

The logo consists of the letters 'TNF' in a white, bold, sans-serif font, centered within a solid blue square.

Technisch-Naturwissenschaftliche
Fakultät



Bachelorarbeit:
Closed-Loop Regelung der
Luftfeuchte für die Ansaugluft
eines Verbrennungsmotors
Abschlusspräsentation

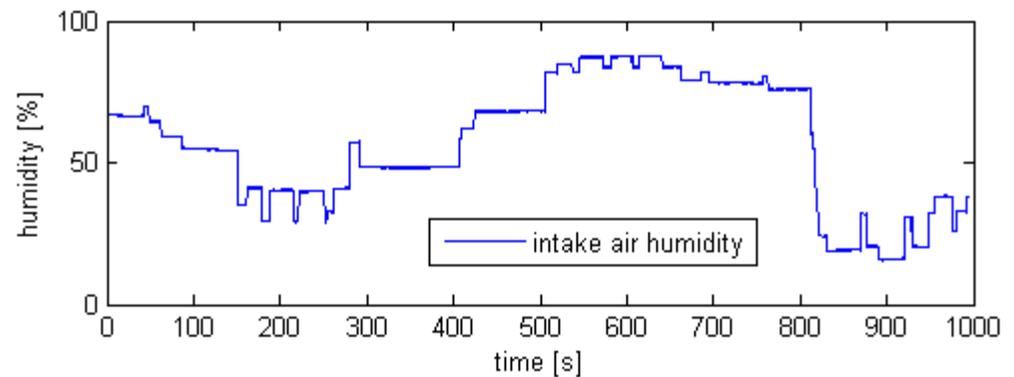
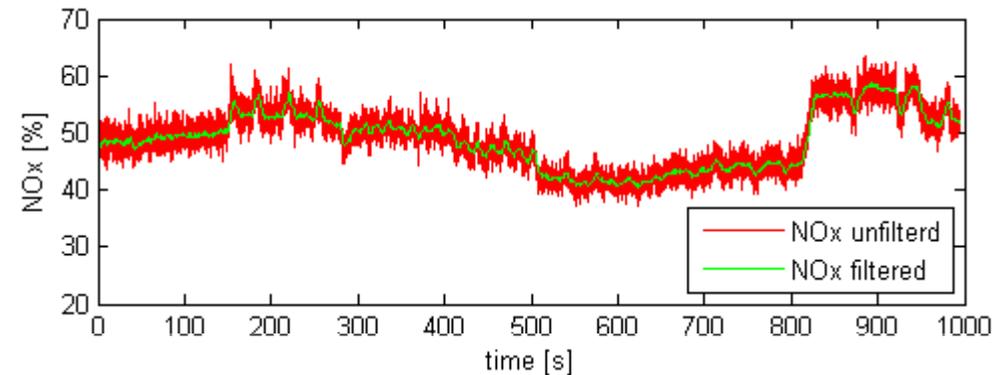
Martin Großbichler
Betreuung: Thomas Schwarzgruber

Übersicht

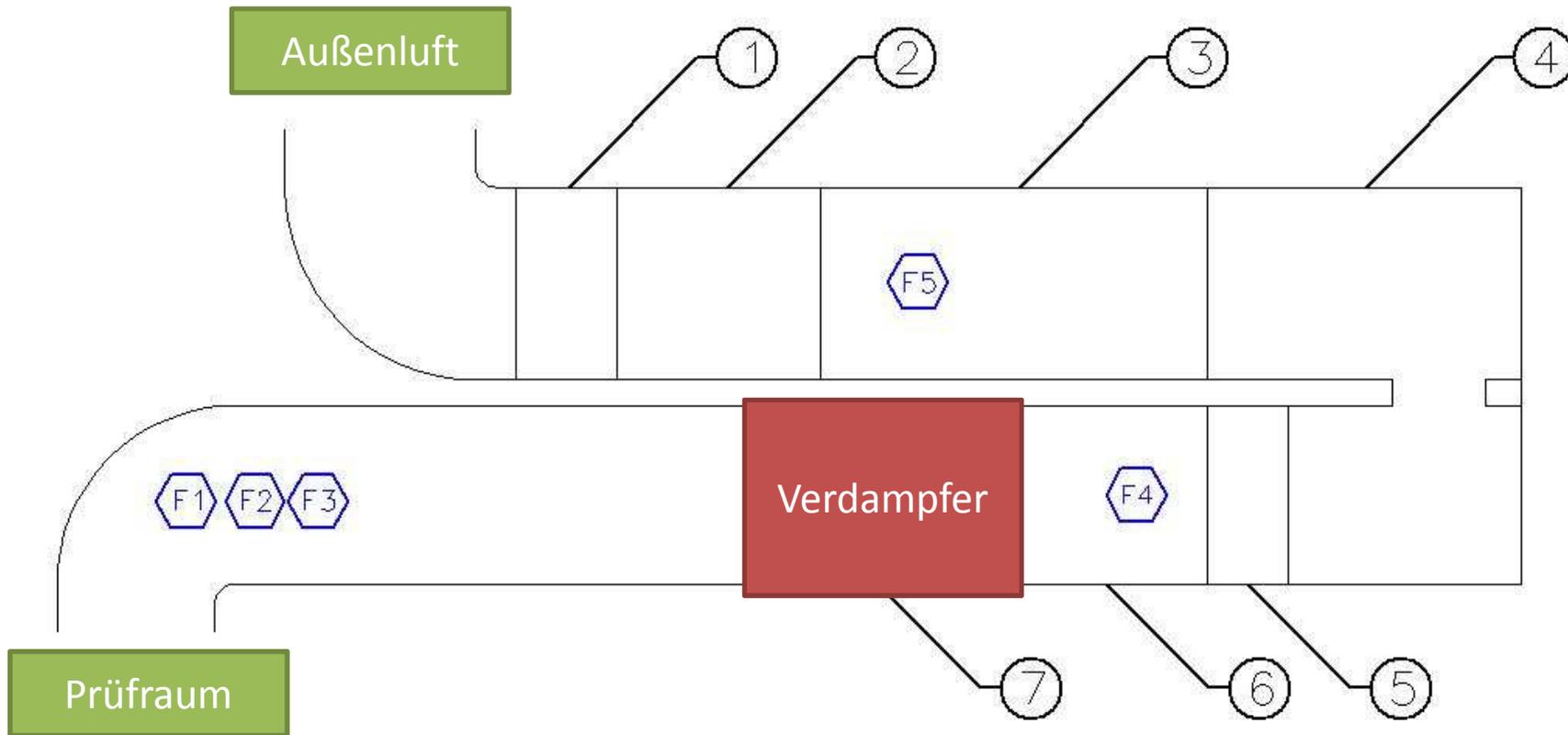
- Motivation
- Bestehendes System zu Beginn
- Hardwareaufbau
- Füllstandsmessung
- Modell-Identifikation
- Ablaufsteuerung und Regler
- Ergebnisse

