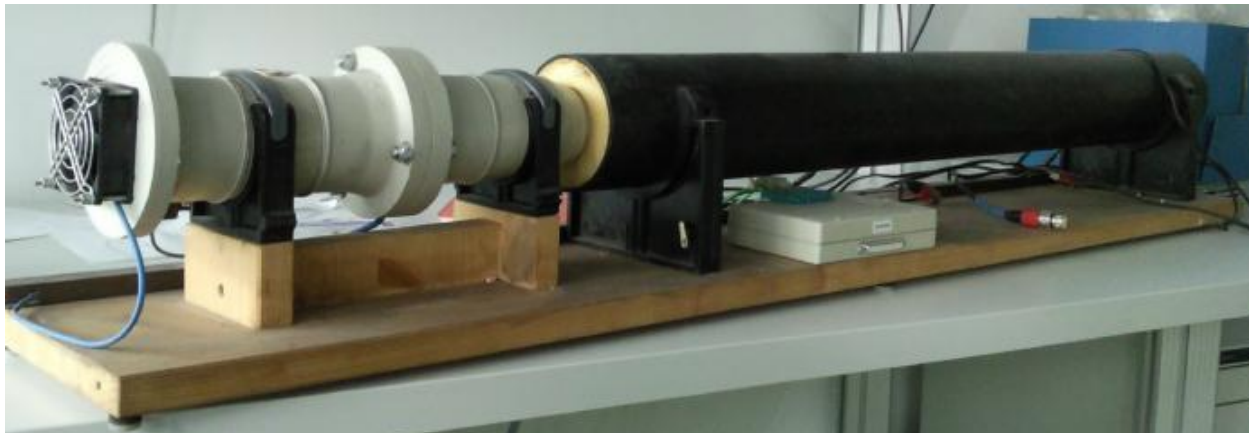


Bachelorarbeit:
Adaptive Regelung mit dem Labormodell Heizrohr





1. Aufbau

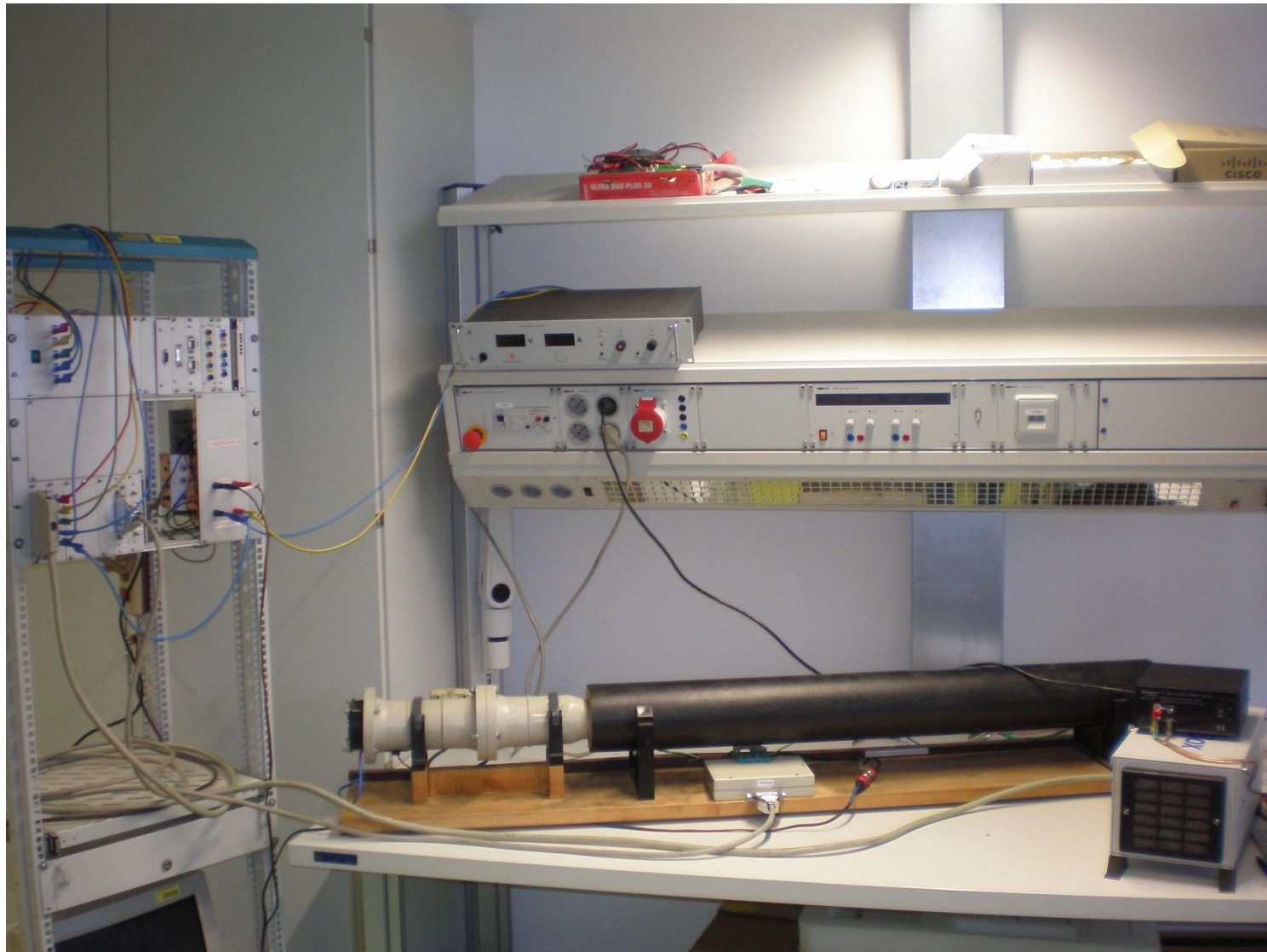
- Bestandsaufnahme beim bestehenden System
- Ansteuerung der Heizwendel über dSpace
- Messdatenaufnahme mit dSpace

2. Modellbildung

- Auswahl einer geeigneten Anregung für das System, Planen der Experimente
- Testen mehrerer, in Matlab implementierter Identifikationsverfahren

