

Modellbasierte Systemoptimierung und Überwachung für ein Stanznietsystem

Dirk Weidemann

Institut für Systemdynamik und Mechatronik
FH Bielefeld

Projekt:



Entwicklung selbstüberwachender energieoptimierter Montagesysteme

Wettbewerb: Automotive + Produktion.NRW



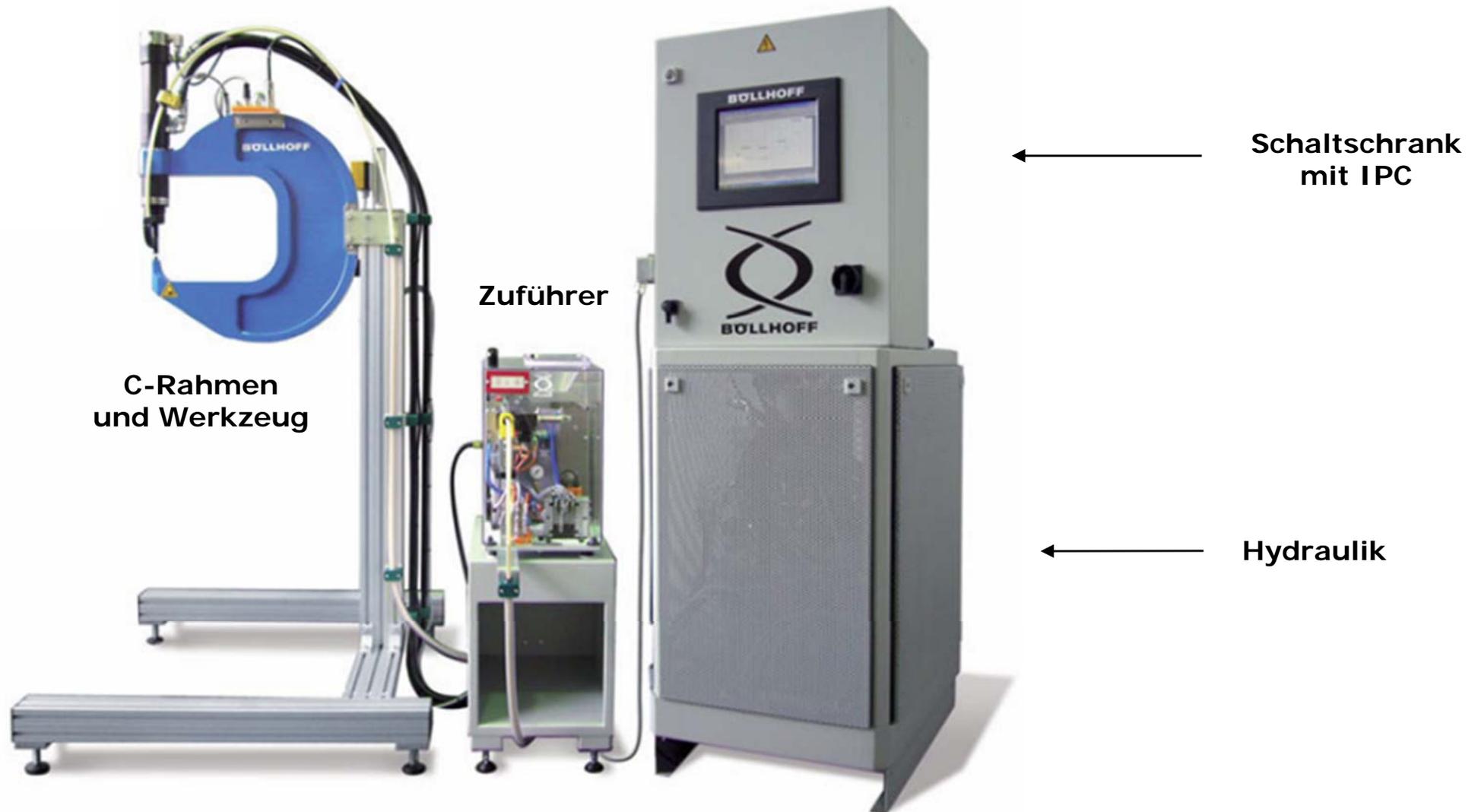
EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Projektträger: Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen



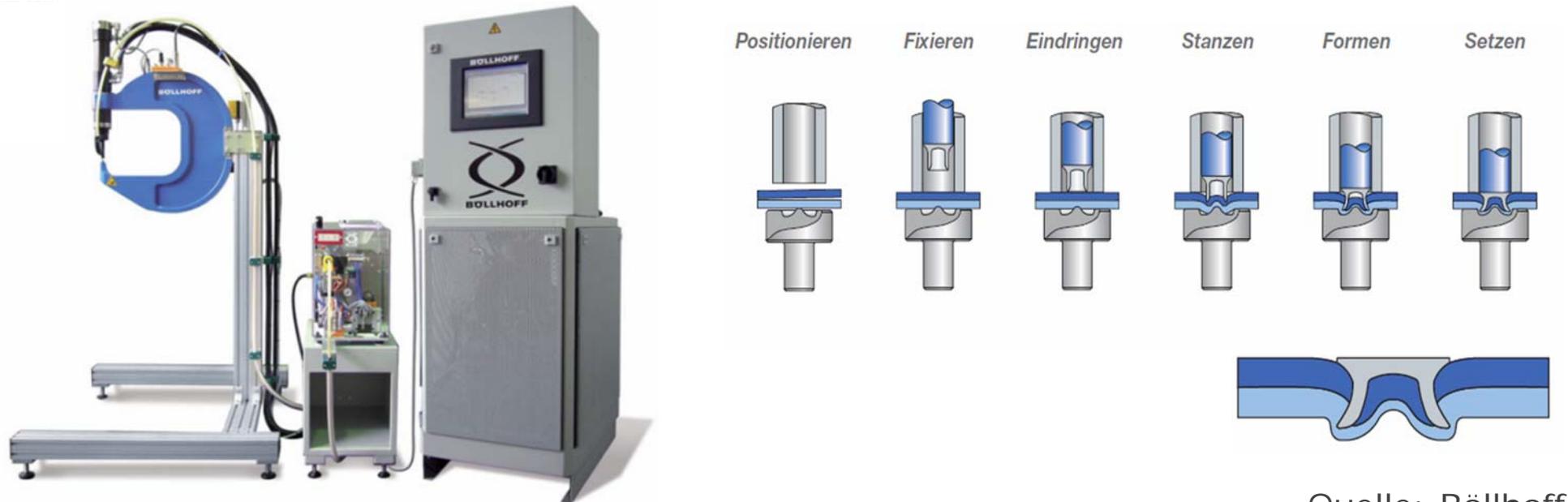
Laufzeit: 01.09.2011 - 31.05.2014

Stanznietsystem – RIVSET-Gen2



- *Modellierung des energetischen Verhaltens*
- *Optimierung des energetischen Verhaltens*
- *Modellbasierte Systemüberwachung*
- *Zusammenfassung*

Übersicht des Stanznietensystems – RIVSET-Gen2



Quelle: Böllhoff

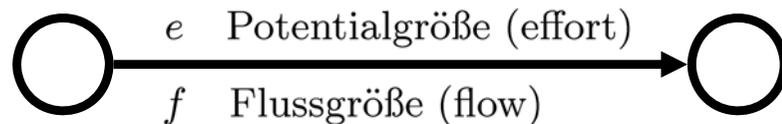
Ergebnisse der Analyse des Einsparungspotentials:

- Funktionen mit hohem Energiebedarf sind identifiziert
 - Niet aufsetzen
 - Niet eintreiben
 - Niet verformen
 - Niet zuschießen
- } Beschreibung der Funktionen durch geeignete mathematische Modelle

Anforderungen an die Modellierungsart

- Hohes Maß an Wiederverwendbarkeit
- Einfache Erweiterbarkeit
- energetische Modellbildung → direkte Aussage über den energetischen Fluss

Bondgraphen: Grafische Modellierungstechnik zur Beschreibung von Energieflüssen in physikalisch, technischen Systemen



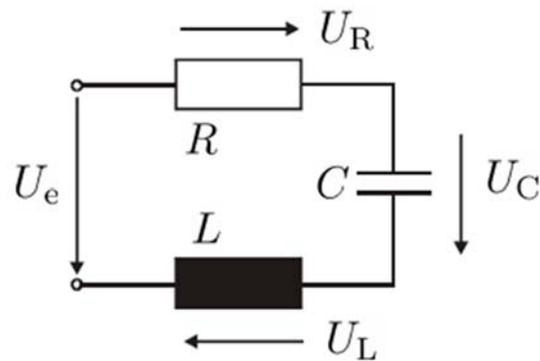
Leistung $P = e f$

Energieform	Flussgröße (flow)	Potentialgröße (effort)	Leistung
translat. Energie	Geschwindigkeit v	Kraft F	$P = v \cdot F$
rotatorische Energie	Winkelgeschwindigkeit ω	Drehmoment θ	$P = \omega \cdot \theta$
elektrische Energie	elektr. Strom i	elektr. Spannung u	$P = i \cdot u$
magnet. Energie	magn. Flussrate $\frac{d\phi}{dt}$	magn. Spannung Θ	$P = \frac{d\phi}{dt} \cdot \Theta$
Strömungsenergie	Volumenstrom $\frac{dV}{dt}$	Druck p	$P = \frac{dV}{dt} \cdot p$
thermische Energie	Entropiefluss $\frac{dS}{dt}$	Temperatur T	$P = \frac{dS}{dt} \cdot T$

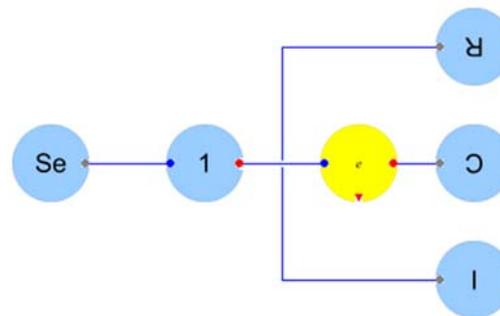
Vorteile von Bondgraphen

- Graphisch gestützte Modellierung
 - Domänenunabhängig
 - Objektorientiert
- Einfache Verknüpfung von Teilmodellen
- Formale Bestimmung der mathematischen Modelle → automatische Generierung
 - Toolunterstützt, z.B. Dymola, 20-Sim

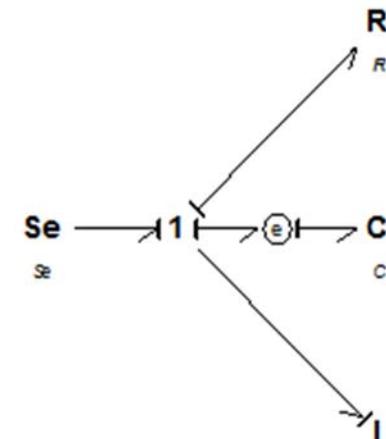
Beispiel (RLC-Schwingkreis):



