatur = Körpertemperatur
- Bisherige Schlauchheizungen bestehen aus Heizdraht (Aktor) und Temperatursensor (Sensor) → klassischer Regelkreis
- Zielkonflikt: Aufwändiger Aufbau in Einmalartikel Heizschlauch
- Neues Konzept zur Kostenkompensation: Sensor weglassen und als Heizdraht ein Widerstandsthermometer verwenden

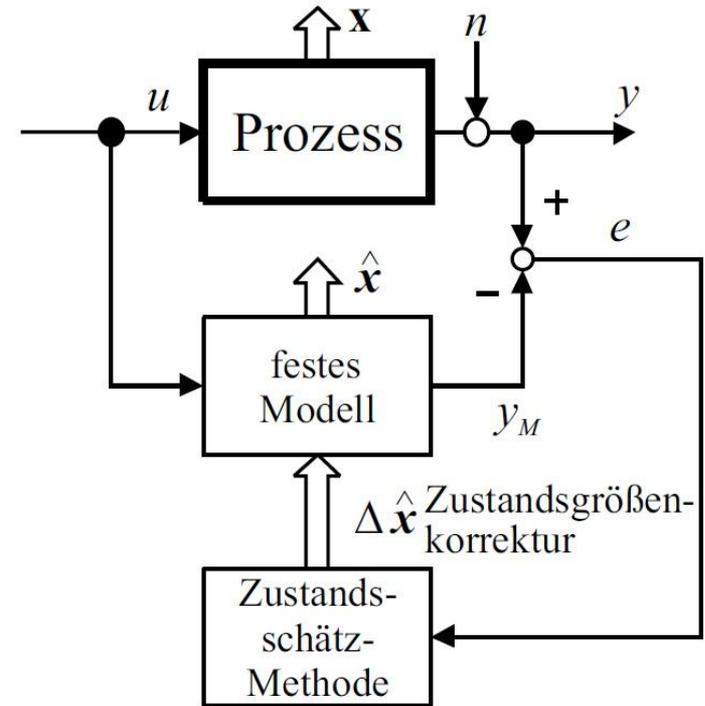


# Regelung einer Gasheizung in der MIM – Lösungskonzept

## Mögliche Lösung: Softwaresensor (Zustandsbeobachter)

- Ansteuerung des Heizdrahtes durch PWM
- stetige Messung der elektrischen Leistung als Anregung ( $u$  in Abbildung)
- stetige Messung der Drahttemperatur ( $y$  in Abbildung)
- parallele Anregung eines mathematischen Modells, welches auf Mikrocontroller berechnet wird
- Vergleich der messbaren Drahttemperatur mit der berechneten Drahttemperatur ( $e$  in Abbildung)
- Schätzung der Austrittstemperatur ( $x$  bzw.  $\hat{x}$  in Abbildung)

**Ergebnis:** Im Idealfall wird die Austrittstemperatur der Strömung messbar. Mit diesem Signal kann eine Regelung aufgebaut werden.



aus Isermann R (2008). Mechatronische Systeme. Grundlagen

# Regelung einer Gasheizung in der MIM – Modellierung

## Modell des dynamischen Verhaltens

- Schätzung der Zustandsgröße Austrittstemperatur benötigt ein mathematisches Modell des Prozesses
- dieses mathematische Modell hat eine standardisierte Form, genannt Zustandsraummodell

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

$$y = C \cdot x$$

- A – Systemmatrix, x – Zustandsgrößenvektor
- B – Anregungsmatrix, u – Anregung
- E – Einfluss der Störung, d – Störgrößenvektor
- C – Ausgabematrix, y – Messvektor
- Aufgabe:
  1. physikalisches Ersatzmodell des Prozesses aufstellen und in diese standardisierte Form bringen
  2. Einträge in den Matrizen mit Werten belegen → Identifikation

# Regelung einer Gasheizung in der MIM – Identifikation (1)

## Identifikation der Prozessparameter

Varianten:

### 1. Theoretische Berechnung

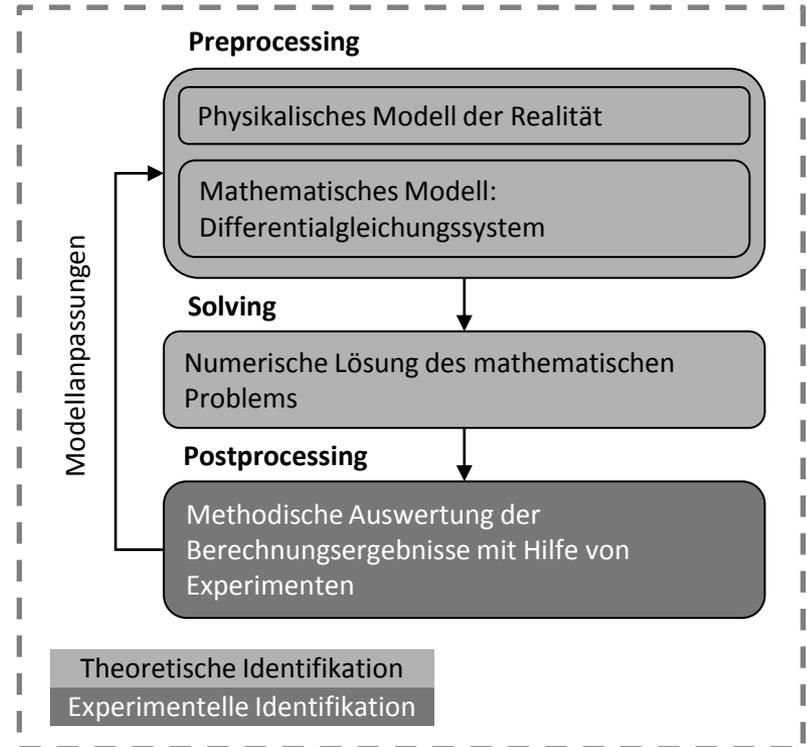
- auf Grundlage der enthaltenen physikalischen Größen wie Dichte, Wärmekapazität, Wärmeübergangszahl...

### 2. Messtechnische Identifikation

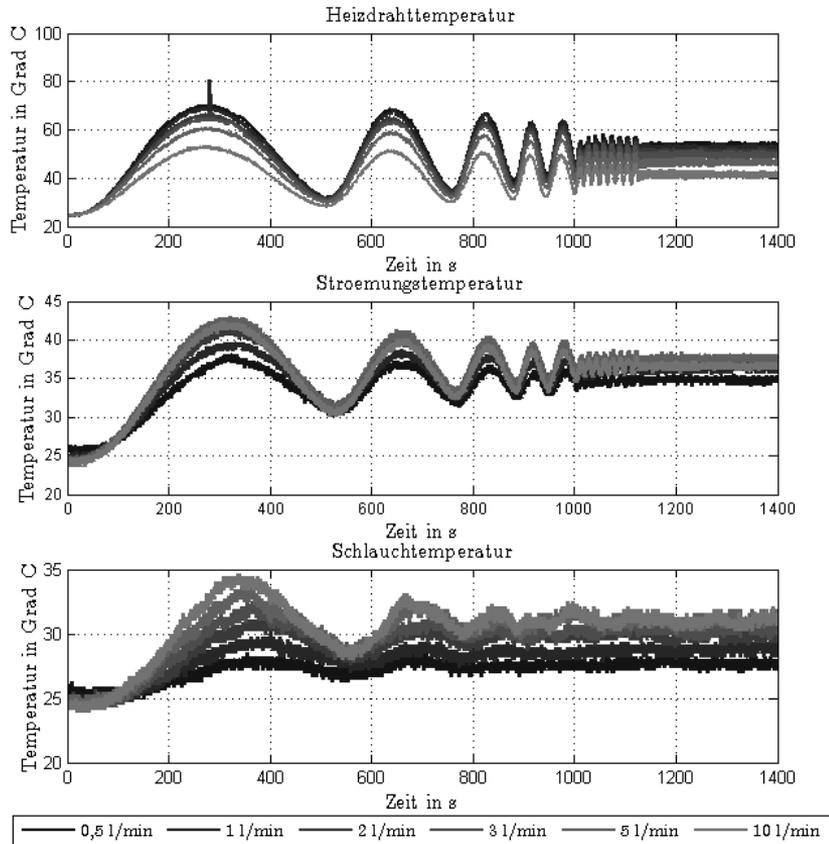
- Anwendung mathematischer Algorithmen auf gemessene zeitliche Verläufe der Drahtleistung und Temperaturen (Online vs. Offline-Identifikation)

### 3. Kombination aus Beidem

## System Identification Toolbox



# Regelung einer Gasheizung in der MIM – Identifikation (2)



Object Description

An `idss` model represents a system as a continuous-time or discrete-time state-space model with identifiable (estimable) coefficients.

A state-space model of a system with input vector  $u$ , output vector  $y$ , and disturbance  $e$  takes the following form in continuous time:

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t) + Ke(t)$$
$$y(t) = Cx(t) + Du(t) + e(t).$$