3. Regelung

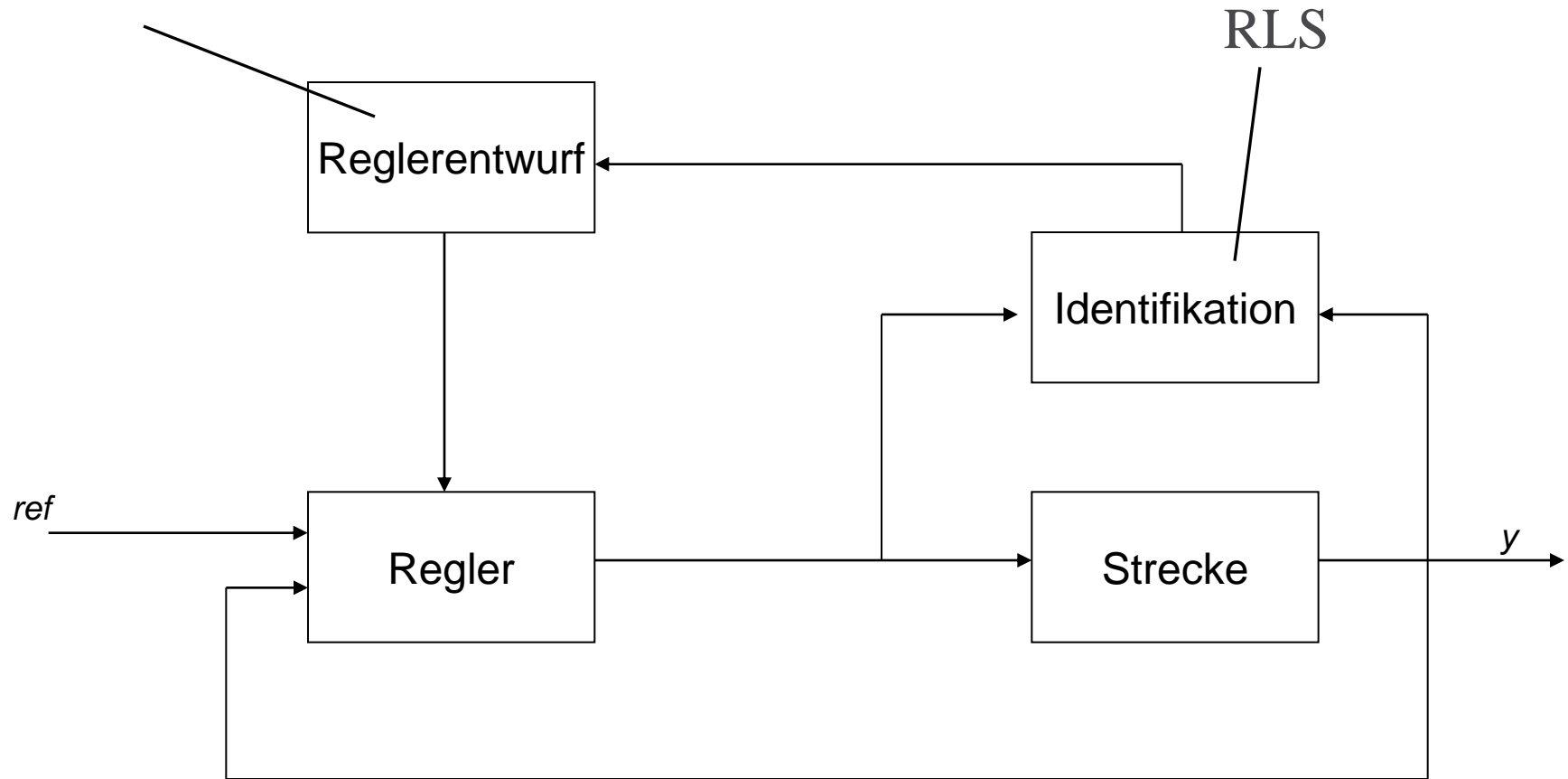
- Einarbeitung in adaptive Regelungsmethoden
- Aufbau der Regelung in Simulation
- Anwendung am realen Labormodell



Grobstruktur der Regelung



STR - MDPP





- Ist als Embedded Matlab Function implementiert
 - Initialisierung beim ersten Aufruf
 - Berechnung der neuen Werte laut Formeln
 - Speicherung der aktuellen Eingangswerte in den Regressionsvektor

- Formeln:

$$\hat{\theta}_K = \hat{\theta}_{K-1} + K_K (y_K - \varphi_K^T \hat{\theta}_{K-1})$$

$$K_K = P_{K-1} \varphi_K (1 + \varphi_K^T P_{K-1} \varphi_K)^{-1}$$

$$P_K = \frac{1}{\lambda} P_{K-1} \left(I - \varphi_K (1 + \varphi_K^T P_{K-1} \varphi_K)^{-1} \varphi_K^T P_{K-1} \right)$$

Rekursiver Least-Squares Algorithmus (2)



- Mehrere Varianten:
 - ohne Vergessen
 - mit exponentiellem Vergessen

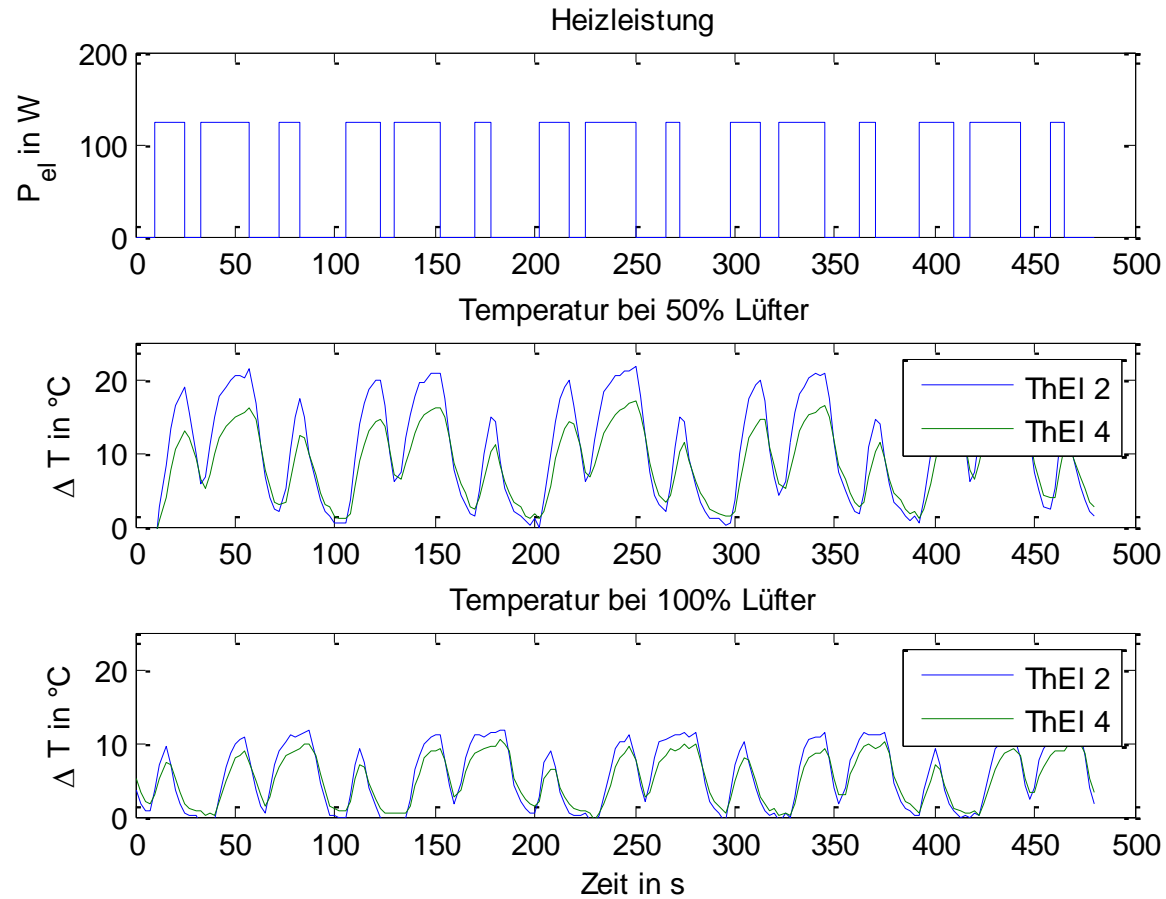
- Methoden bei unzureichender Anregung:
 - Normalized Constant Trace
 - Stabilized Linear Forgetting
 - Conditional Update