Ikonesches Modell



Bondgraphen-Modell
(Dymola)



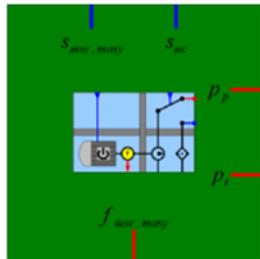
Bondgraphen-
Modell (20-Sim)

Modell des Stanznietsystems

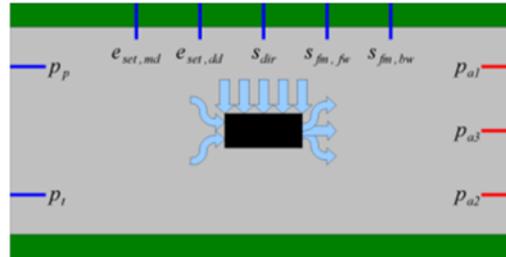
Teilmodelle



Druckversorgung



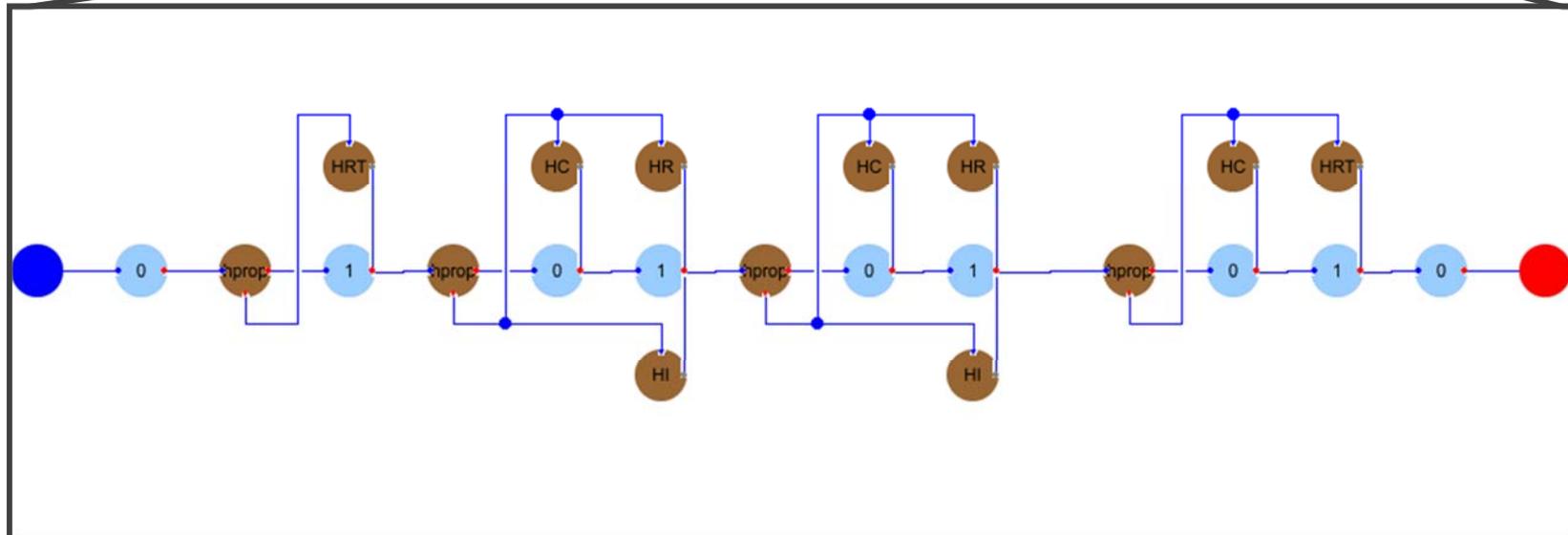
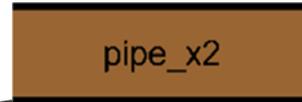
Ventilblock



Setzzyylinder



Schläuche



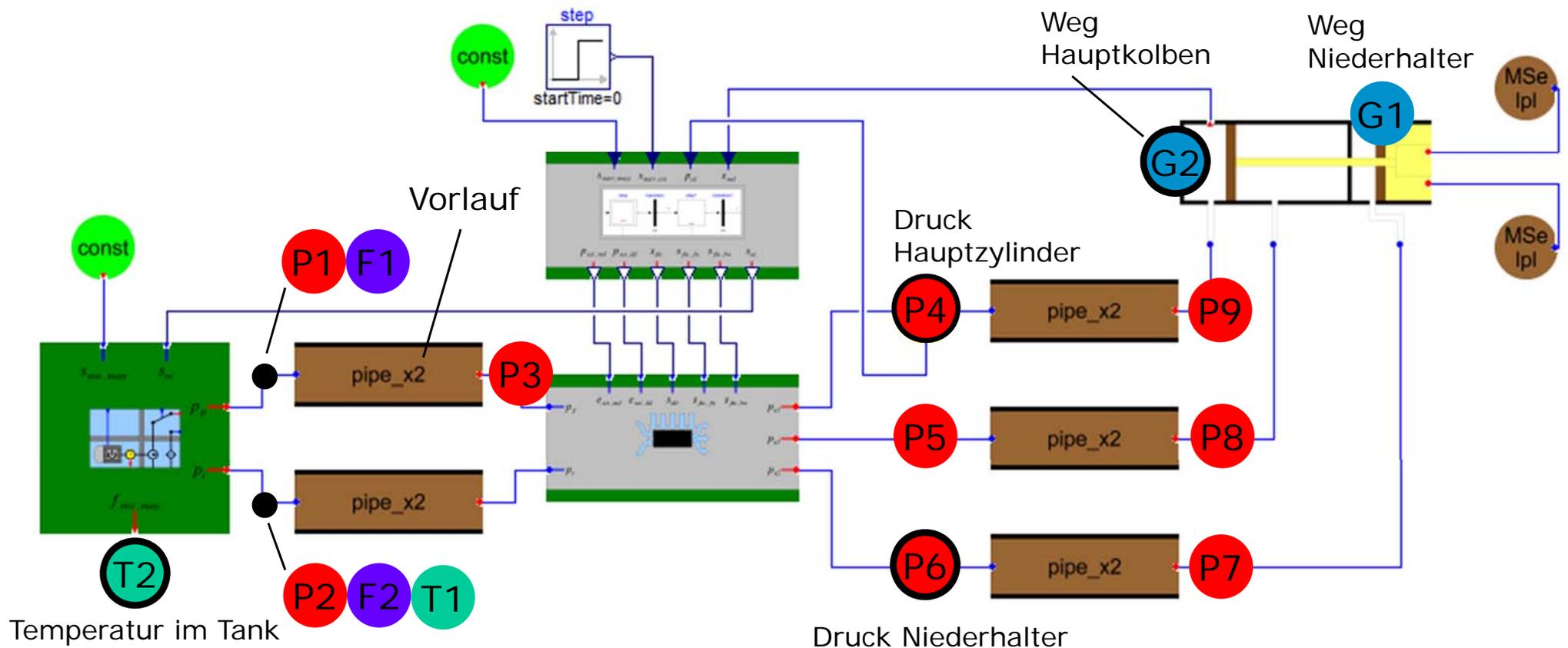
Sensorik des Demonstrators

Seriensensorik

- 1 Wegsensor
- 2 Drucksensoren
- 1 Temperatursensor

Zusätzliche Sensorik

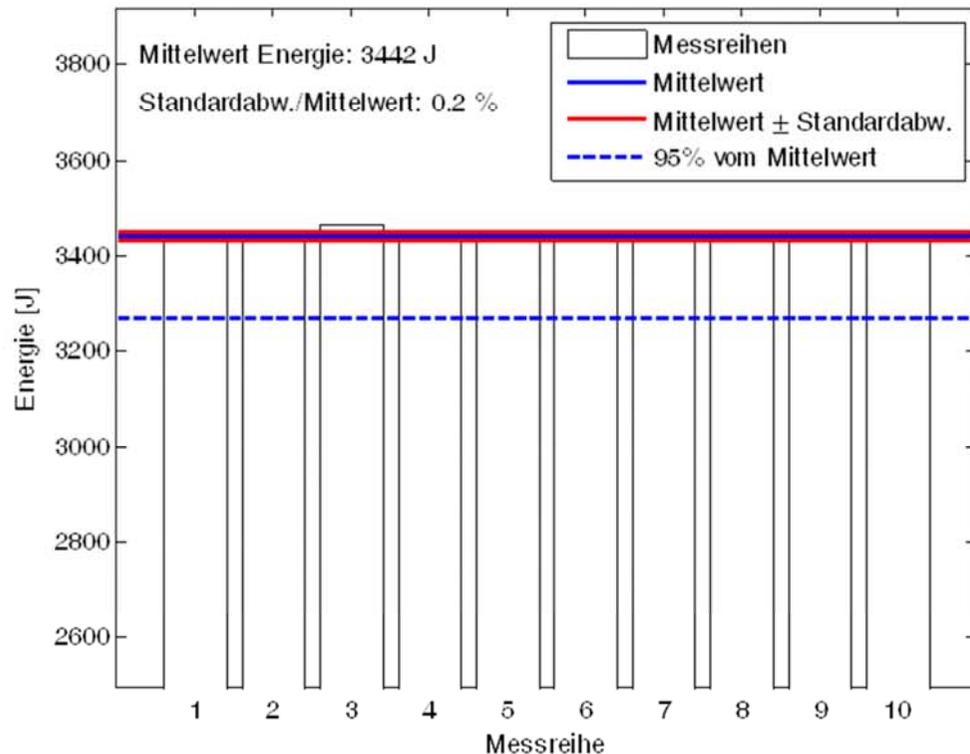
- 1 Wegsensor
- 7 Drucksensoren
- 1 Temperatursensor
- 2 Volumenstromsensoren