Motivation

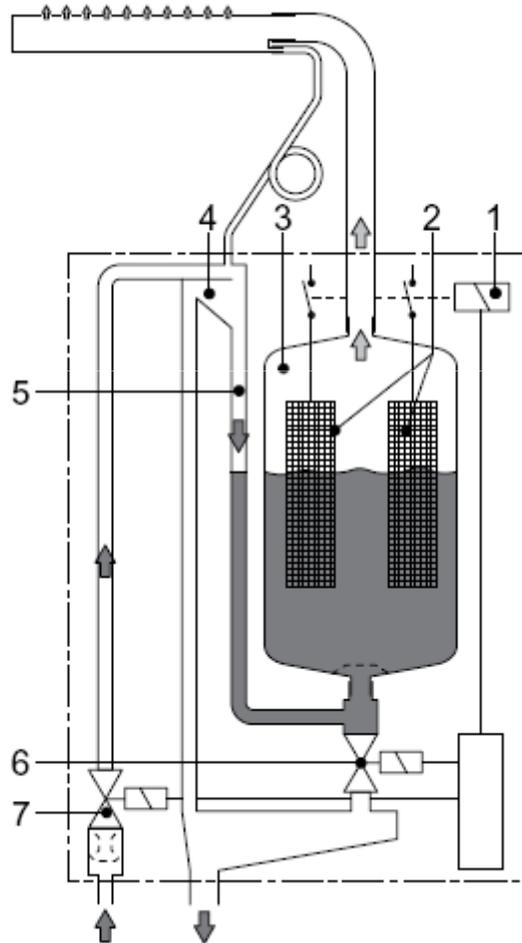
- Notwendigkeit eines vollkonditionierten Motorprüfstandes
- Reproduzierbarkeit
→ Emissionsmessung
- Luftfeuchte → indirekt proportionaler Zusammenhang r.H. - NOx



Strecke



Verdampfer



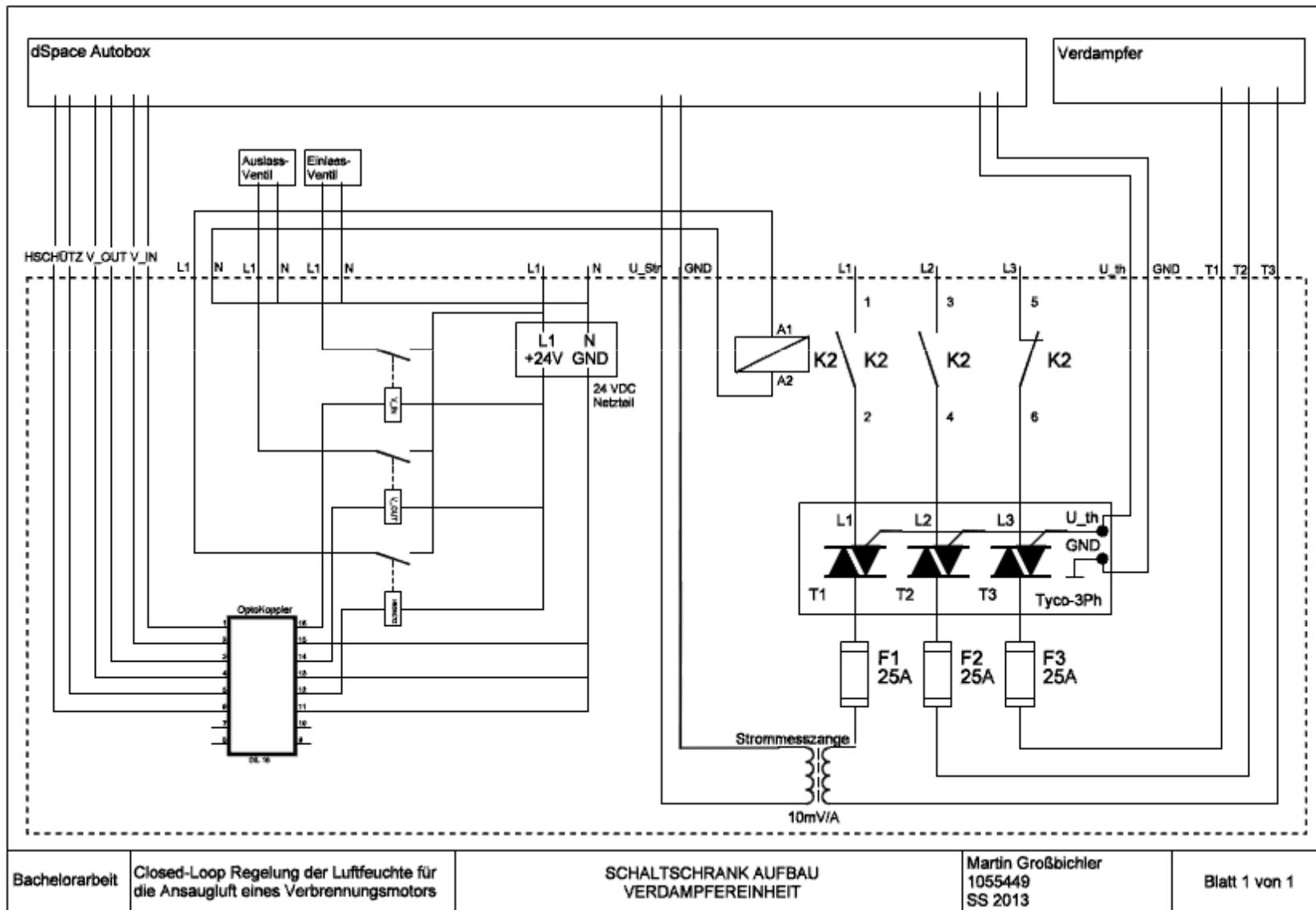
CP 2 Verdampfer, Fa.Condair

Problem:

- Elektroden Verdampfer
- Interne Stromregelung durch verändern des Füllstandes
- Abschlackvorgang
- Sehr träges System mit Störungen

Hardwareaufbau

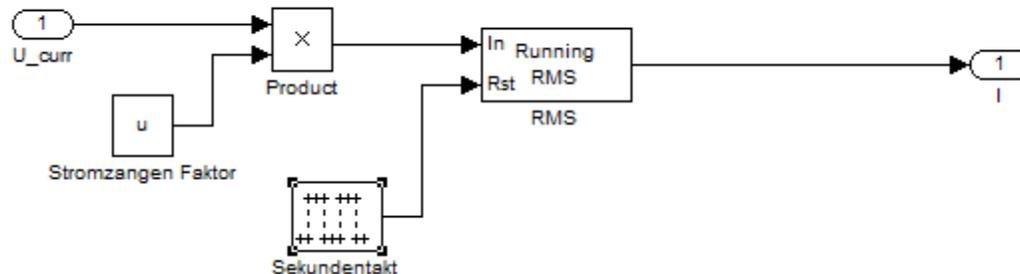
Schaltschrank



Hardwareaufbau

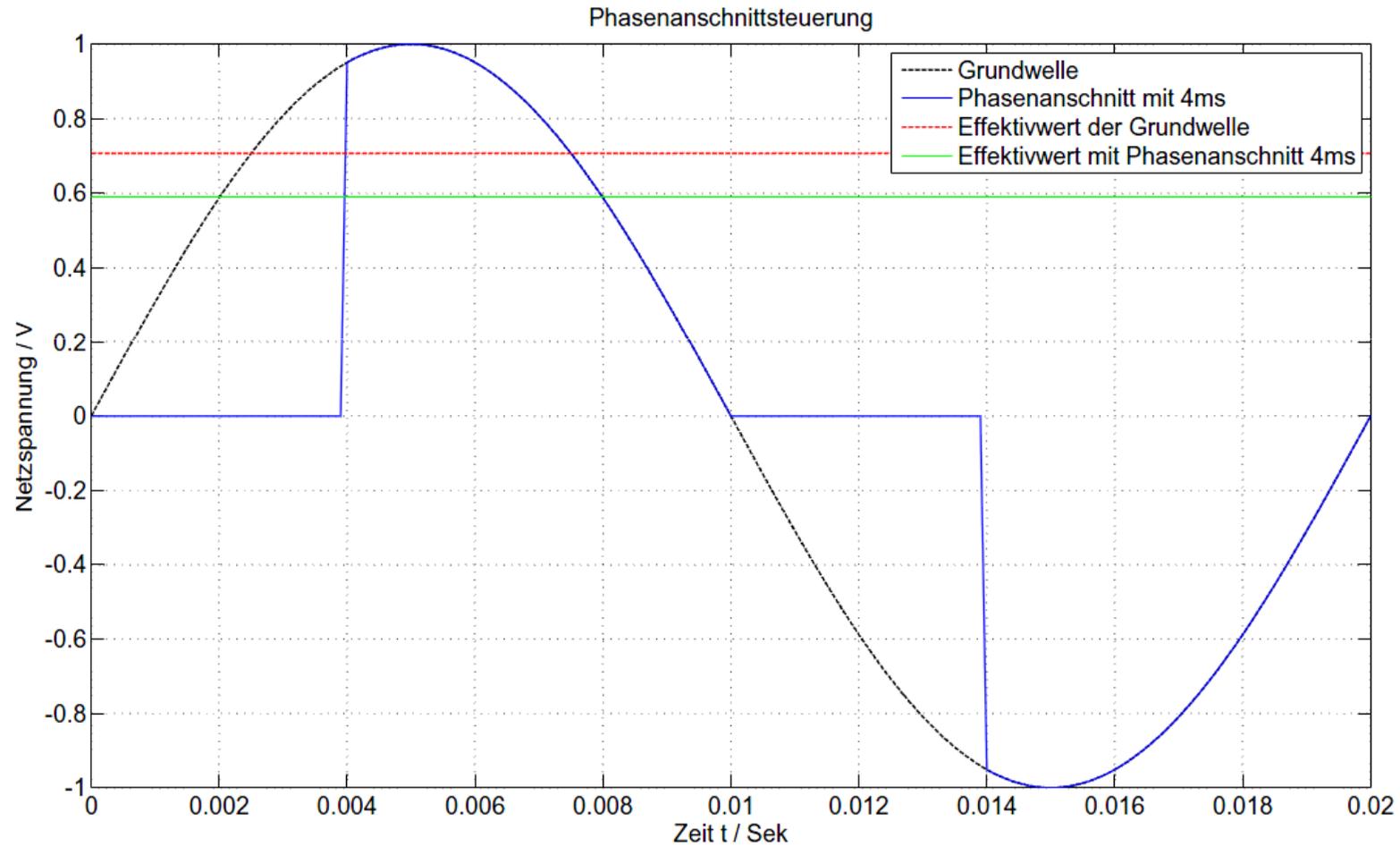
Hauptkomponenten

- Thyristorsteller Tyco-3Ph 25,
 - Max.Strom 25 A
 - Max Leistung 16kW
 - Phasenanschnittsteuerung
- Strommesszange für Multimeter
 - Abtastzeit des Systems 1ms
 - Netzfrequenz 50 Hz
 - 20 Abtastpunkte pro Periode
 - „Running RMS“ Block in Simulink