Erste Identifikation



➤ Eingang: Heizleistung

➤ Ausgang:
Temperaturdifferenz



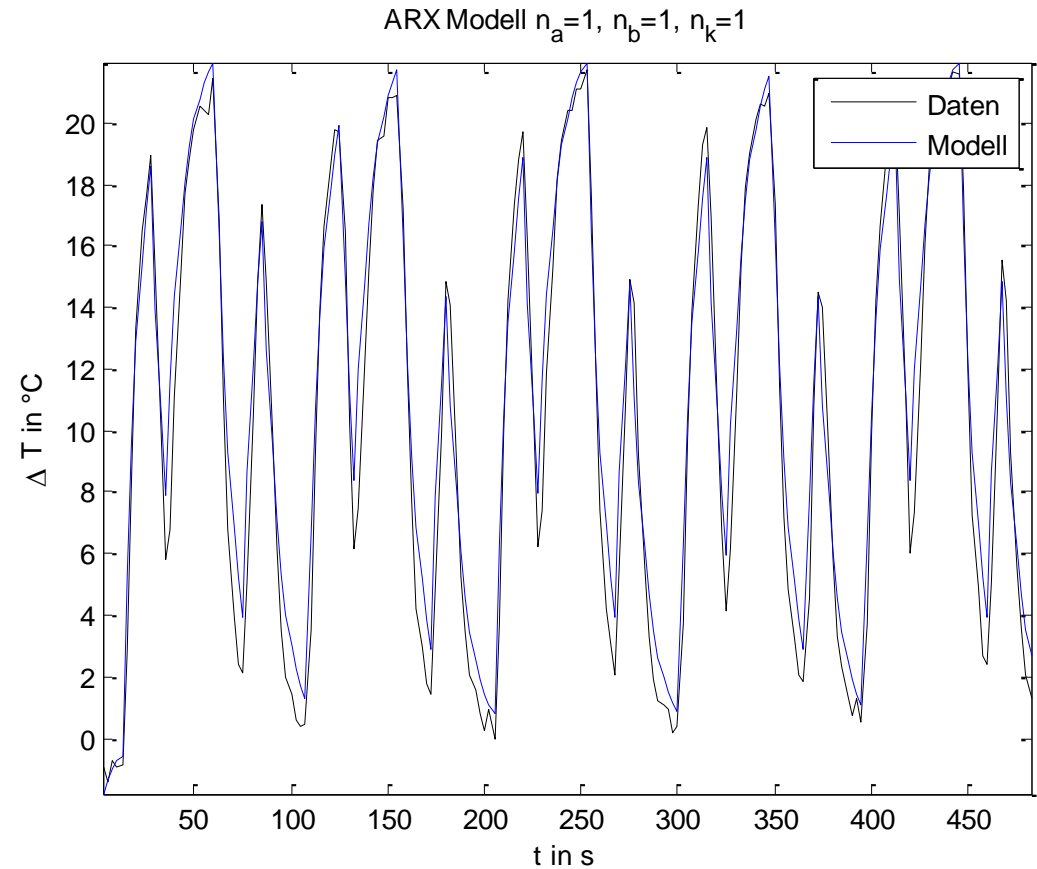
Erste Identifikation (2)



➤ Identifikationsergebnis:

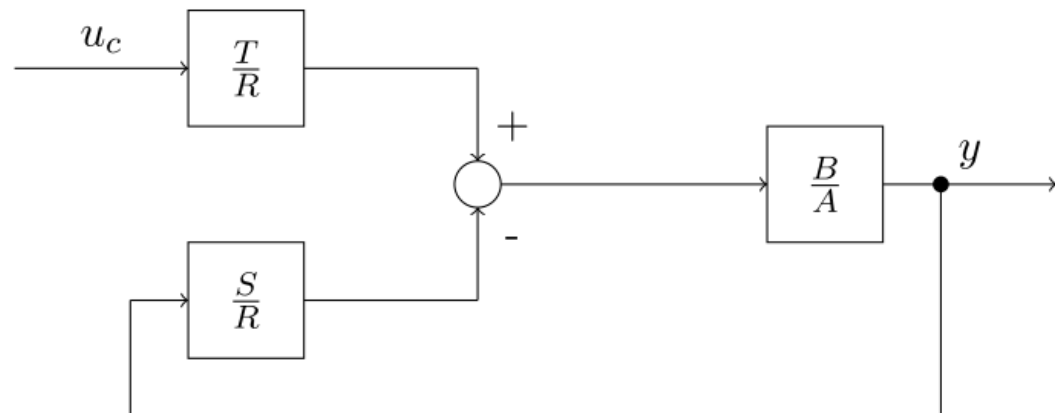
$$y_k = \frac{0,4551 z^{-1}}{1 - 0,7503 z^{-1}} u_k$$

➤ Fit: 77%



Reglerübertragungsfunktionen

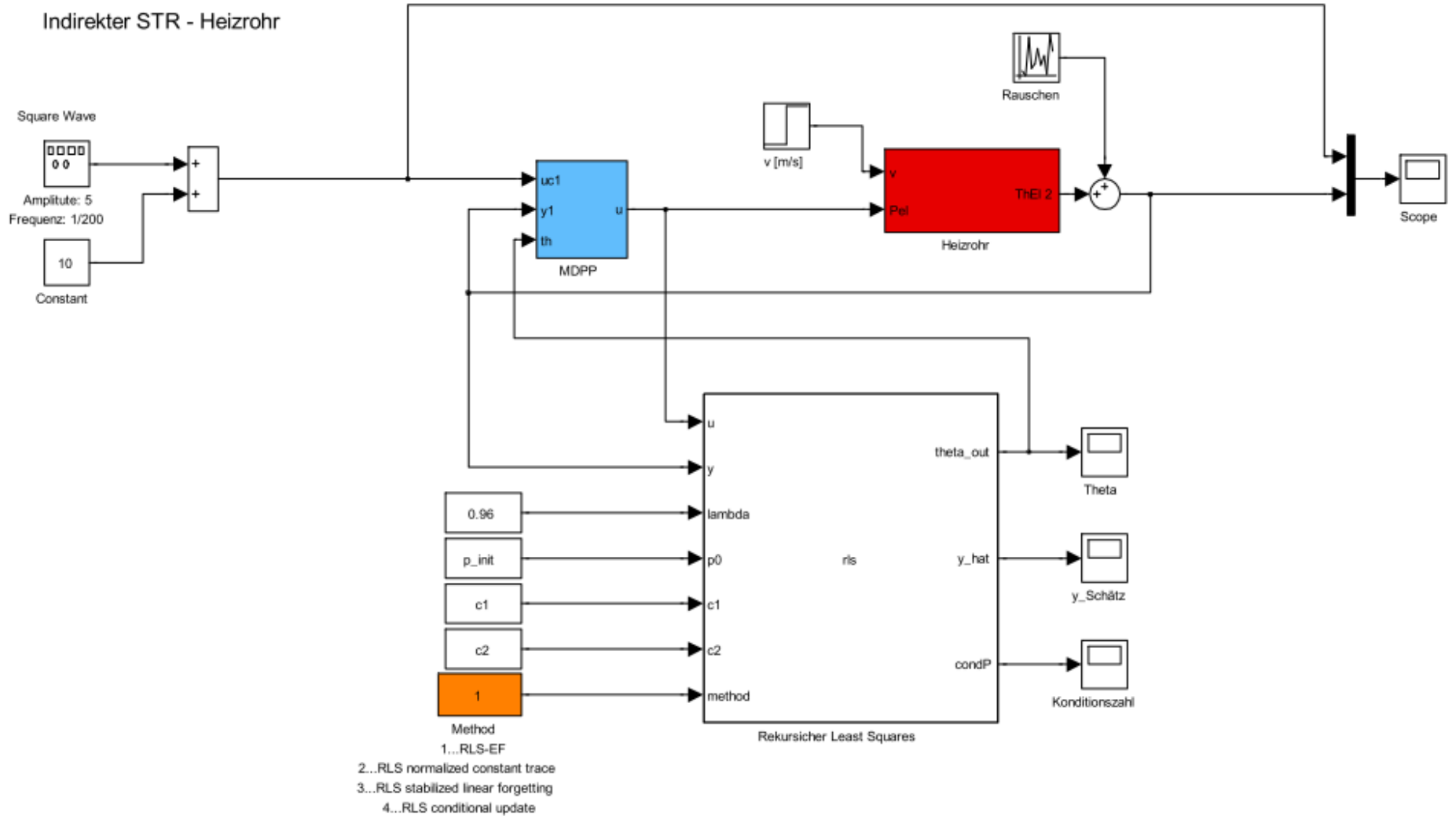
- Führungsübertragungsfunktion: $T = \frac{B T}{A R + B S}$
- Modellstrecke: $\frac{B_m}{A_m}$
 - PT2 Verhalten mit 10s Zeitkonstante und Dämpfung von 0,7
- Berechnung durch Koeffizientenvergleich und algebraische Umformung