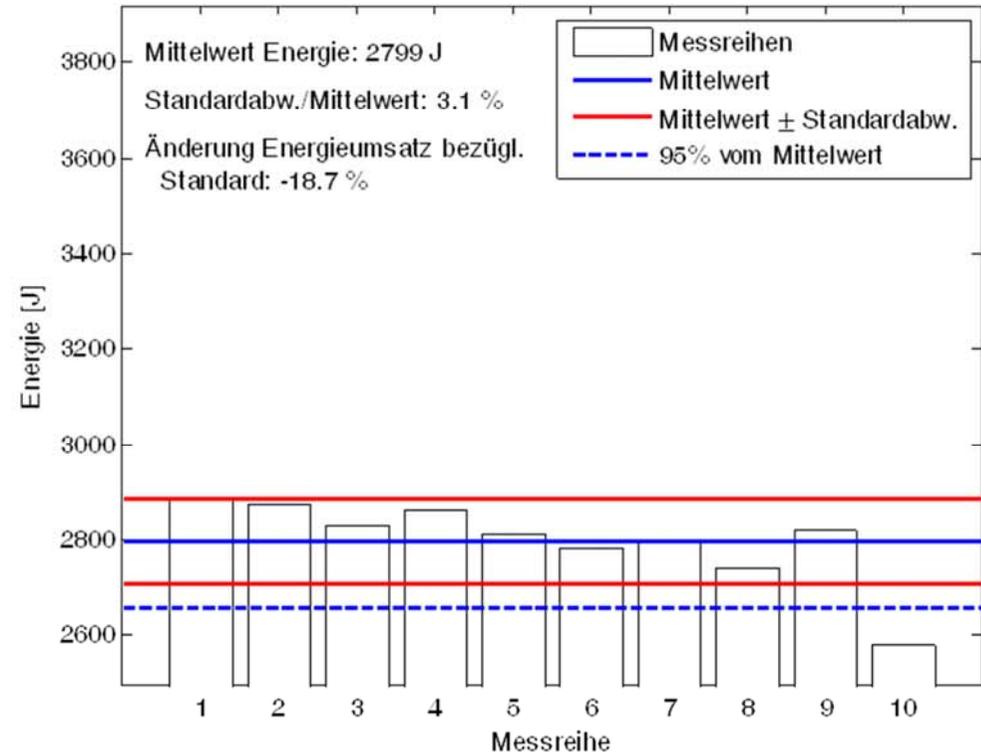
- *Modellierung des energetischen Verhaltens*
- *Optimierung des energetischen Verhaltens*
- *Modellbasierte Systemüberwachung*
- *Zusammenfassung*

Reduktion des Energieumsatzes (hydraulische Energie)

Energie pro Setzzyklus,
Standard – Steuerung in 10 ms-Task



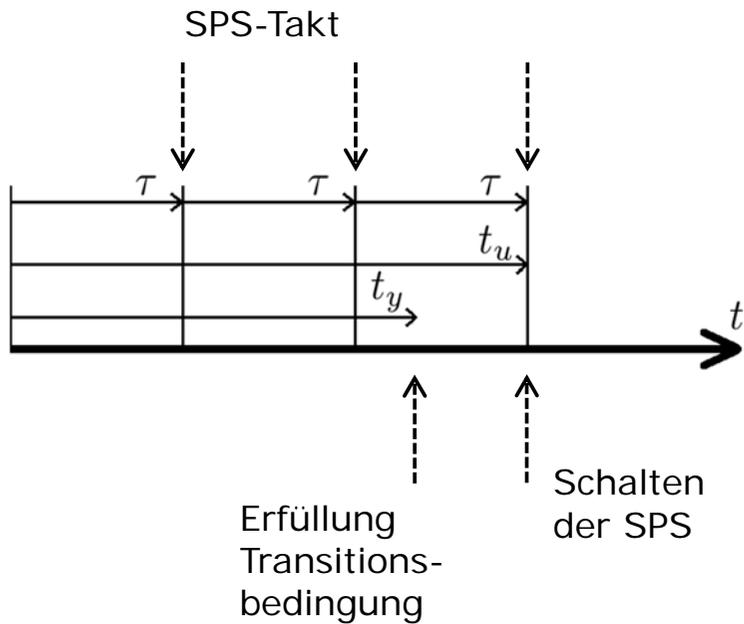
Energie pro Setzzyklus,
Anpassung - Steuerung in 1 ms-Task



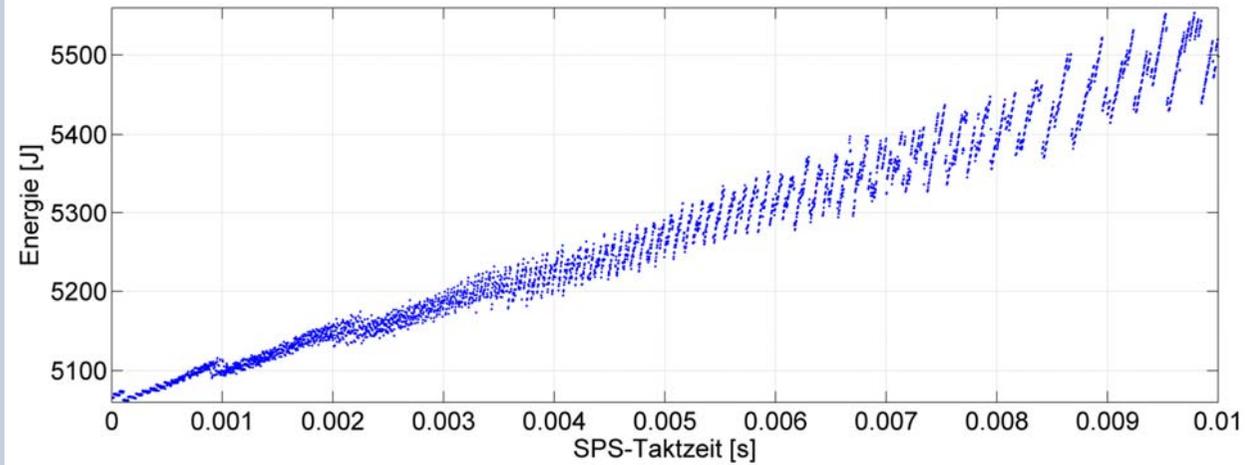
→ **Anpassung bringt signifikante Verringerung des Energieumsatzes**

- Mittelwert Energie bei Verwendung der Standardeinstellungen: 3442 J
- Mittelwert Energie bei Anpassung der Steuerung: 2799 J
- Reduktion: -18,7 %

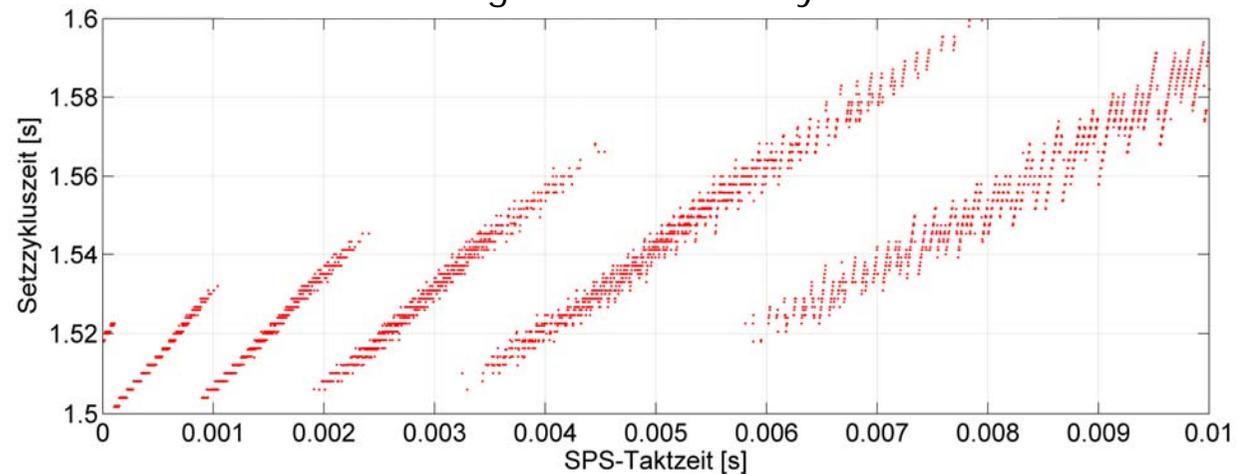
Einfluss der Zykluszeit auf das energetische Verhalten und die Setzzykluszeit



Simulationsergebnisse \rightarrow Energieumsatz



Simulationsergebnisse \rightarrow Setzzykluszeit



Einfluss der Zykluszeit auf das energetische Verhalten und die Setzzykluszeit

Annahme: $t_y = 1$

1. Fall: $\tau \geq t_y$

Schaltzeit: $t_u = 1 \cdot \tau$

z.B. $\tau = 1.2$

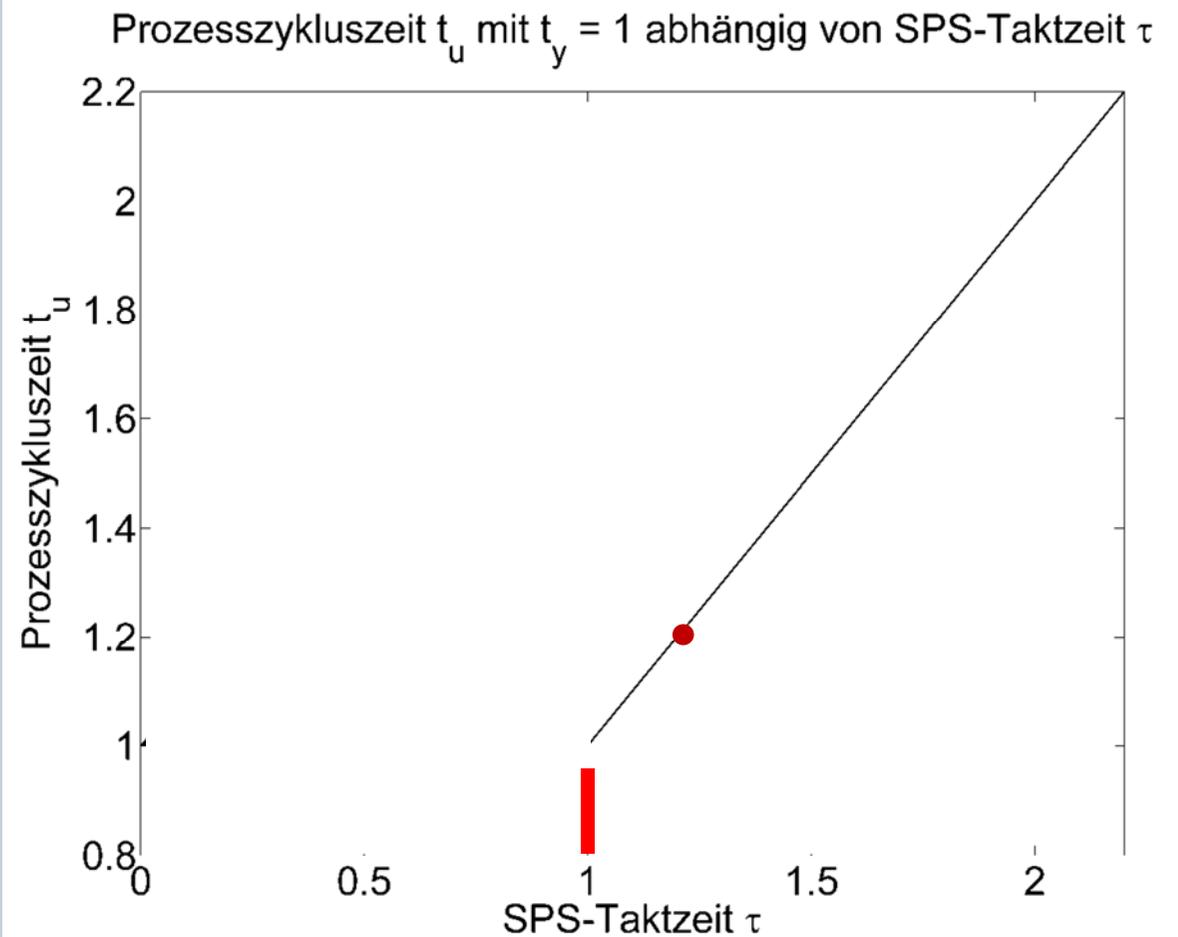
$$\Rightarrow t_u = 1 \cdot \tau = 1.2$$