Hardwareaufbau

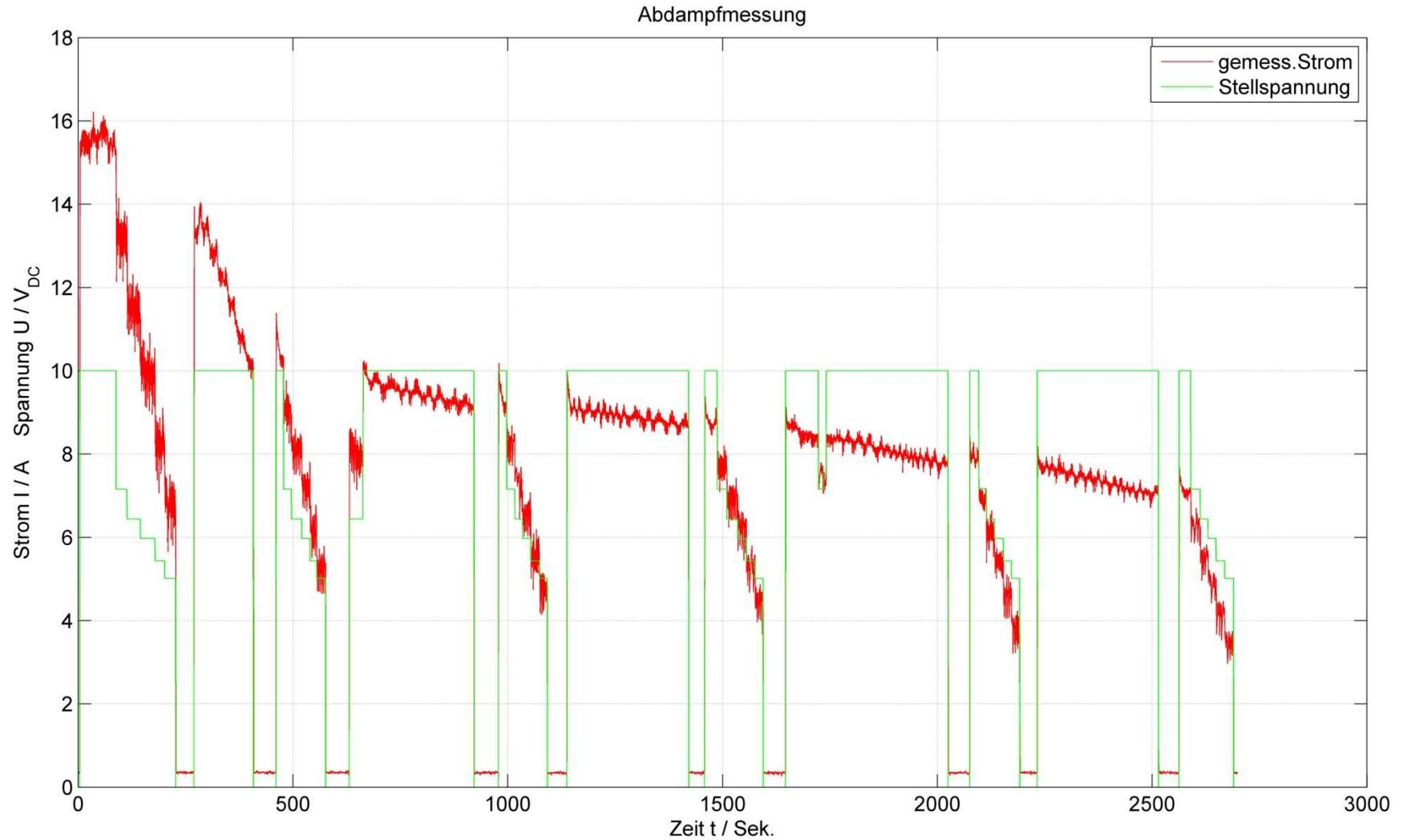
Phasenanschnittsteuerung



Füllstandskennfeld

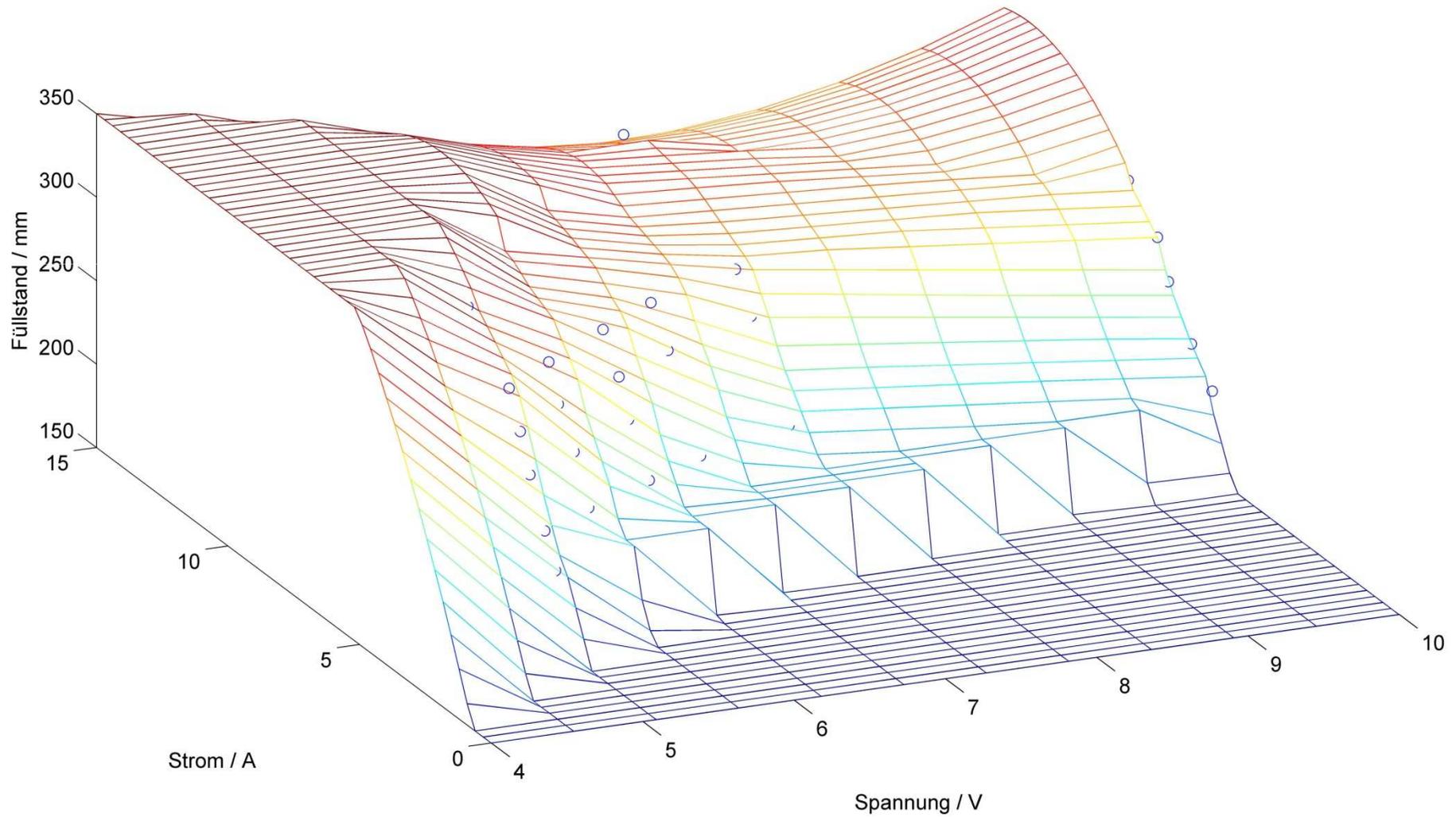
- Für kontinuierliche Schätzung des aktuellen Füllstandes
- Abdampfmessungen
- Füllstand manuell über Skala abgelesen
- 3D-Kennlinienfeld in MATLAB extrapoliert