In discrete time, the state-space model takes the form:

$$x[k+1] = Ax[k] + Bu[k] + Ke[k]$$
$$y[k] = Cx[k] + Du[k] + e[k].$$

Open Help Browser F1 to toggle focus; Escape to close...

```
model = idss(A,B,C,D,K,x0(:, :, i), 0);

model.Structure.a.Free = [1 1 1;
                          1 1 0;
                          1 0 1];

model.Structure.b.Free = [0 0 0 1 0 0;
                          0 1 0 0 0 0;
                          0 0 0 0 1];

model.Structure.c.Free = zeros(3);
model.Structure.d.Free = [zeros(3) zeros(3)];
model.Structure.k.Free = zeros(3);

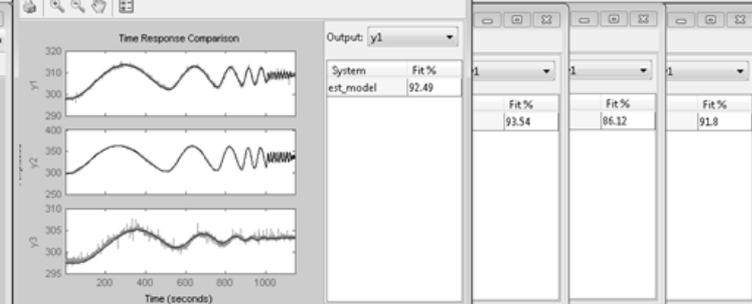
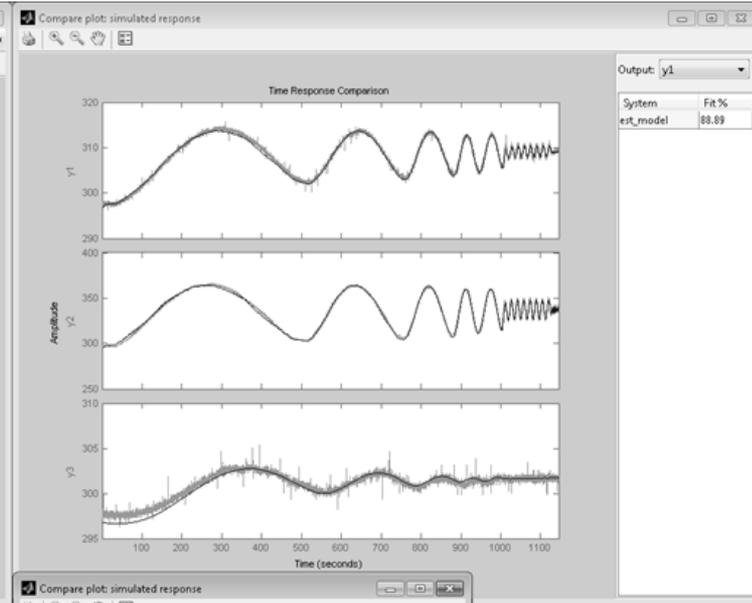
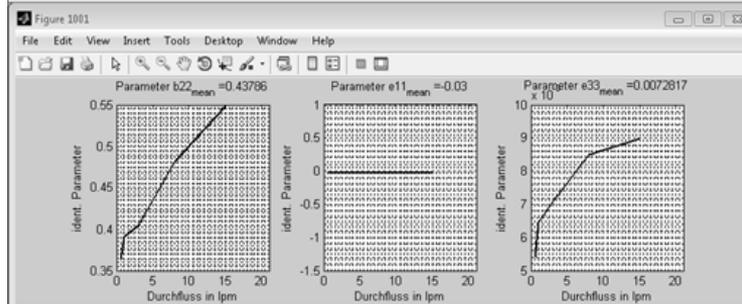
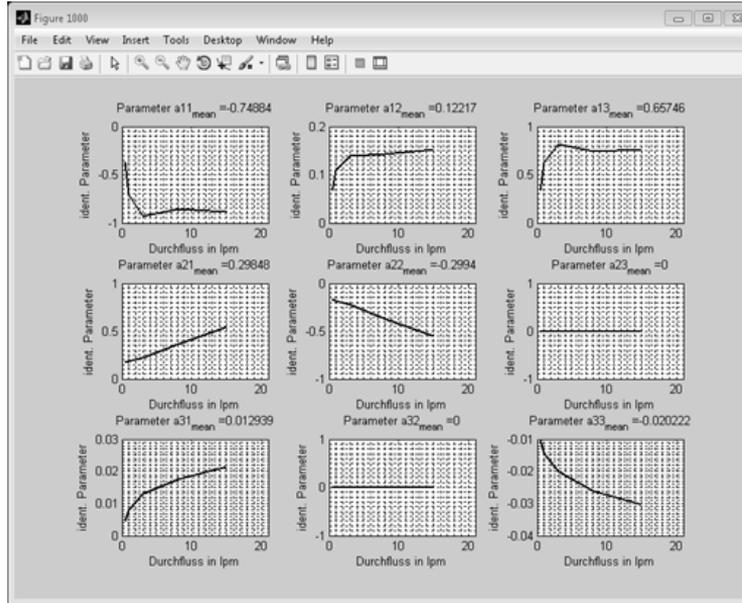
data = iddata(y(:, :, i), u(:, :, i), Ts);

opt = sstOptions;
opt.Display = 'on';
opt.SearchOption.MaxIter = 50;
opt.InitialState = x0(1,1:3,i);

[est_model est_x0] = sstest(data, model, 'focus', 'simulation', opt);
```