2. Fall: $\tau < t_y$

Schaltzeit: $t_u = \left\lceil \frac{t_y}{\tau} \right\rceil \cdot \tau$

z.B. $\tau = 0.8$

$$\Rightarrow t_u = 2 \cdot \tau = 1.6$$



Einfluss der Zykluszeit auf das energetische Verhalten und die Setzzykluszeit

Annahme: $t_y = 1$

1. Fall: $\tau \geq t_y$

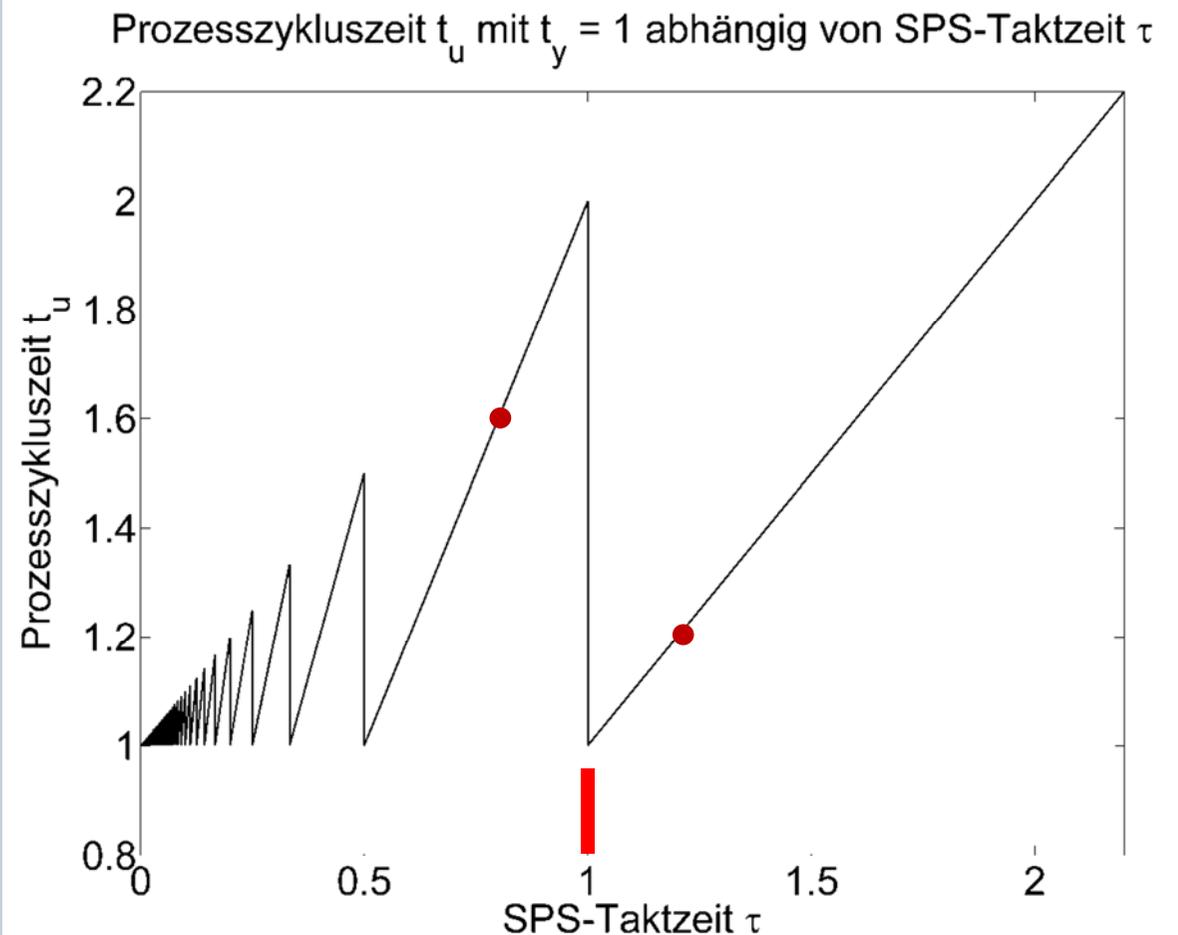
Schaltzeit: $t_u = 1 \cdot \tau$

z.B. $\tau = 1.2$
 $\Rightarrow t_u = 1 \cdot \tau = 1.2$

2. Fall: $\tau < t_y$

Schaltzeit: $t_u = \left\lceil \frac{t_y}{\tau} \right\rceil \cdot \tau$

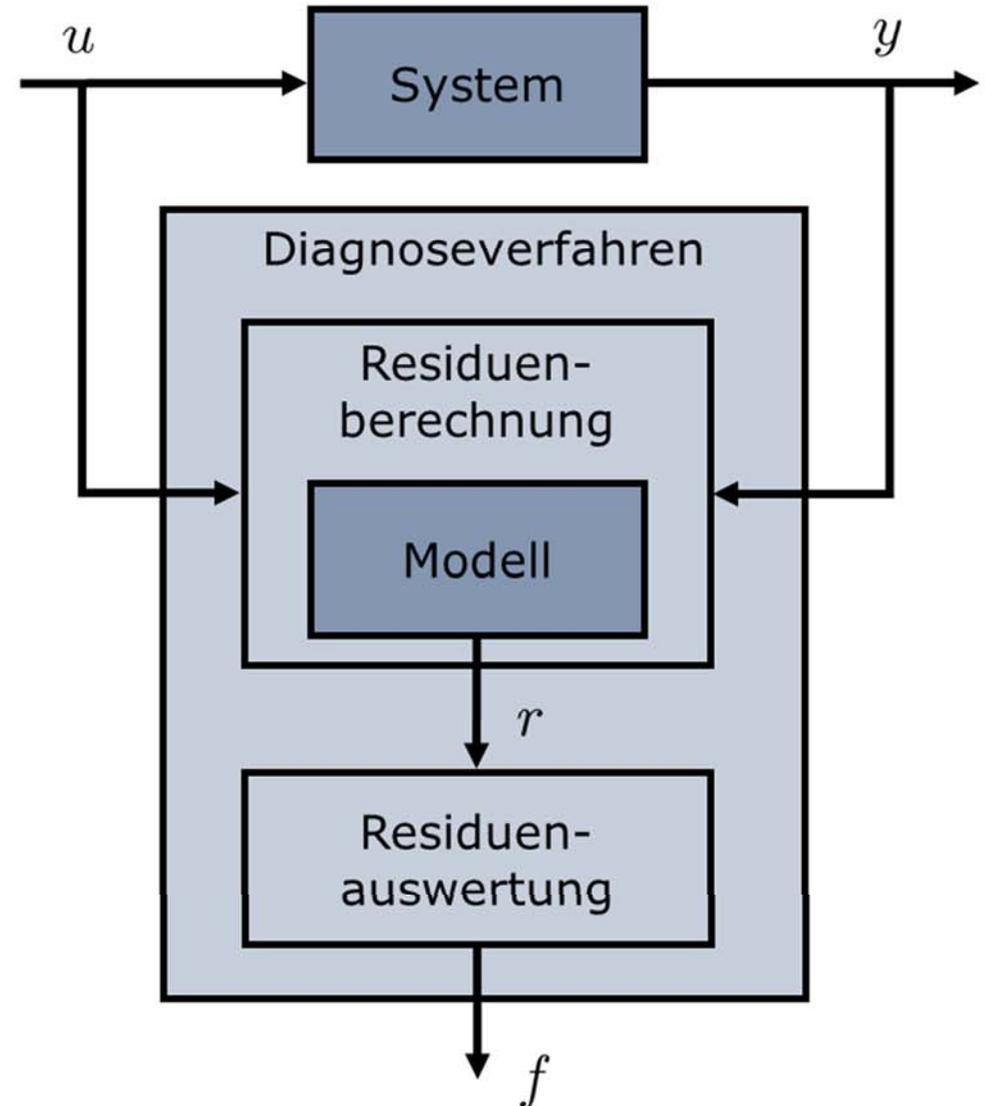
z.B. $\tau = 0.8$
 $\Rightarrow t_u = 2 \cdot \tau = 1.6$



- *Modellierung des energetischen Verhaltens*
- *Optimierung des energetischen Verhaltens*
- ***Modellbasierte Systemüberwachung***
- *Zusammenfassung*

Aufgaben und Schema der modellbasierten Diagnose

- i. Fehlerdetektion**
Ist ein Fehler aufgetreten?
- ii. Fehlerlokalisierung**
Wo ist der Fehler aufgetreten?
→ z.B. Fehler in einem Rohr
- iii. Fehleridentifikation**
Welche Fehlerart liegt vor und wie groß ist der Fehler?
→ z.B. Rohr zu 50% verstopft



Detektion von Systemveränderungen zur Sicherstellung des energieoptimierten Betriebs

Residuenberechnung mittels stochastischer Filter

Zustandsraumdarstellung:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t))$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{h}(\mathbf{x}(t))$$

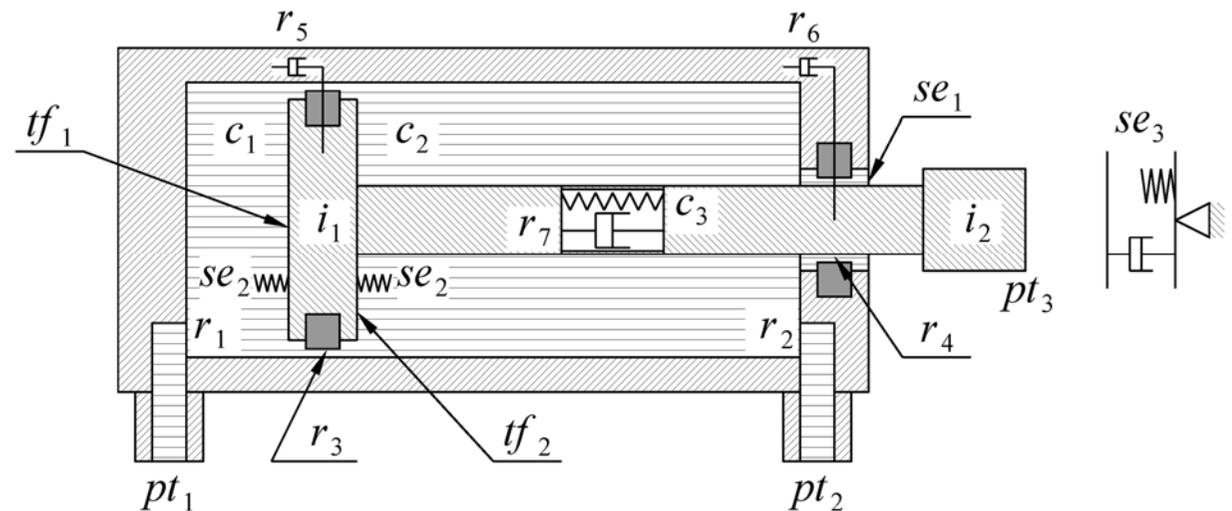
Semi-explizites DAE-System:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{z}(t), \mathbf{u}(t))$$