- Einbindung in Simulink als LookUp Table

Füllstandskennfeld



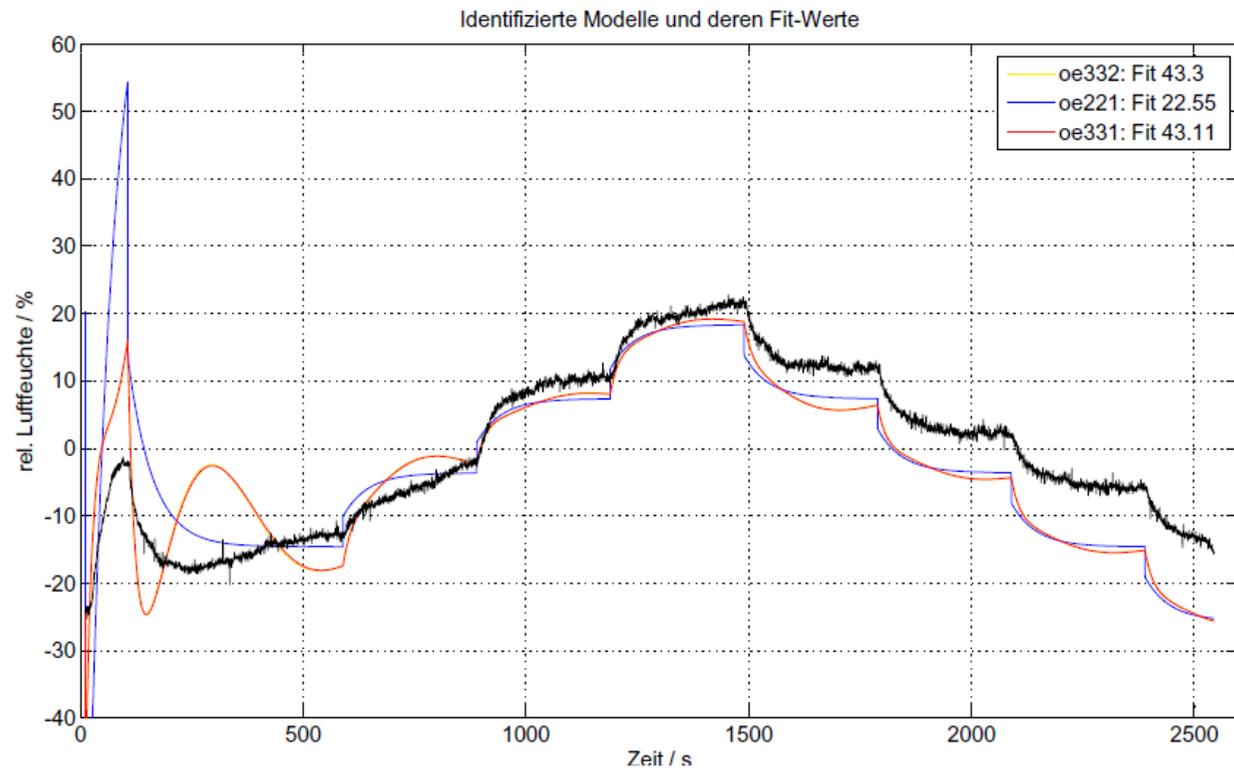
Füllstandskennfeld

extrapoliertes Strom-Spannungs-Füllstands Kennlinienfeld



Modell Identifikation

- Identifikationsdatensatz aufgenommen
- MATLAB Identification Toolbox
 - ARX Modelle
 - OE Modelle