Simulation



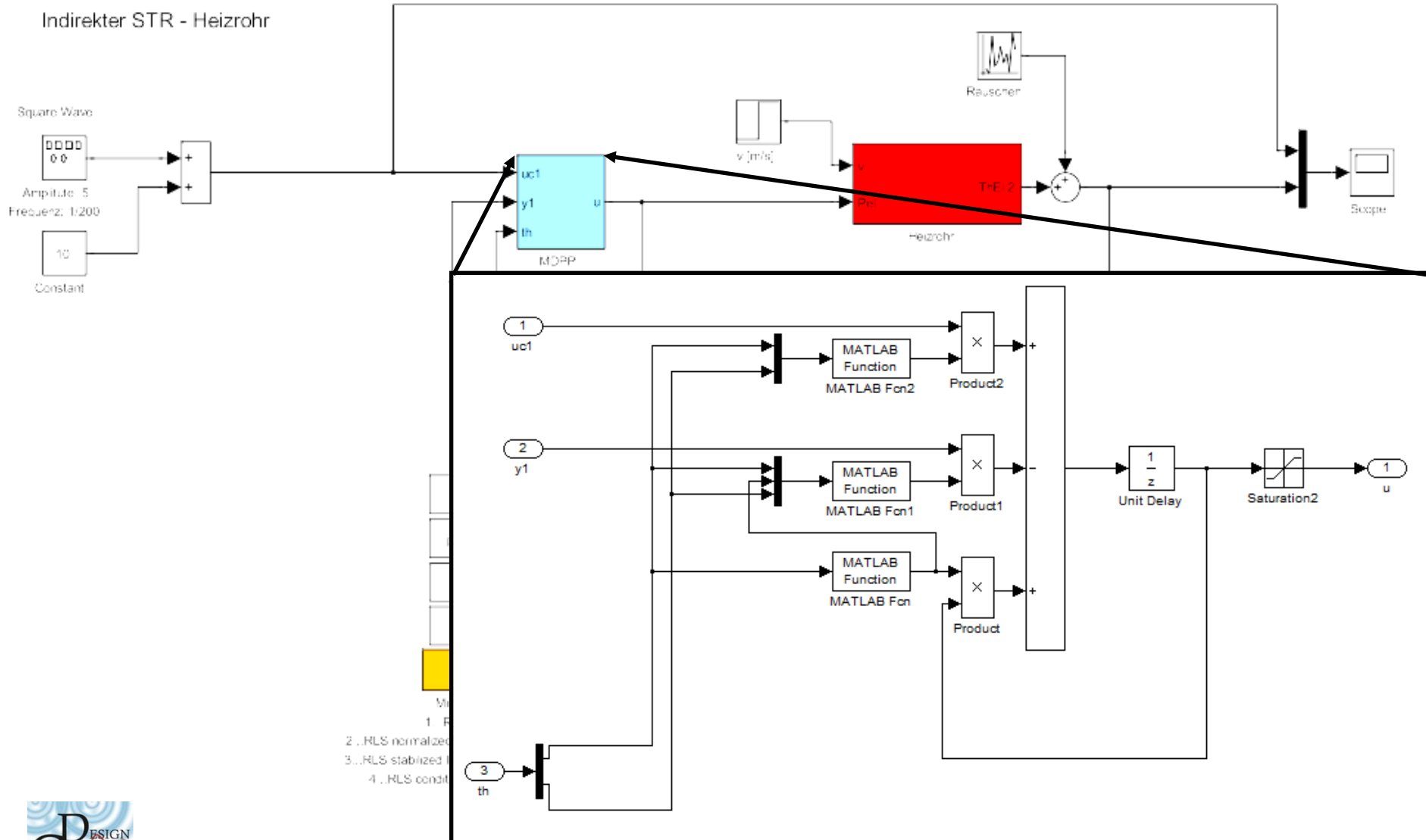
Simulationsaufbau Indirekter STR - Heizrohr



Simulation



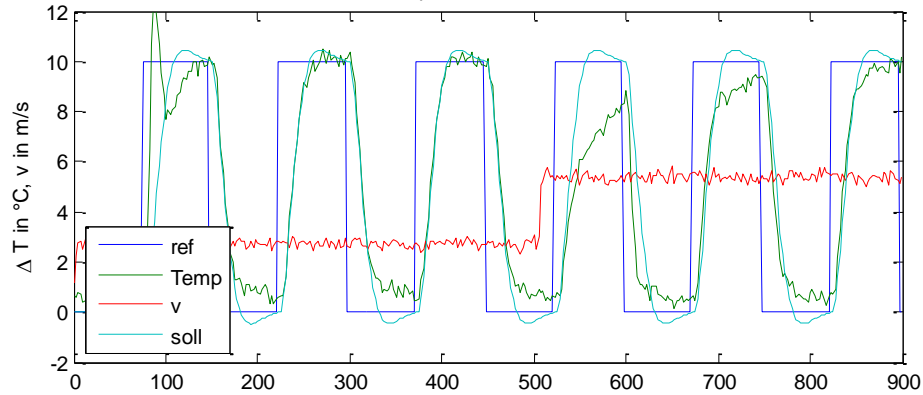
Simulationsaufbau Indirekter STR - Heizrohr