$$\mathbf{0} = \mathbf{h}(\mathbf{x}(t), \mathbf{z}(t))$$

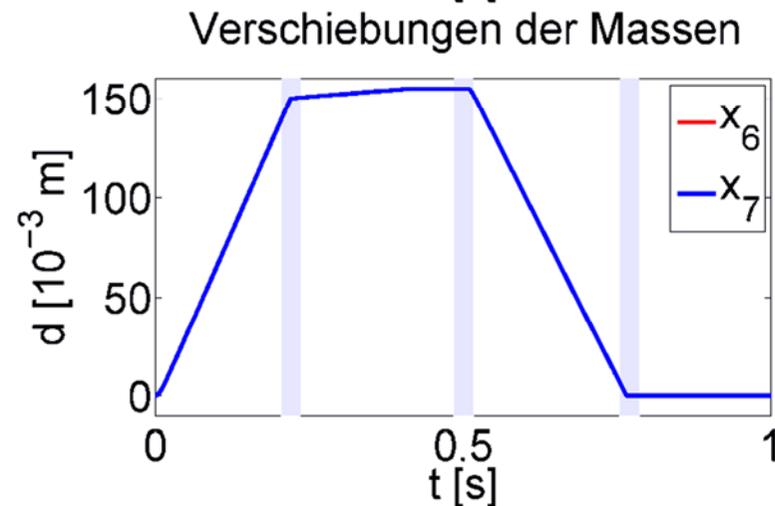
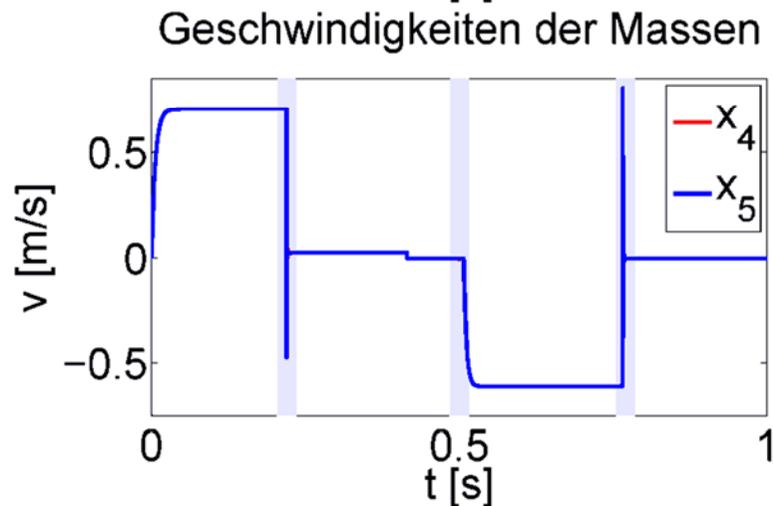
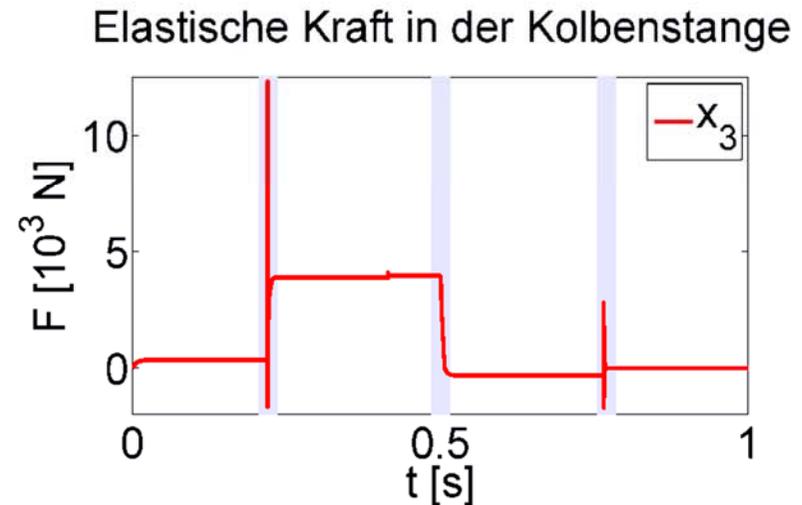
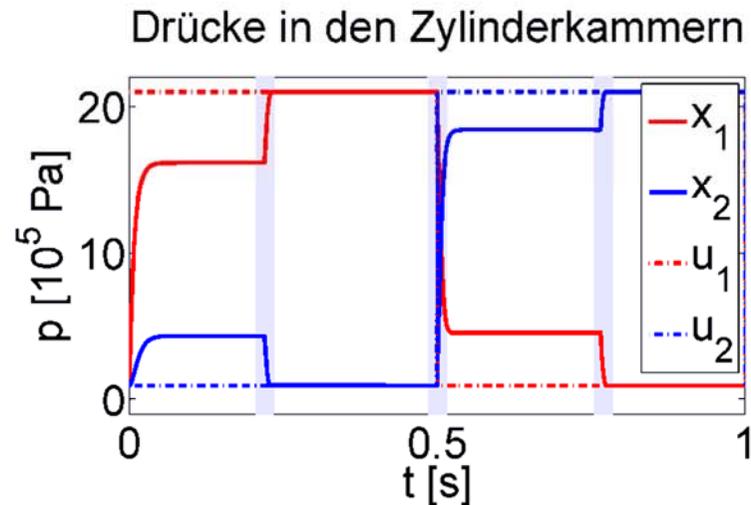
$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{h}(\mathbf{x}(t), \mathbf{z}(t))$$

Betrachtetes Teilsystem → Hydraulikzylinder



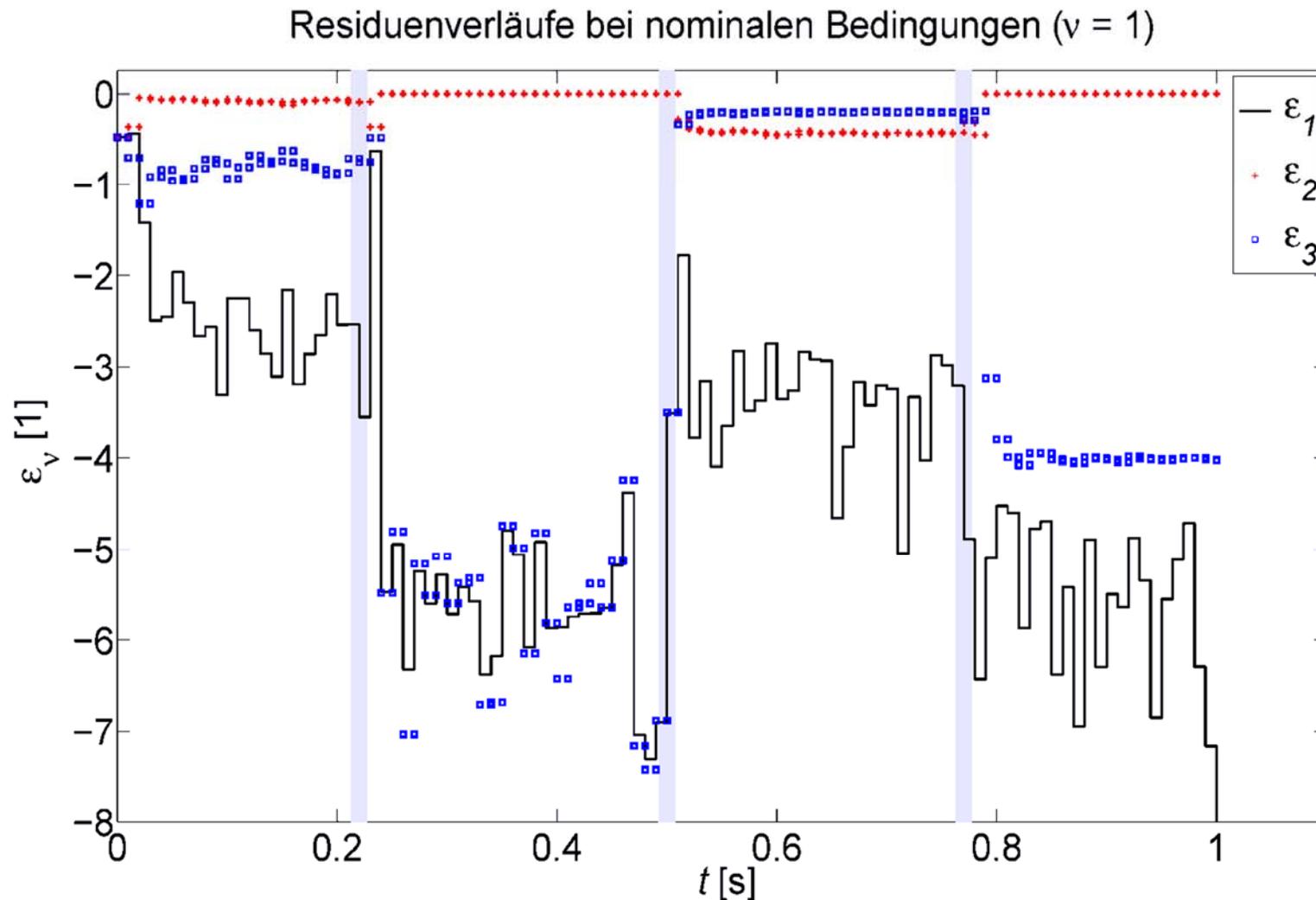
Detektion von Systemveränderungen zur Sicherstellung des energieoptimierten Betriebs

Betrachtung eines Setzvorgangs



Detektion von Systemveränderungen zur Sicherstellung des energieoptimierten Betriebs