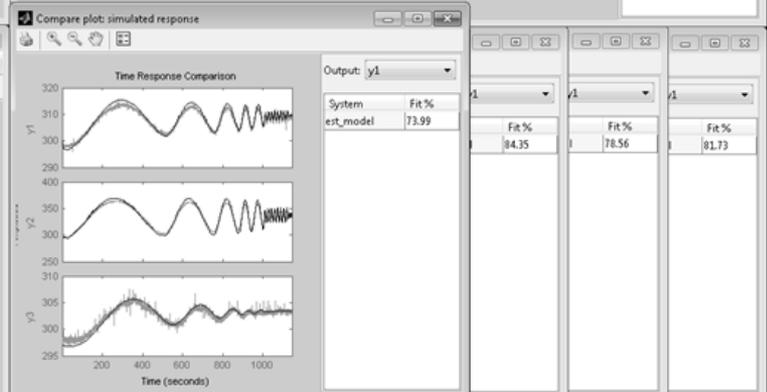
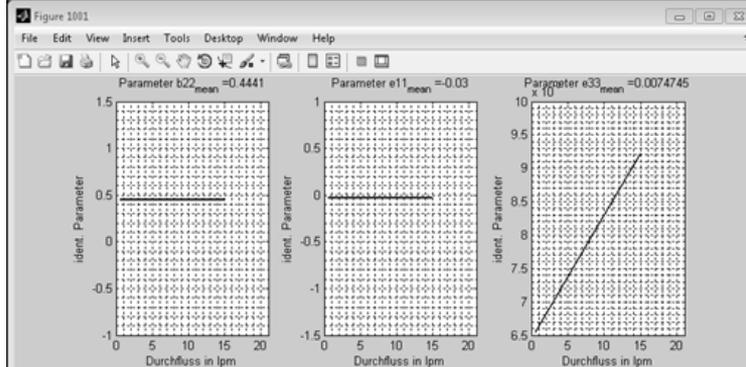
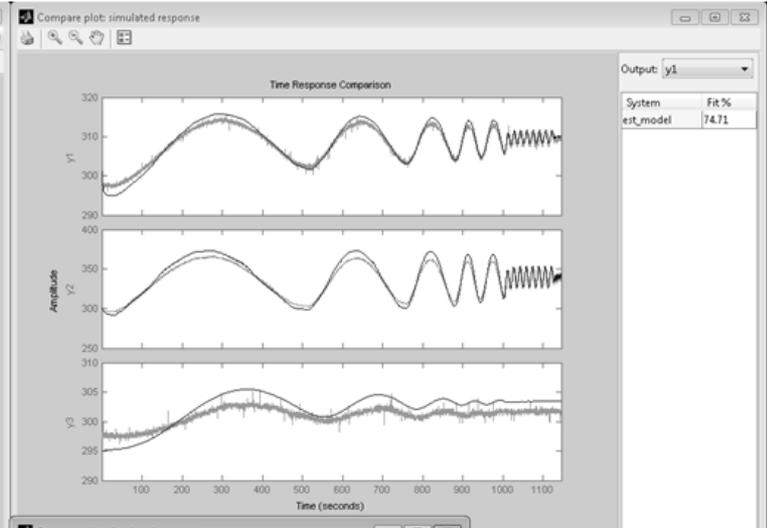
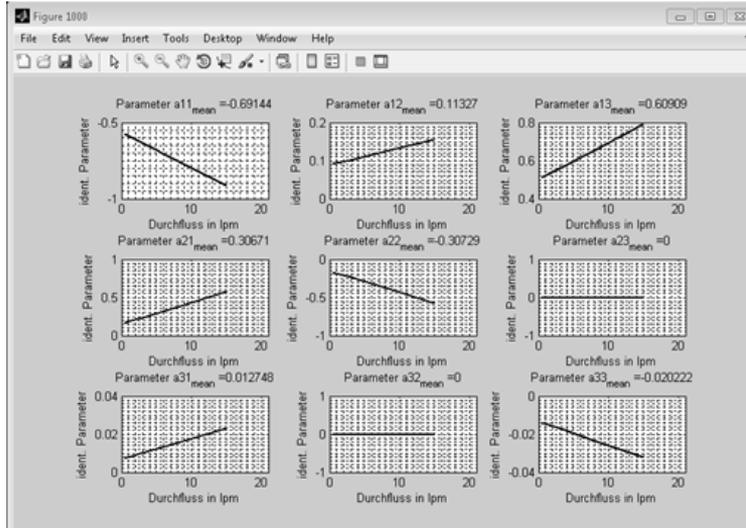
# Regelung einer Gasheizung in der MIM – Identifikation (3)