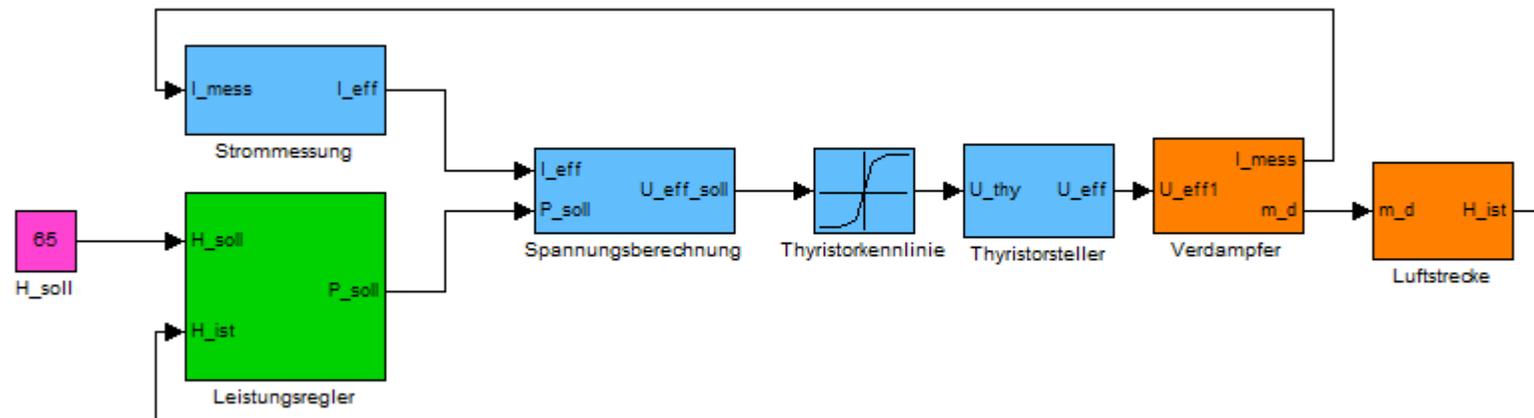


Modell Identifikation

- Globales Modell nicht zufriedenstellend
- Zeitvarianz, siehe Offset
- Überlegung: mehrere lokale Modelle
- Zur Regler - Simulation verwendet, da Dynamik richtig abgebildet wird

Modellvorstellung Dampferzeugung

- Einfaches Modell $\dot{Q} = r\dot{m}_W$
- Ableitung: $\dot{Q} = r\dot{m}_W = \eta P_{el}$
- Verwenden der elektrischen Leistung als Stellgröße



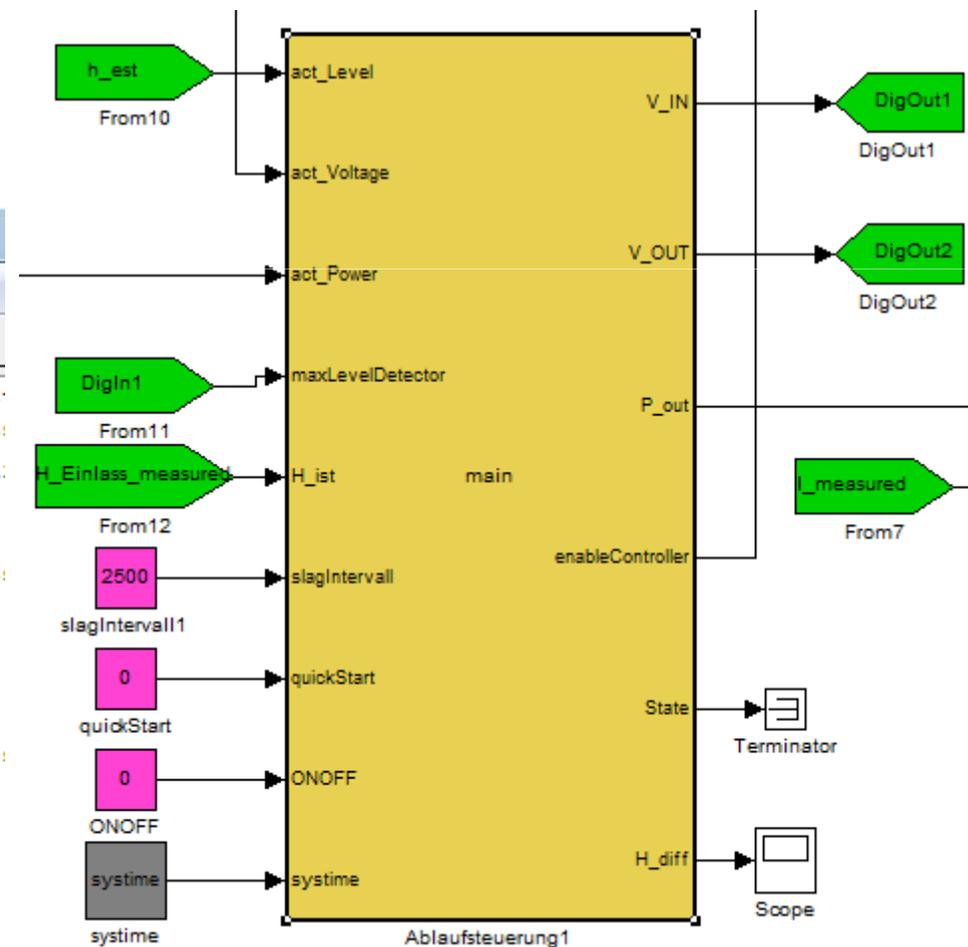
Ablaufsteuerung

- Aufgaben:
 - Öffnen des Einlassventils
 - Aufheizen mit Maximalleistung
 - Einlassventil schließen (Füllstandsendschalter)
 - Einschalten des Reglers wenn System warm ist
 - Erkennen ob Nachfüllvorgang nötig ist und geg. Durchführen
 - Abschlackvorgang
 - Geordnetes Abschalten