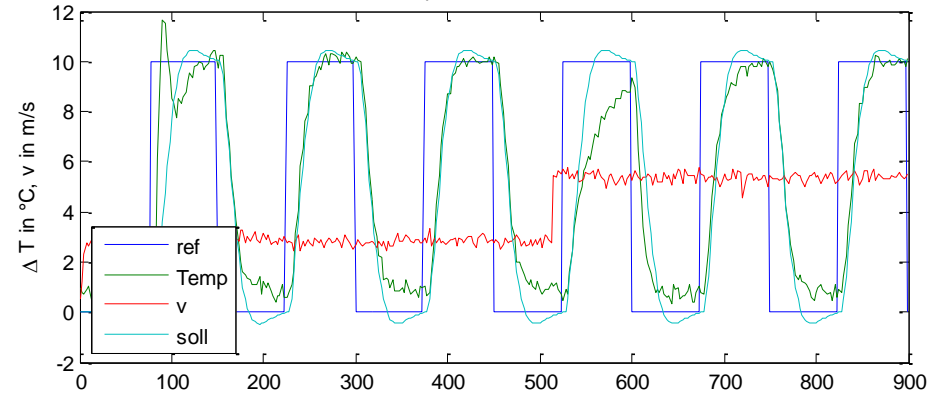
Ergebnisse – Ohne Offset-Temperatur



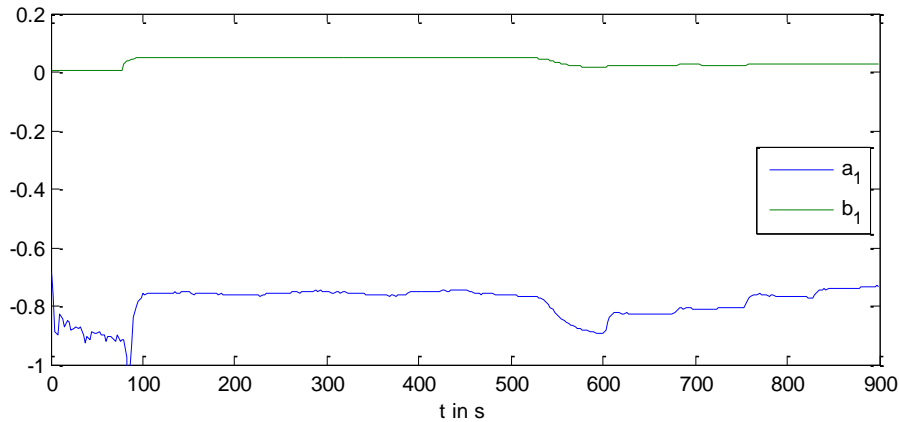
Temperaturen: $\lambda = 0,98$



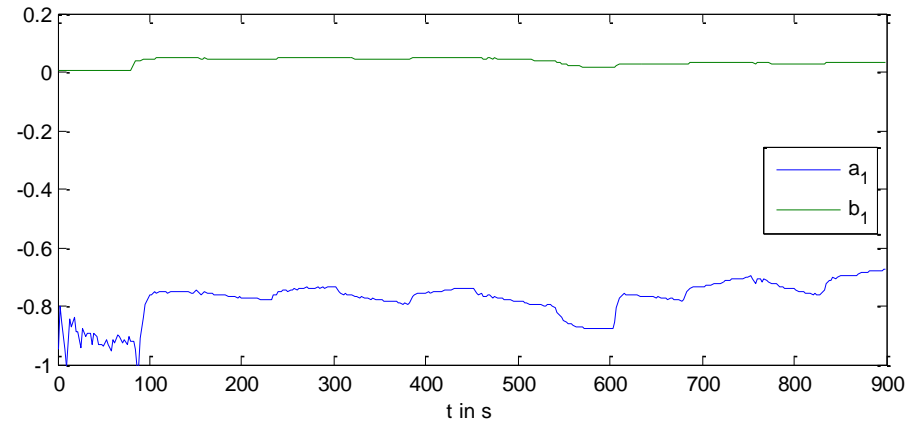
Temperaturen: $\lambda = 0,96$



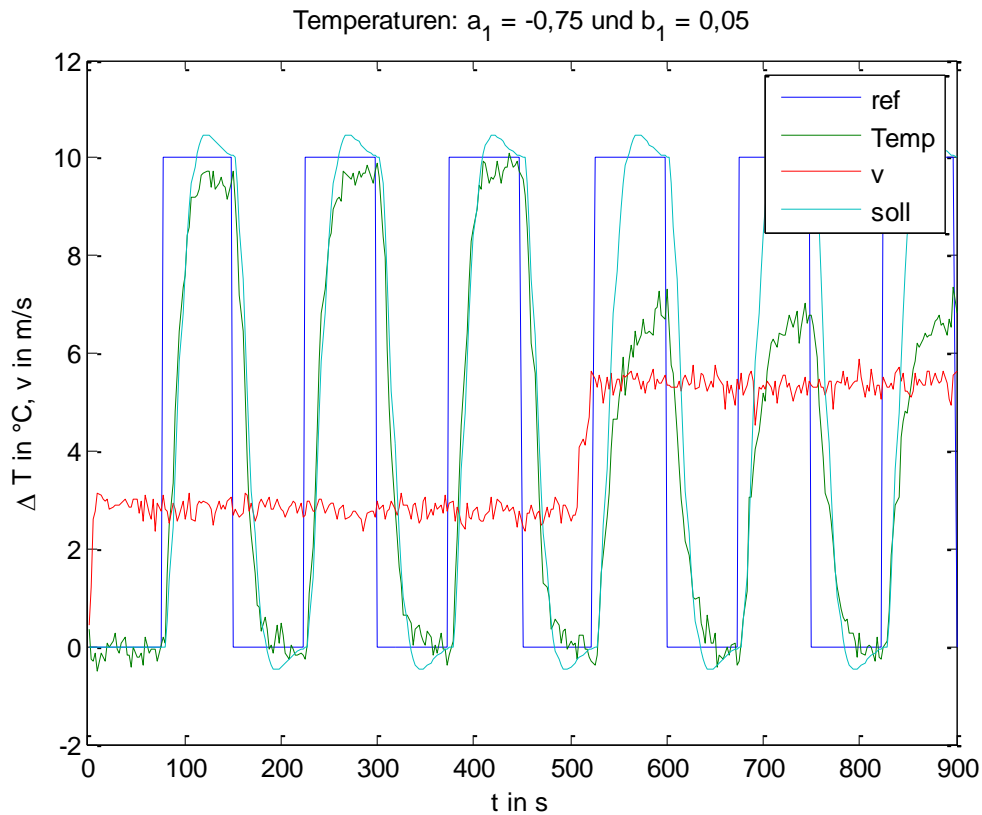
Parameterwerte



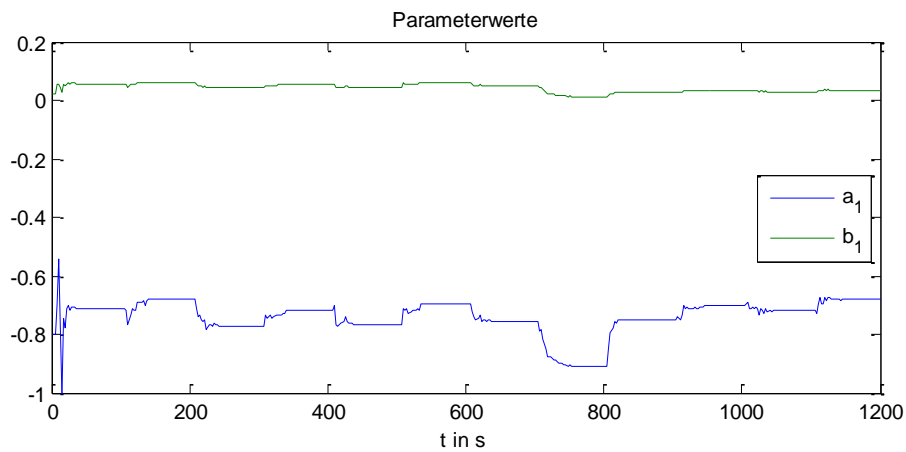
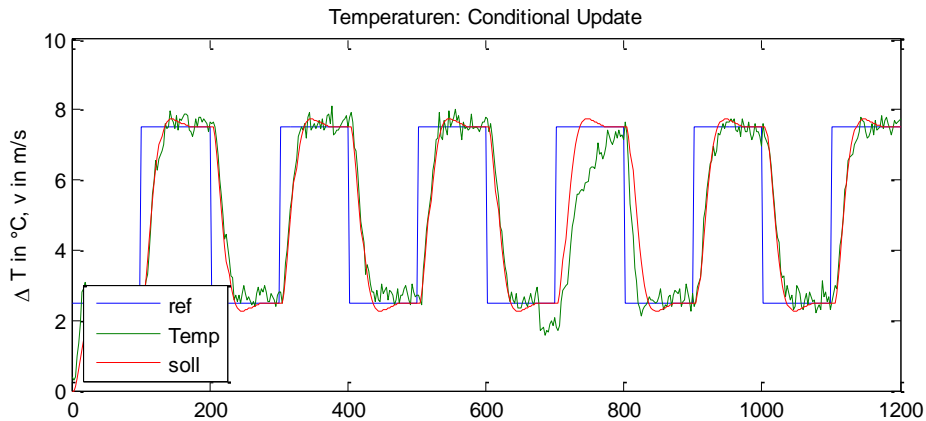
Parameterwerte