## 1. Iteration



# Regelung einer Gasheizung in der MIM – Identifikation (4)

letzte Iteration



## Untersuchungen in Simulink - Verifikation

- Verifikation des Algorithmus zur Zustandsbeobachtung:
  - Bewertung der numerischen Lösung des diskretisierten Zustandsraummodells
  - Einstellung der Beobachterpole unter gegebenen Abtastzeiten: Stabilität des adaptiven Beobachters
  - Auswirkungen konstanter Störungen auf die Schätzung: Implementierung eines Störgrößenbeobachters
- Untersuchung des Zeitverhaltens/Regelverhaltens im Zusammenhang mit den hardware-spezifischen Anforderungen
- Auslegung eines Standardreglers mit Zustandsschätzung als Regelgröße
- Wie wirken sich konstante Messabweichungen auf die Regelung mit einem Zustandsbeobachter aus (dynamischer und statischer Fehler) → Spezifikation der notwendigen Messgenauigkeit für die Hardware
- ...

# Regelung einer Gasheizung in der MIM – Simulationsstudien (2)

## Untersuchung des Zeitverhaltens/Regelverhaltens im Zusammenhang mit der Hardware im hybriden Modell

### ► Zielstellung:

1. Performanceeinsparung: Regler mit möglichst langsamer Zykluszeit
2. Einhaltung des Abtasttheorems
3. Stellung des Aktors: Erzeugung einer PWM in Software

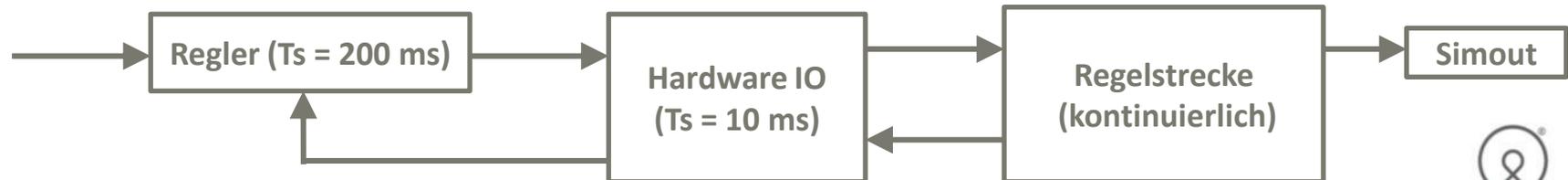
### ► Untersuchung:

- Aktor = Sensor + Abtasttheorem → Begrenzung der Stellgeschwindigkeit/ Frequenz
- Bester Kompromiss aus PWM Frequenz und Pulsweitenauflösung für ausreichendes Regelverhalten
- Trennung von Hardwareansteuerung/-abtastung und Reglerzyklus