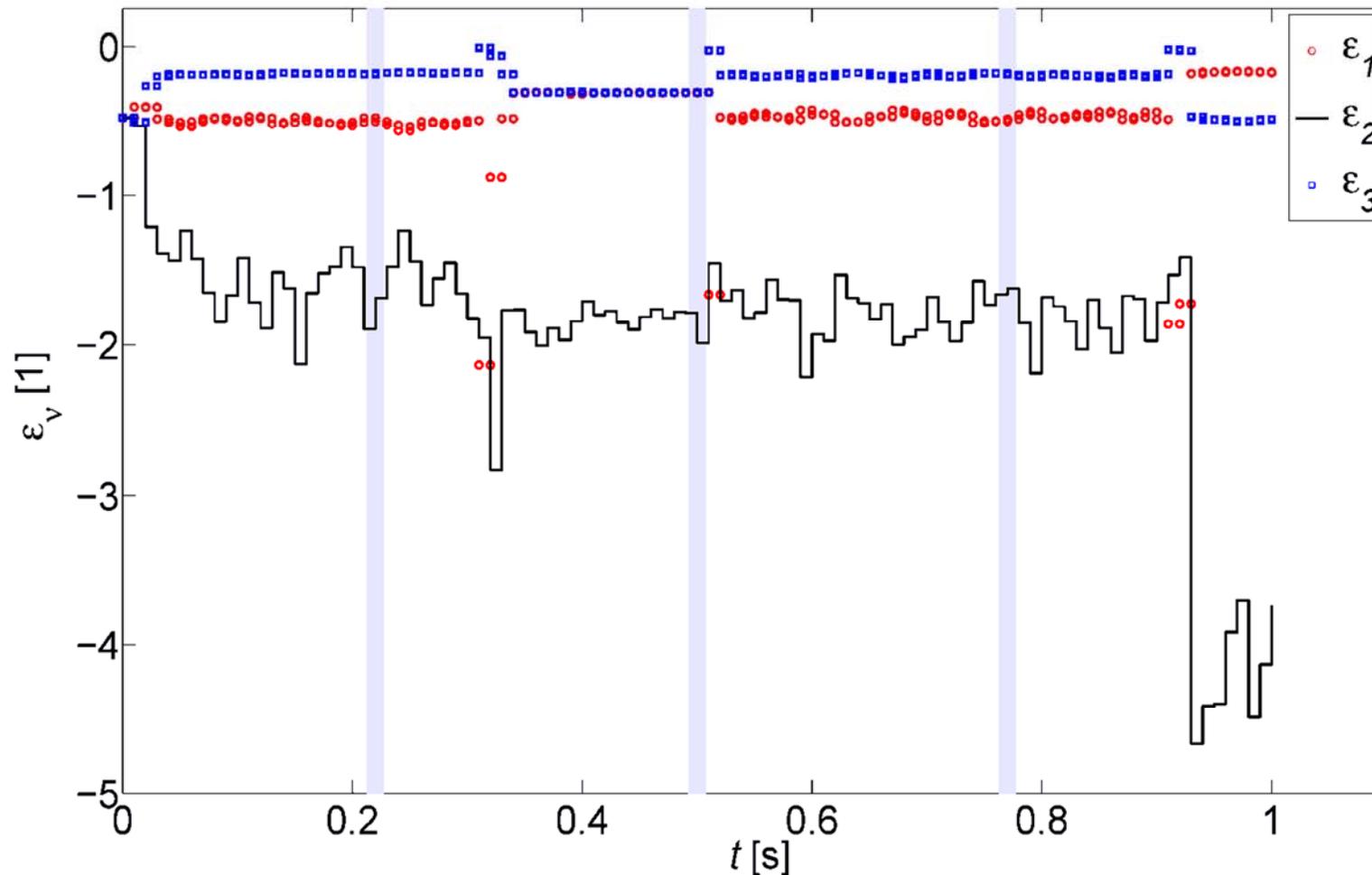
Erkennung von Systemveränderungen (1/3)



Detektion von Systemveränderungen zur Sicherstellung des energieoptimierten Betriebs

Erkennung von Systemveränderungen (2/3)

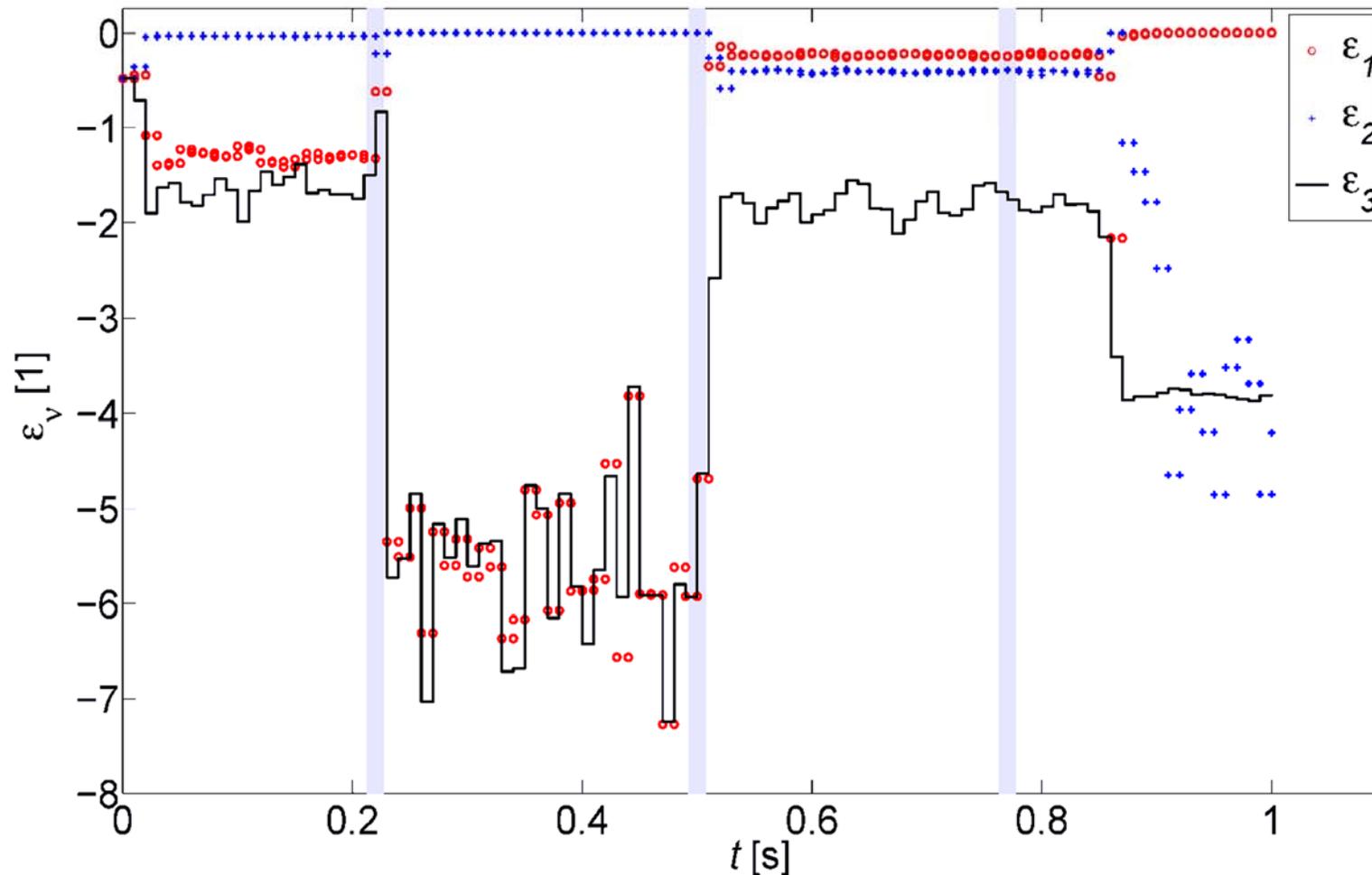
Residuenverläufe bei erhöhter internen Leckage ($v = 2$)



Detektion von Systemveränderungen zur Sicherstellung des energieoptimierten Betriebs

Erkennung von Systemveränderungen (3/3)

Residuenverläufe bei erhöhter externer Leckage ($v = 3$)

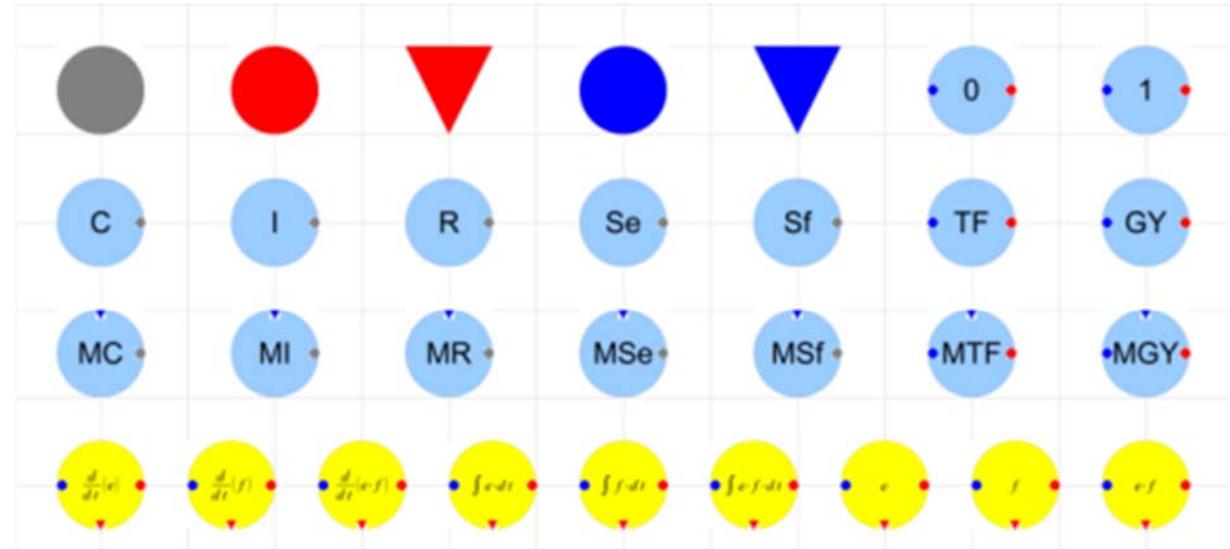


- **Energetische Modellierung mittels Bondgraphen**
- **Optimierung des energetischen Verhaltens durch Änderung der SPS-Zykluszeit**
- **Erkennung von Systemveränderungen mittels modellbasierter Überwachungsfunktionen**