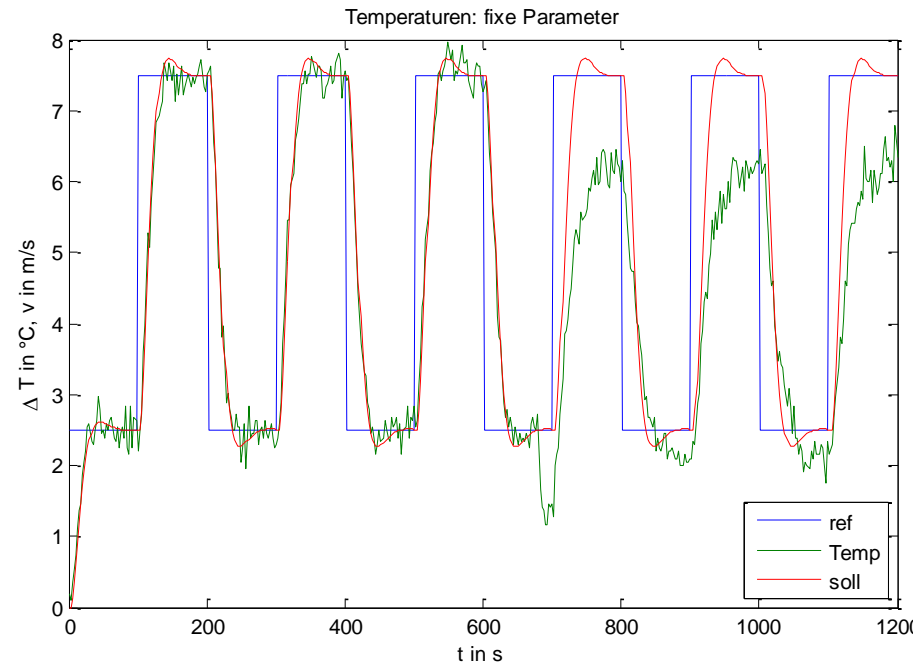
➤ Feste Streckenparameter



Ergebnisse – Mit Offset-Temperatur



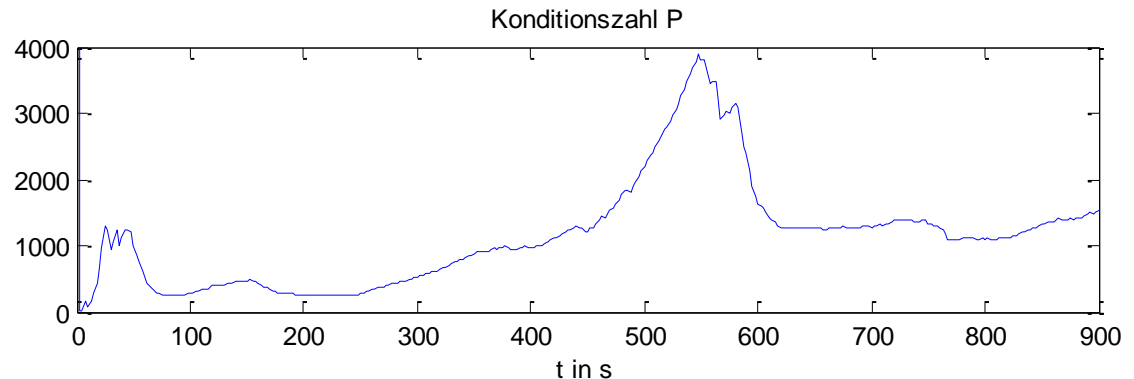
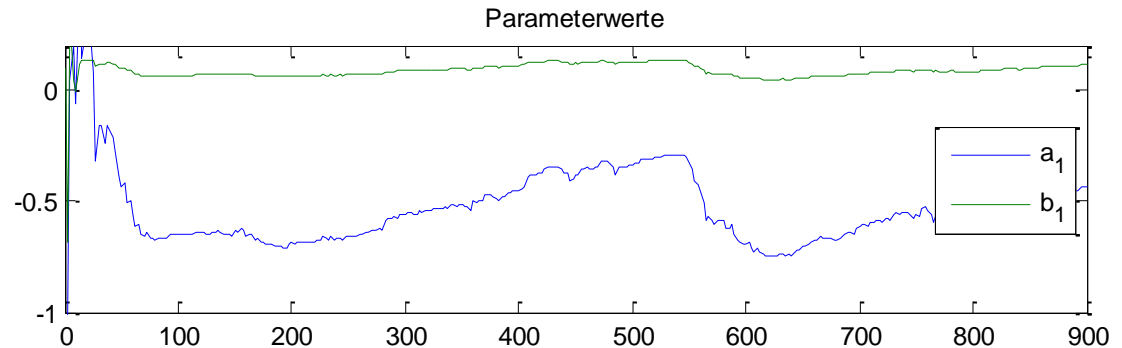
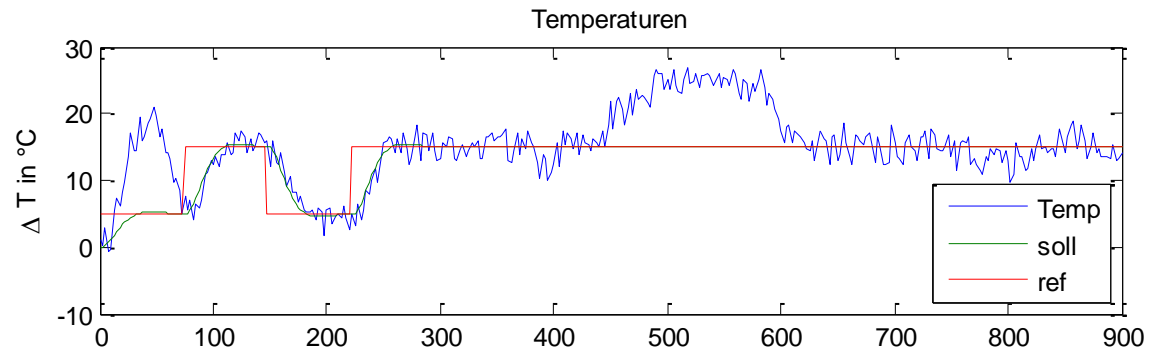
➤ Feste Streckenparameter:



Ergebnisse – Exponential Forgetting



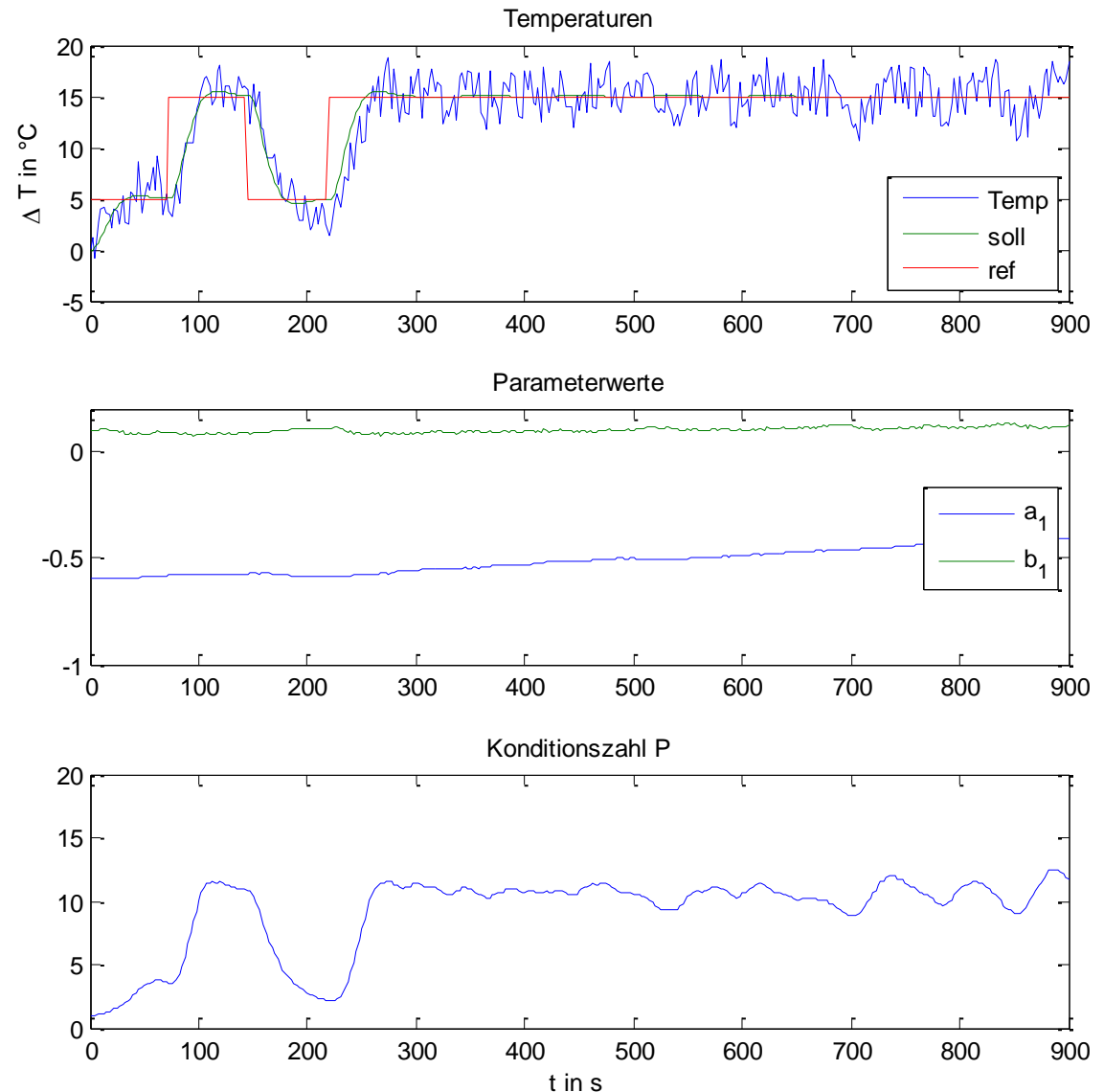
- Konditionszahl der Kovarianzmatrix steigt an
- geschätzte Parameter entfernen sich von den wahren Werten
- Temperatur verlässt Sollverlauf