### ► Vorgehen:

- Variation von Abtastzeiten und Tastverhältnissen in der Simulation

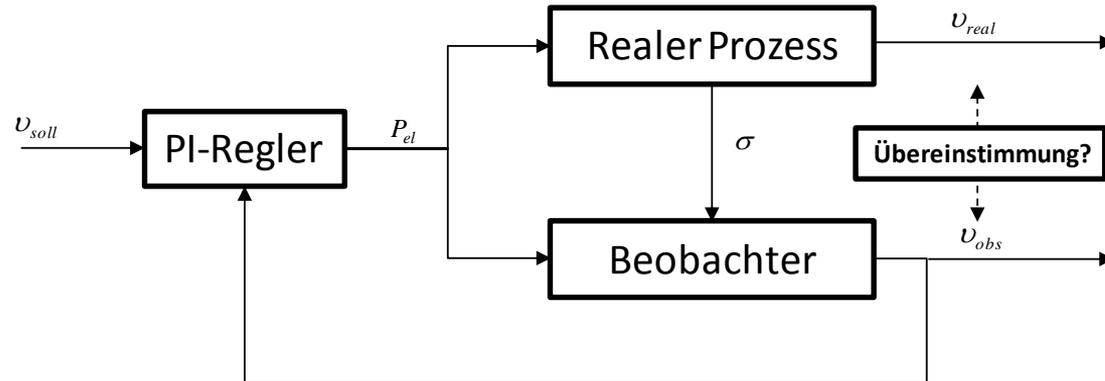
## Hybrides Simulationsmodell



# Regelung einer Gasheizung in der MIM – Erprobung (1)

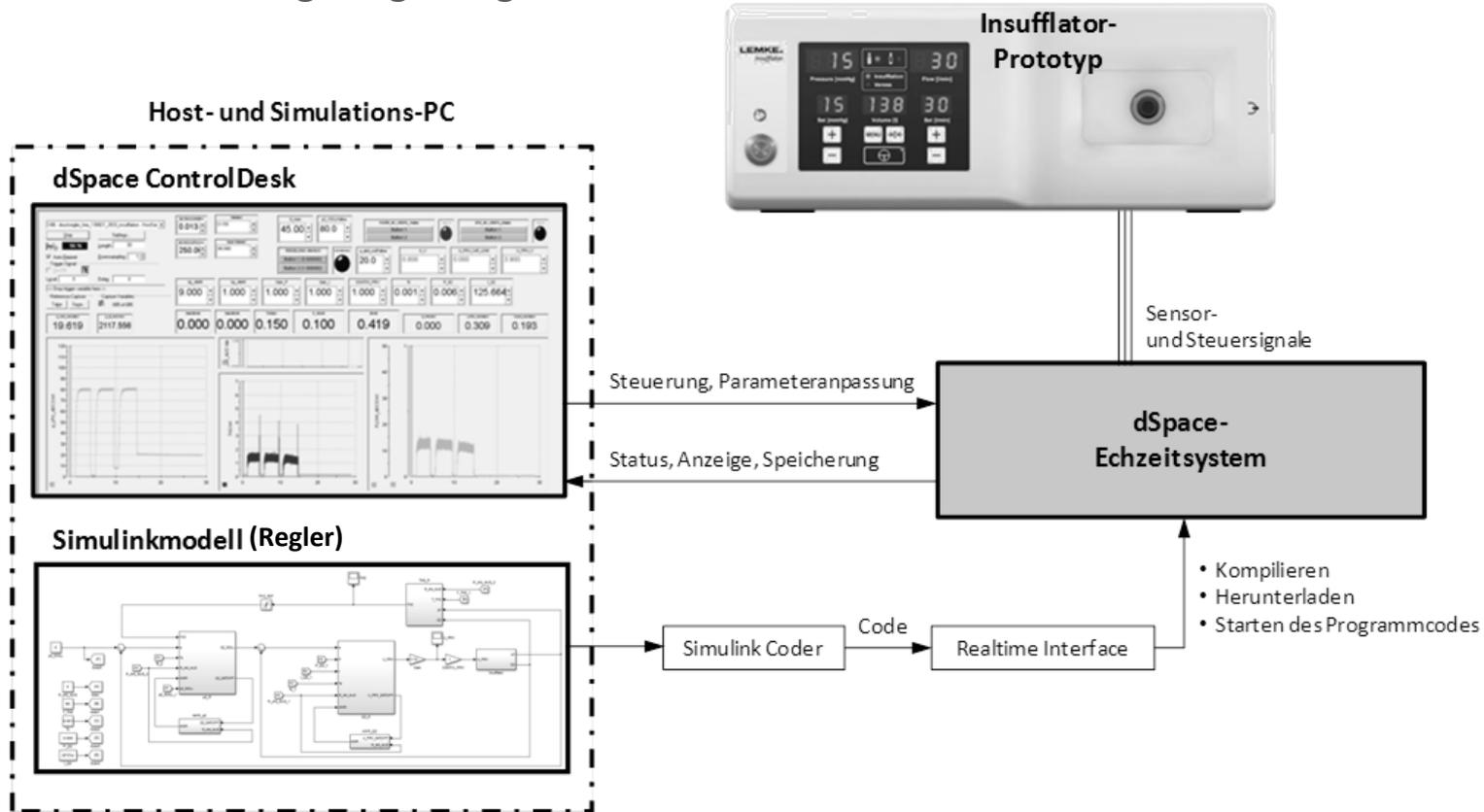
## Untersuchungen am Prototypen mit RCP

- Frühe Validierung des Regelsystems
  - Vergleich Gesamtsimulation und RCP-Test in ausgewählten Szenarien
  - Tatsächlicher Einfluß von Störgrößen
  - Parametervarianzen: Funktionsweise der Adaption
- Funktionaler Test der Regelung: Werden die Anforderungen eingehalten?
- ...