Ablaufsteuerung

- Implementierung als Embedded MATLAB Function in Simulink

```
Embedded MATLAB Editor - Block: AblaufMitRegelung/Ablaufsteuerung1
File Edit Text Debug Tools Window Help
1 function [V_IN,V_OUT,P_out,enableController,S
2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3 % Ablaufsteuerung am Verdampfer CP2 Conda
4 % Bachelorarbeit Luftfeuchteregelung
5 % 2013, Martin Großbichler
6 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
7 % Steuern des Ein- und Auslassventils
8 % 2 Aufgaben:
9 % - Nievausteerung
10 % - Abschlacken
11 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
12
```



Diskreter PID - Regler

$$u_{(z)} = K_p \left(1 + \frac{T_s}{T_n} \frac{z}{z-1} + T_v \frac{z-1}{(1+T_p T_s)z-1} \right)$$



Discret PID Controller

PARAMETER:

Kp ... Proportional Factor

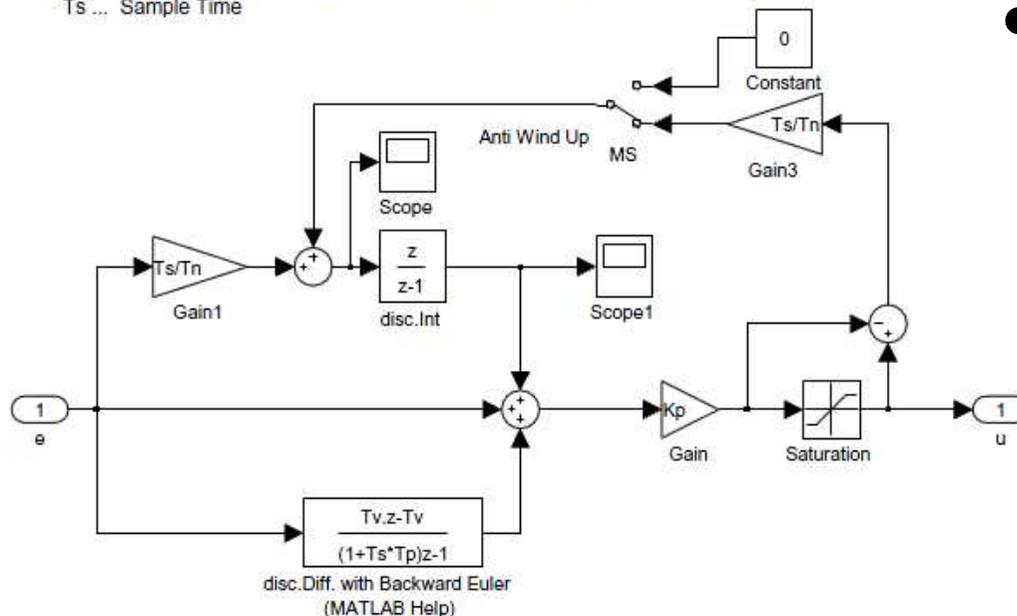
Tn ... Time Constant Integrator

Tv ... Time Constant Differential

Tp ... Time Constant for Real D-Part, Tp usually < 0.05 Ts

uLow, uHigh ... Boundaries of the Output-Signal u ("Stellgrößenbeschränkung")