Ergebnisse – Normalized Constant Trace



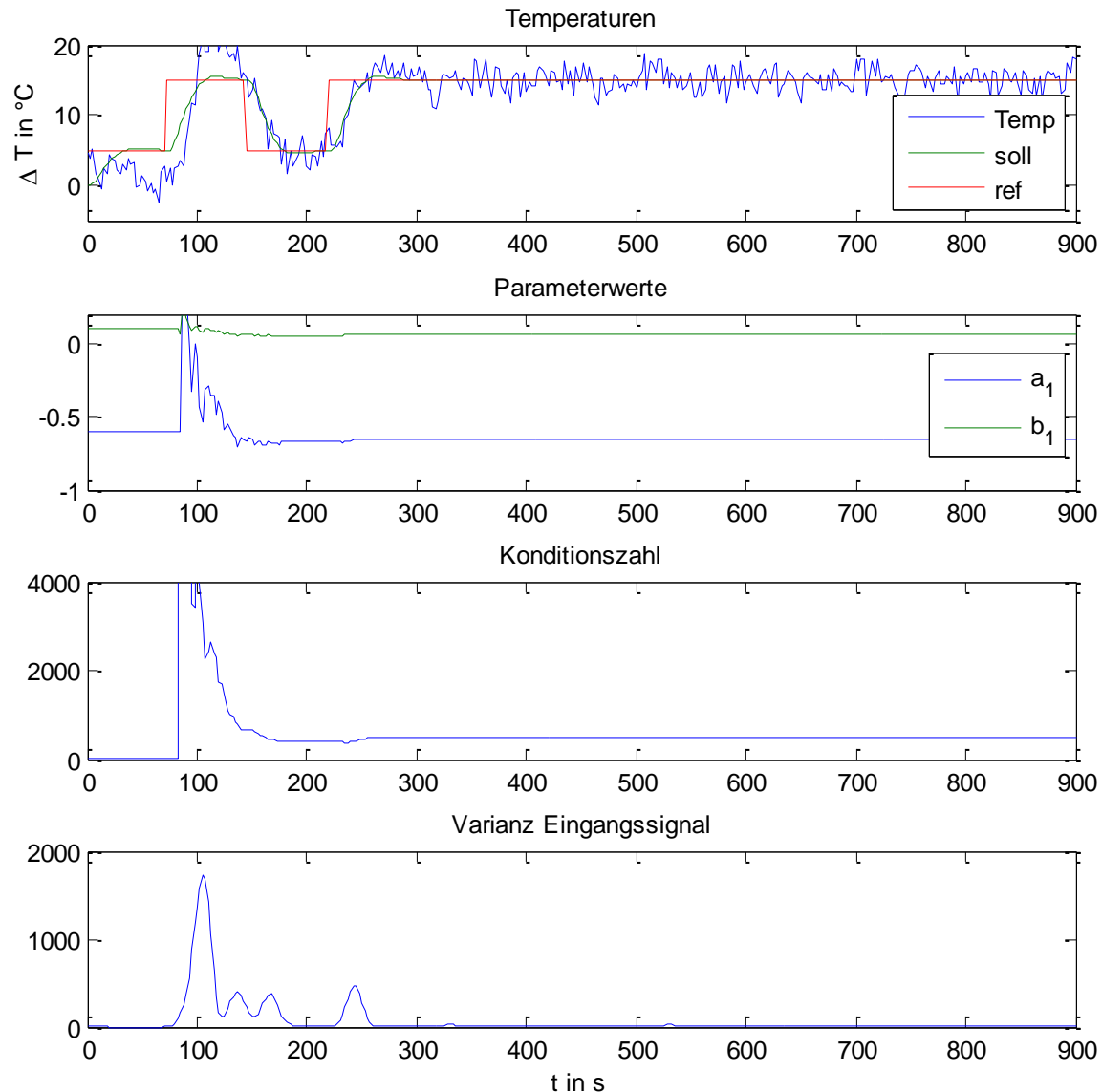
- Konditionszahl bleibt sehr klein
- Schätzwerte für Streckenparameter gleiten nur langsam ab



Ergebnisse – Conditional Update

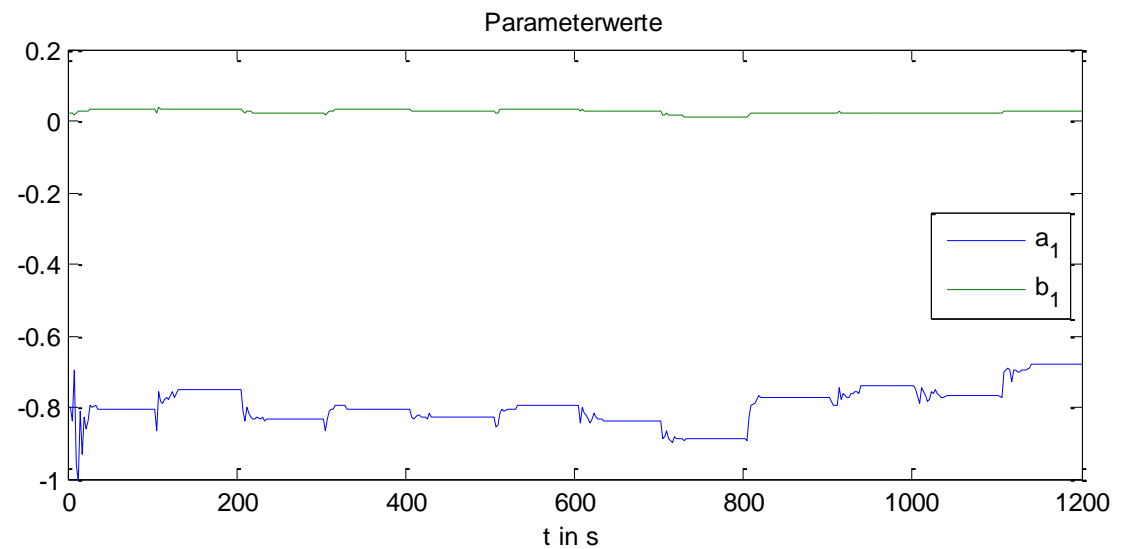
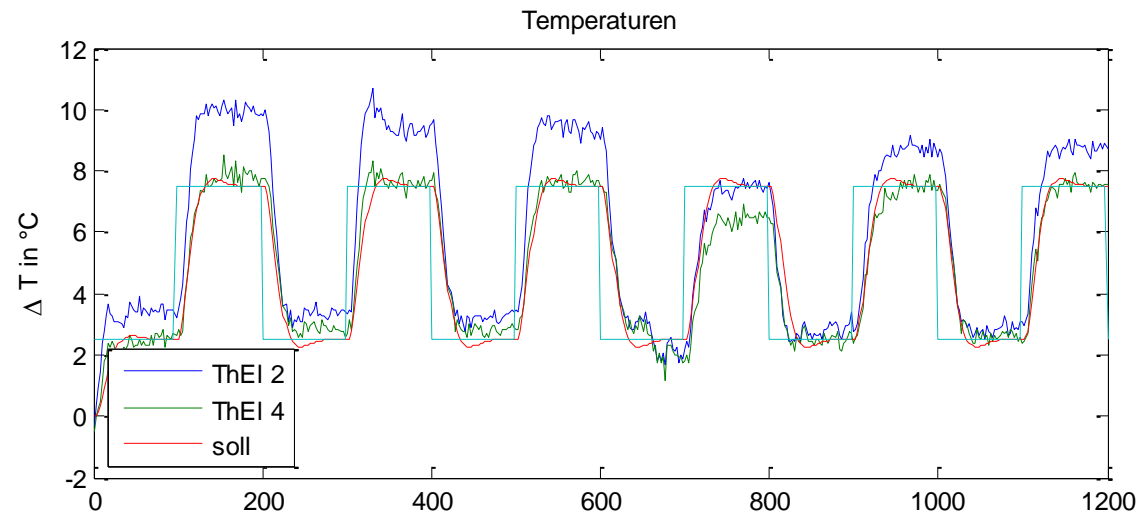