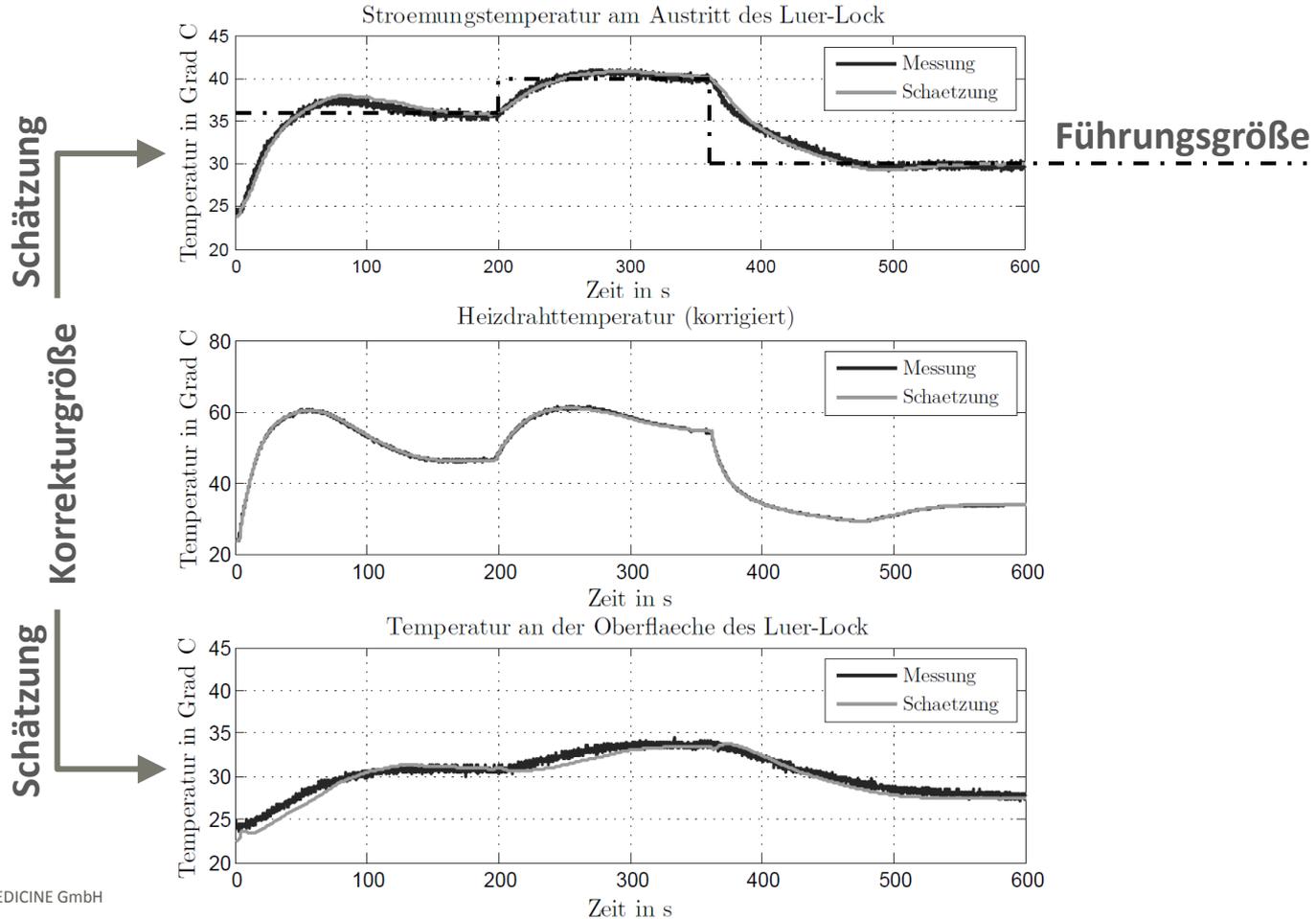


# Regelung einer Gasheizung in der MIM – Erprobung (2)

## RCP-Entwicklungsumgebung



# Regelung einer Gasheizung in der MIM – RCP Erprobung (3)

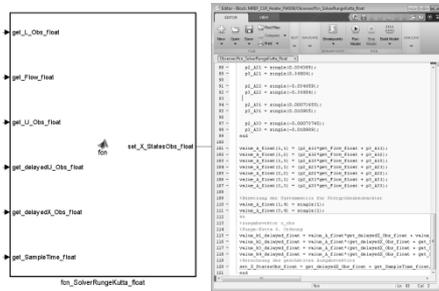


# Regelung einer Gasheizung in der MIM – Codierung (1)

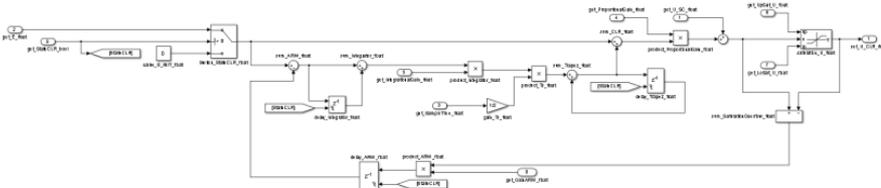
Besondere Vorteile der automatischen Codegenerierung