Entwicklung einer Bondgraphenbibliothek

Standard

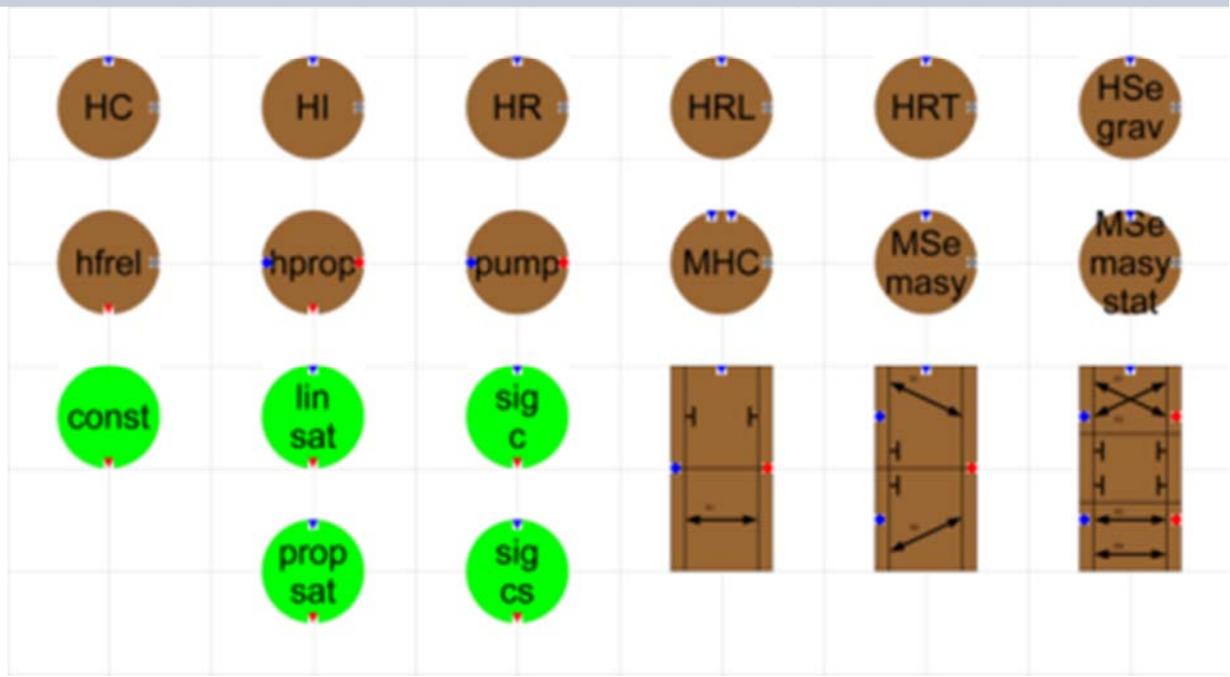
Bondgraphenelemente:



Hydraulik spezifische

Bondgraphenelemente:

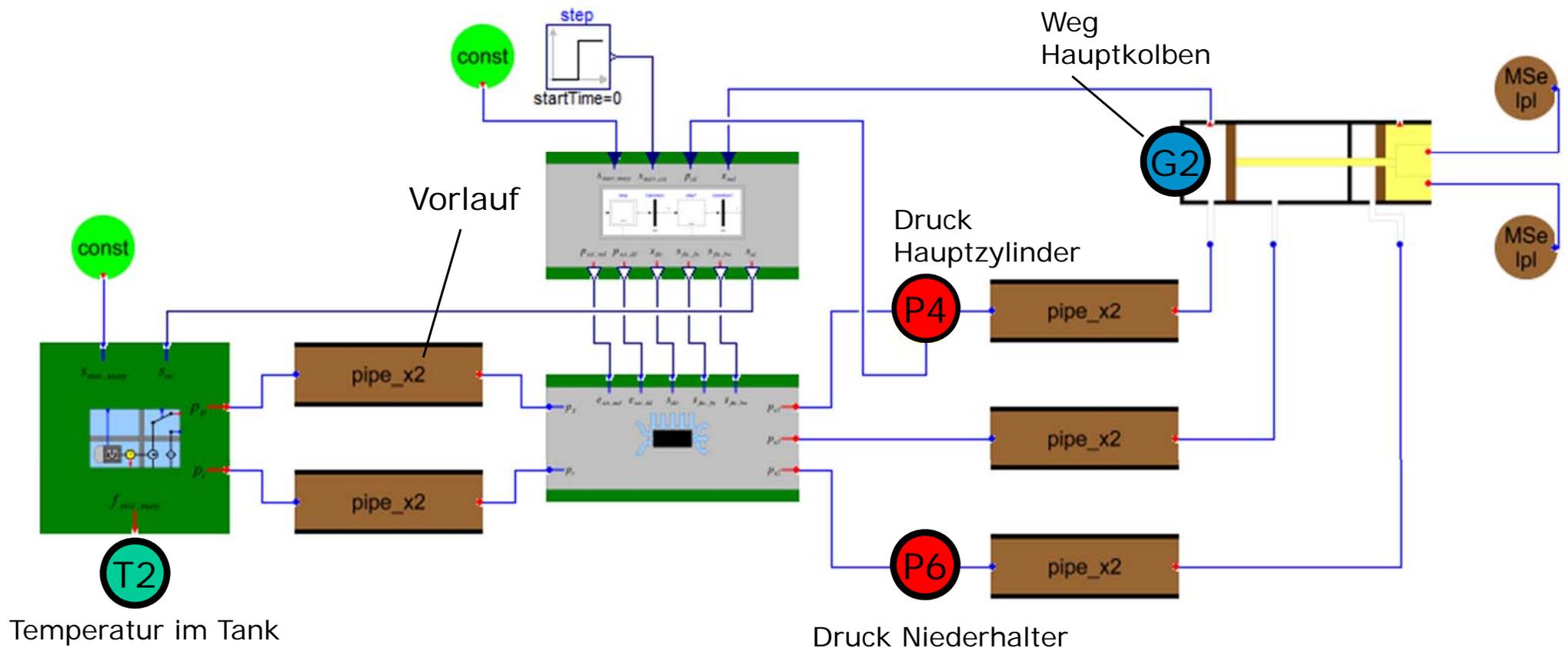
- Berücksichtigung spezieller Effekte, z.B. Nichtlinearitäten
- Druck- und temperaturabhängige Bestimmung von Fluideigenschaften