- Ab der konstanten Anregung bleiben die Parameter bis zum Versuchende gleich





➤ kaum Einfluss der Totzeit





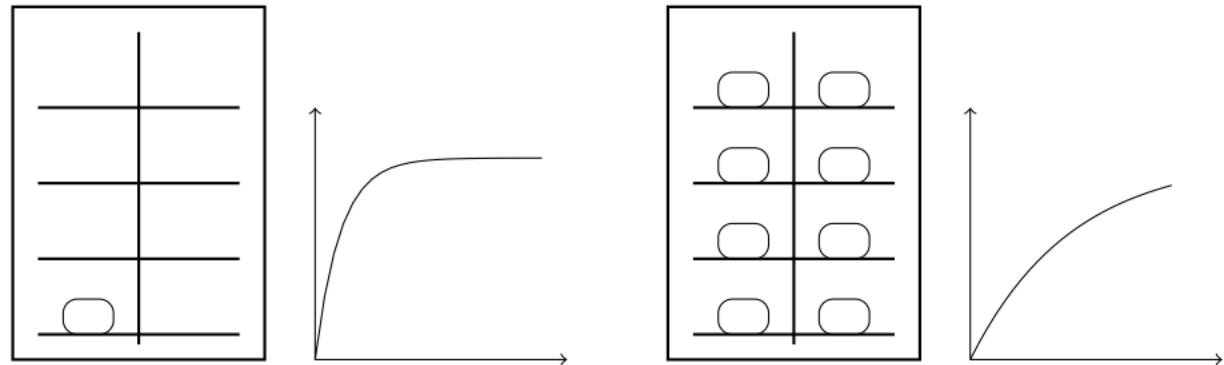
- Gute Vergleichbarkeit von Simulation und realem Aufbau

- Für die gezeigte Anregung zu empfehlen:
 - RLS-EF
 - Abtastzeit 2,5 s

- Empfohlene Ergänzung: Conditional Update



- Brenn- oder Trockenprozess
- Variable Wärmeaufnahme durch
 - Unterschiedliche Befüllung
 - Mitheizen von anderen Komponenten
- Vorgegebener Temperaturverlauf
- Identifikation während des Aufheizens
- Anpassung des Heizverhaltens

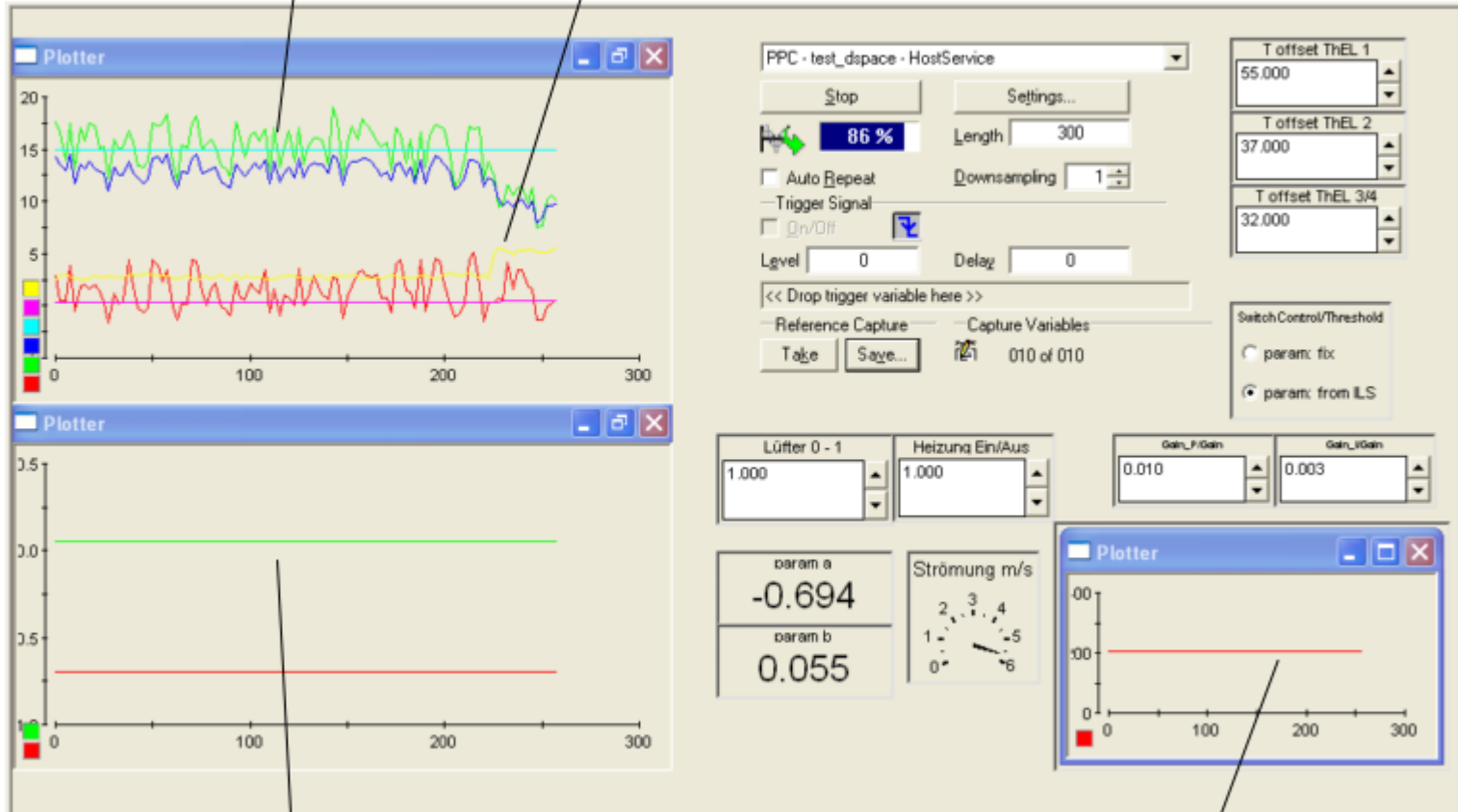


ControlDesk Benutzeroberfläche



Temperaturen von Thermoelement 2 und 4

Strömungsgeschwindigkeit



Streckenparameter

Konditionszahl



Danke für Ihre Aufmerksamkeit !