Modellbasierte Programmierung

Matlabskript

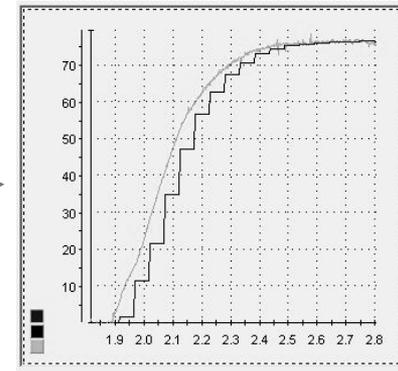


Strukturen

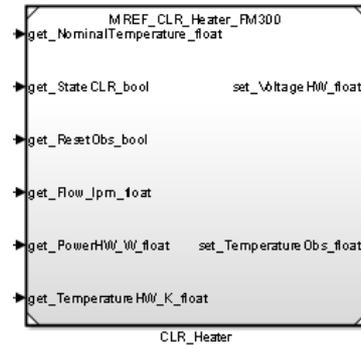


Verifikation und Validierung

Simulation



Modellreferenz

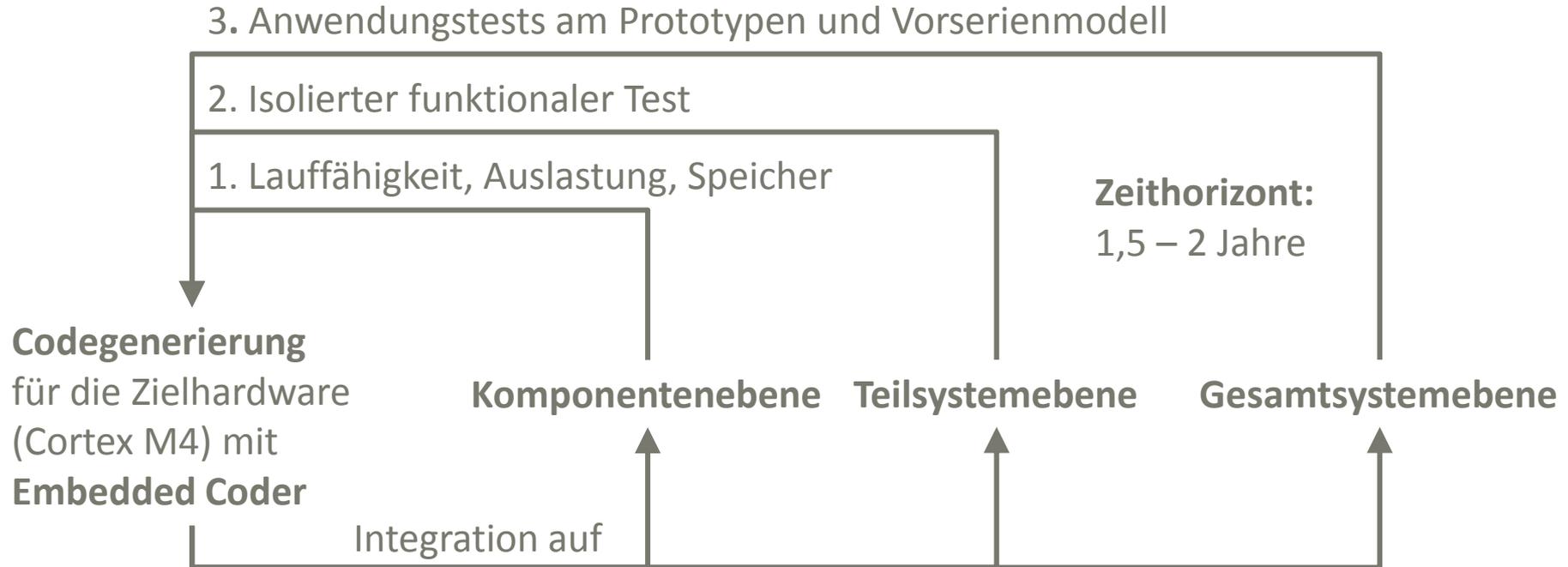


RCP, Embedded



# Regelung einer Gasheizung in der MIM – Codierung (2)

## Embedded Code



# Regelung einer Gasheizung in der MIM – Übersicht eingesetzter Tools

Entwicklungsphase	Eingesetztes Tool
Systemdesign	Signal Processing Toolbox
Analyse	System Identification Toolbox
Modellierung	Control System Toolbox
Simulation	Matlab, Simulink
Reglerentwicklung	Control System Toolbox
Reglererprobung	Simulink, RCP-System
Codierung	Matlab/Simulink/Embedded Coder

# Regelung einer Gasheizung in der MIM – Fazit

## Ergebnis im Vergleich

### Klassisches Vorgehen bei der Entwicklung eines Regelsystems

	Aufgabenklärung	Experimente	Auswertung	Reglerdesign	Codieren und Einbinden	Reglererprobung
Entw.-umgebung	-	Labview	Excel	Matlab/Simulink	Visual Studio	Labview/Embedded
Zeitanteil	5%	15%	15%	15%	35%	15%

Technische Lösung nicht fertiggestellt

100% Zeitaufwand

### Vorgehen mit Rapid-Control-Prototyping

	Aufgabenklärung	Modellierung	Identifikation und Simulation	Reglerdesign	Codieren und Einbinden	Reglererprobung
Entw.-umgebung	Matlab/Simulink und dSpace					
Zeitanteil	5%	30%	25%	25%	0%	15%

Lange Iteration

bessere Lösung für komplexe Problemstellung

Kurze Iteration

Vielen Dank...

...für Ihre Aufmerksamkeit