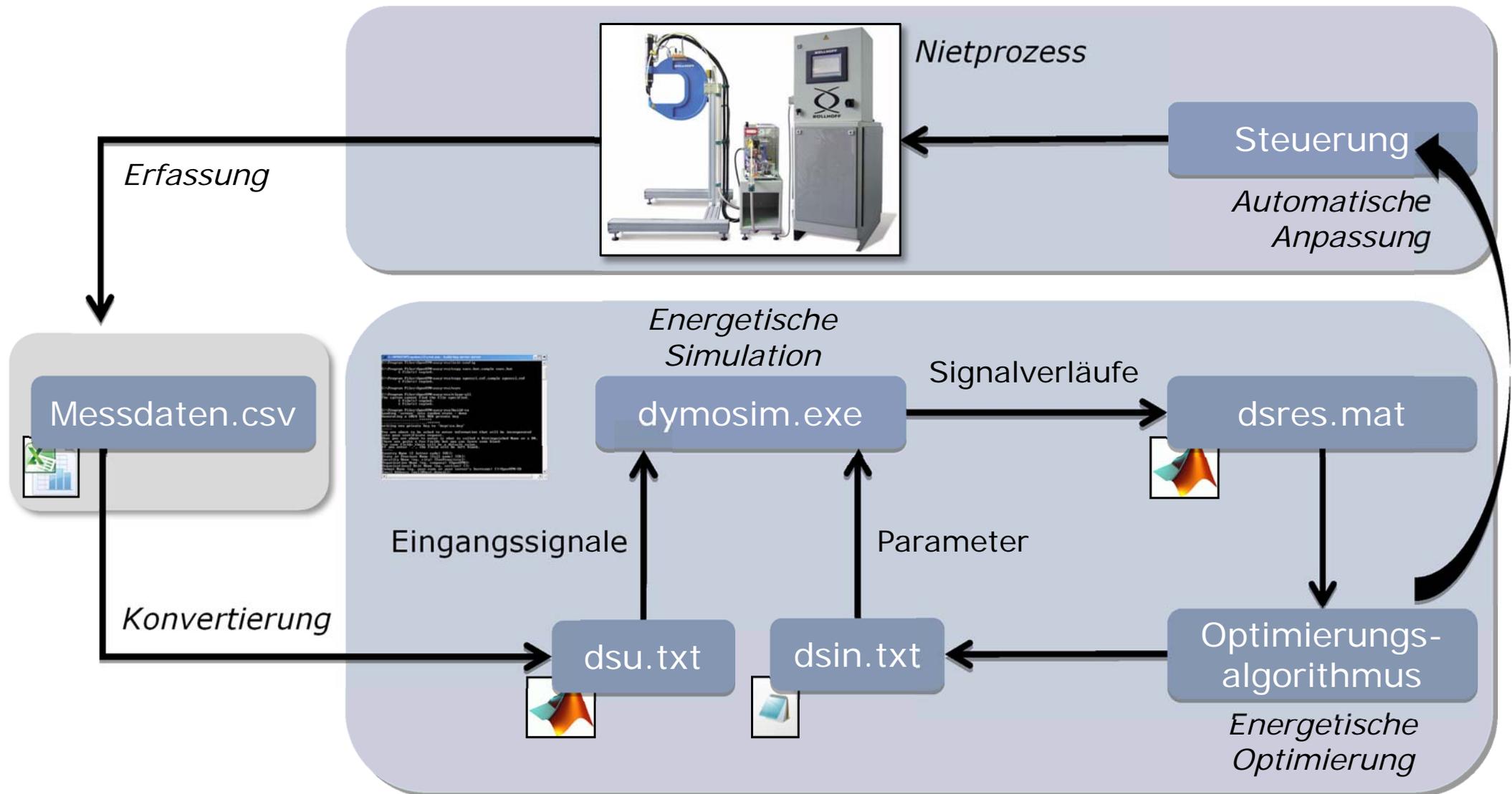
Sensorik des Seriensystems

Seriensensorik

- 1 Wegsensor
- 2 Drucksensoren
- 1 Temperatursensor

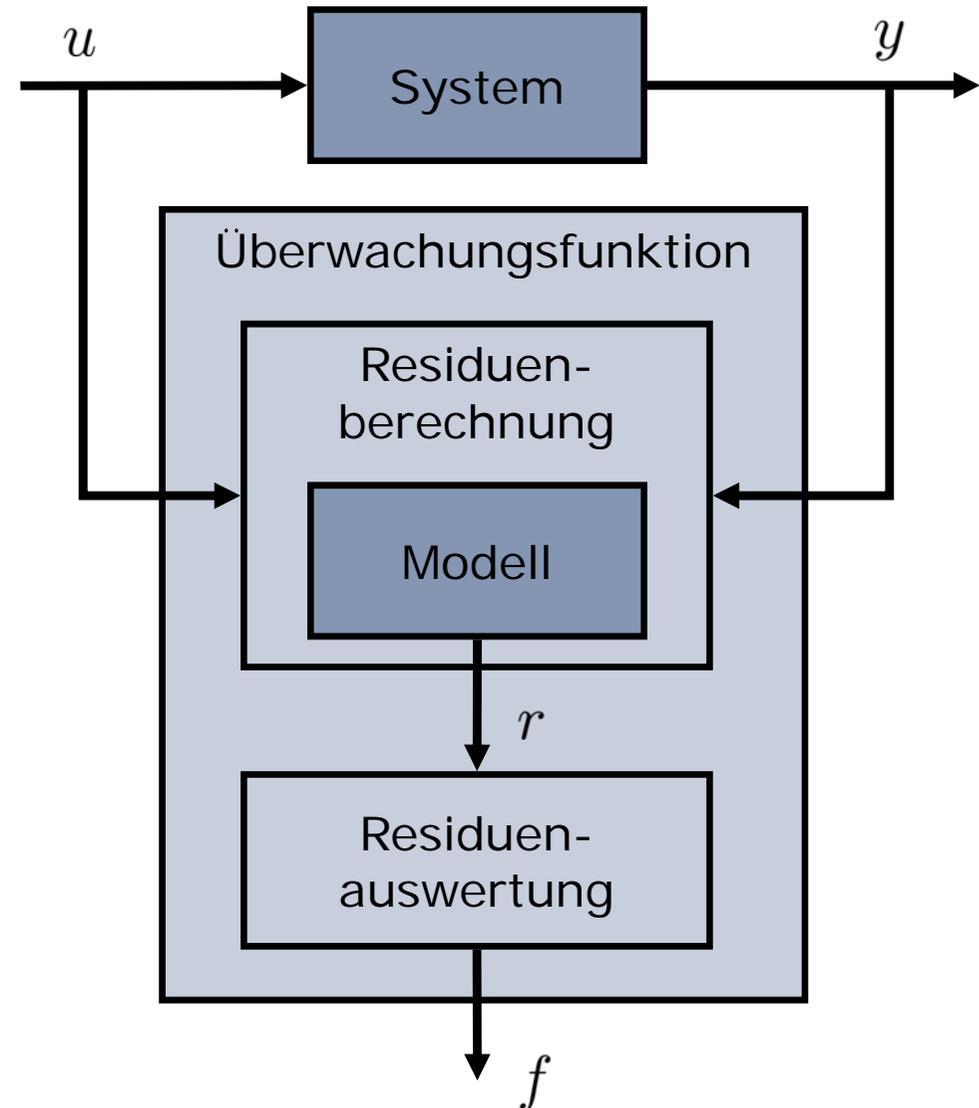


Ablauf der modellbasierten energetischen Optimierung



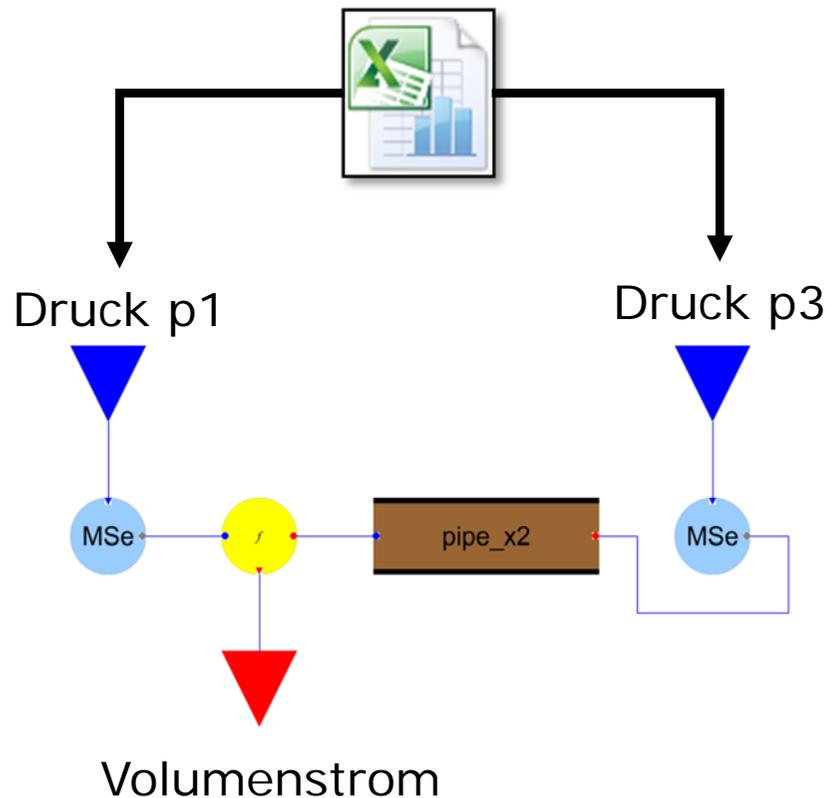
Aufgaben und Schema der modellbasierter Überwachungsfunktionen

- i. **Fehlerdetektion**
Ist ein Fehler aufgetreten?
- ii. **Fehlerlokalisierung**
Wo ist der Fehler aufgetreten?
→ z.B. Fehler in einem Rohr
- iii. **Fehleridentifikation**
Welche Fehlerart liegt vor und wie groß ist der Fehler?
→ z.B. Rohr zu 50% verstopft

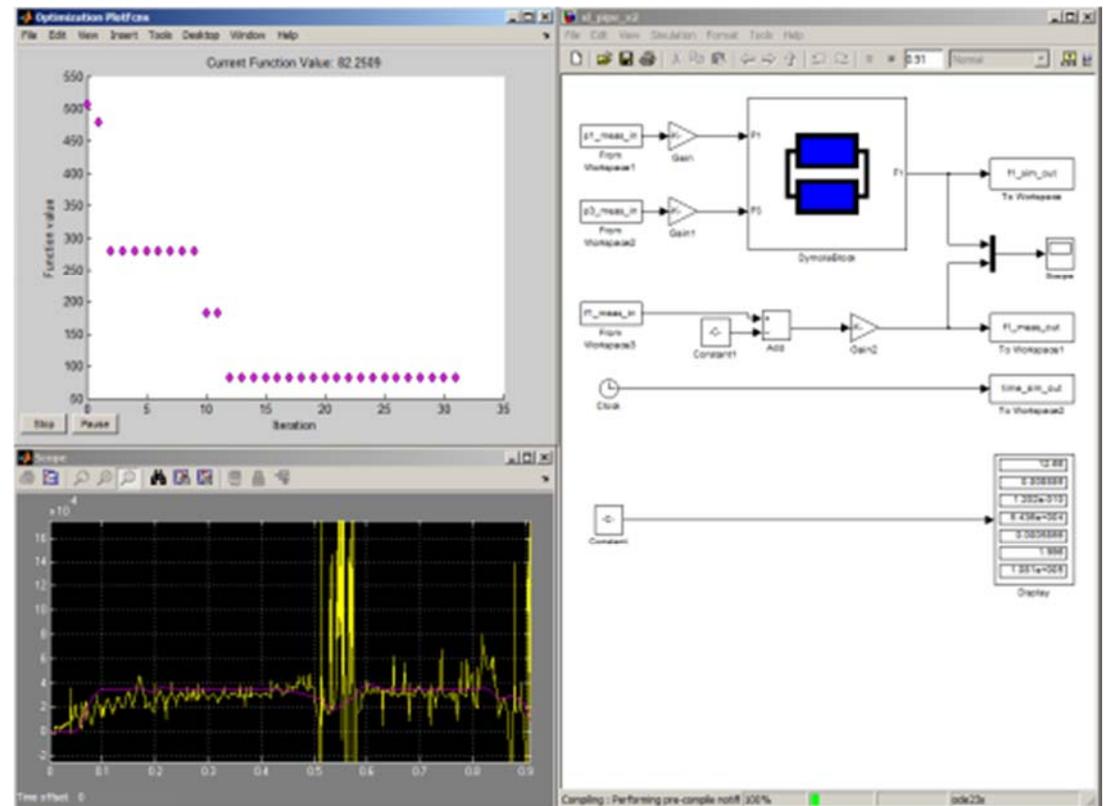


Parameteridentifikation

Ablauf der Parameteridentifikation (Beispiel Schlauch)

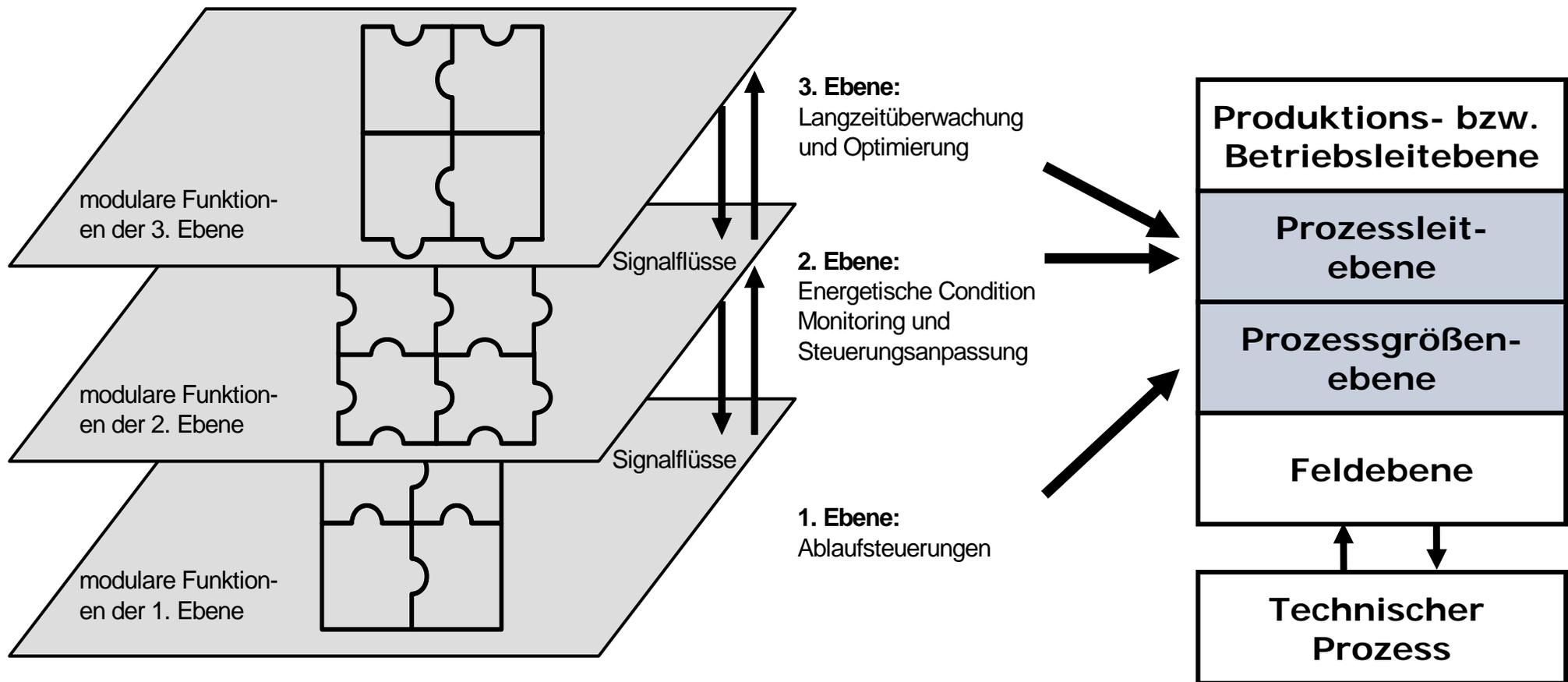


- Anbindung: Dymola – Matlab/Simulink
- Parameterschätzung: Optimierung des Zielfunktional in Matlab



Modulare Architektur der Steuerungs- und Überwachungsfunktionen

Steuerungsarchitektur als Drei-Ebenen-Modell:



Quelle: Projektantrag ESEMO

Parameteridentifikation

Ergebnisse der Parameteridentifikation (Beispiel Schlauch)