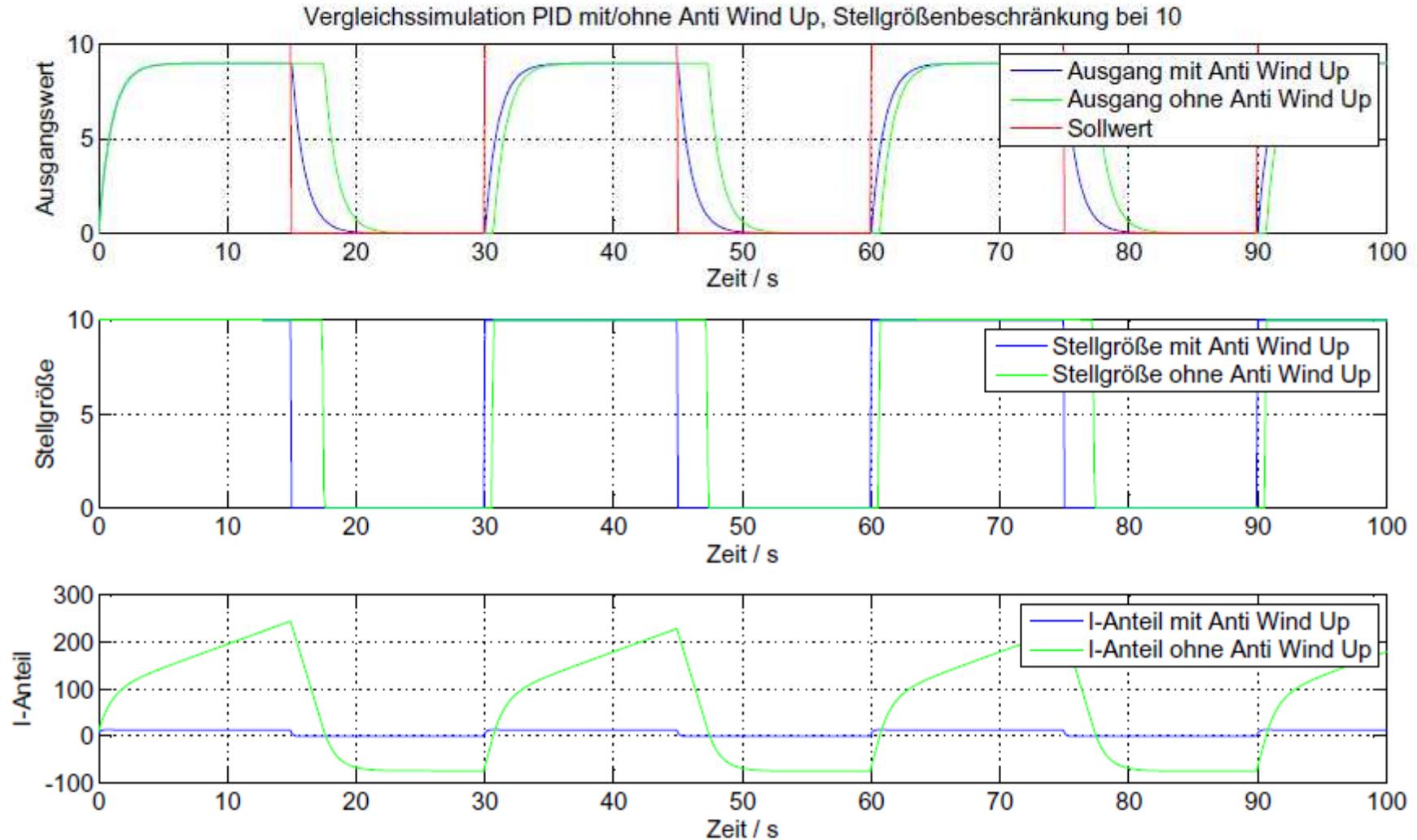
Ts ... Sample Time



- Parallel-Struktur
- Anti-Wind Up mit Rückkoppelschleife

Diskreter PID – Regler

Simulation zu Anti Wind Up

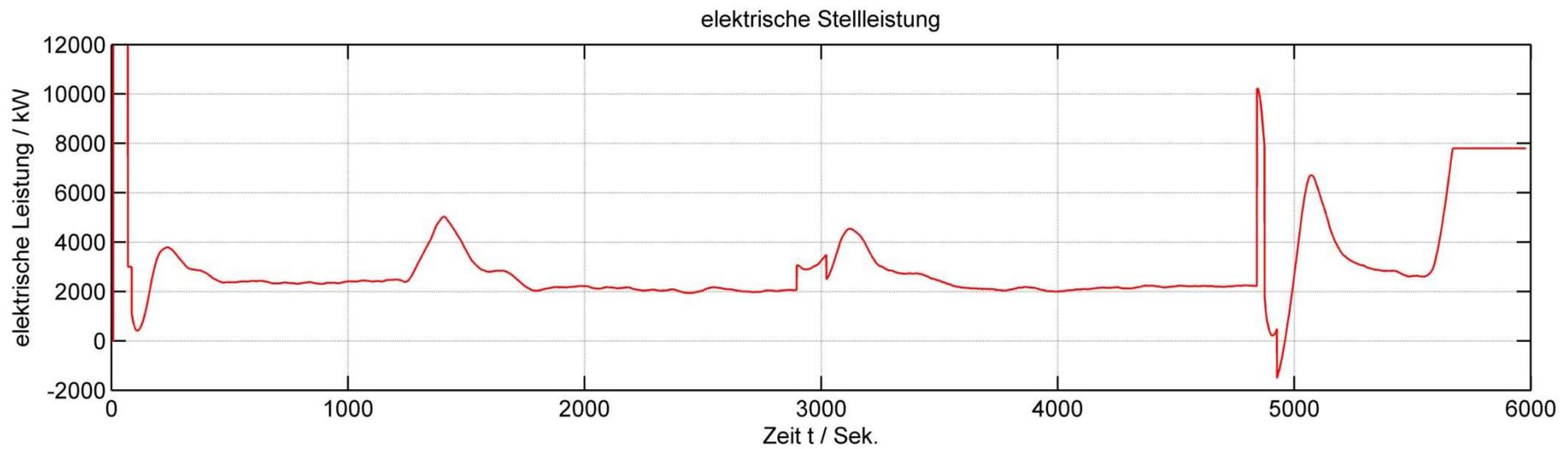
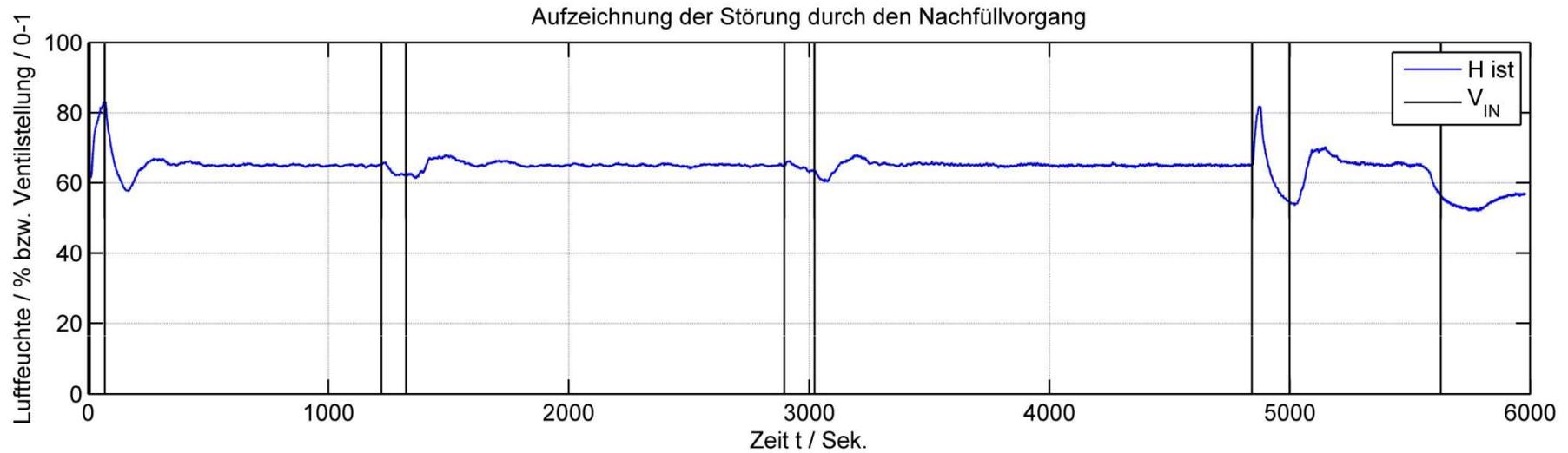


Diskreter PID - Regler

- → sehr langsames Einschwingverhalten
- Erweiterung mit Arbeitspunktaufschaltung brachte Verbesserung
- Großes Problem: Störung in der Luftfeuchte durch Nachfüllvorgang

Diskreter PID – Regler

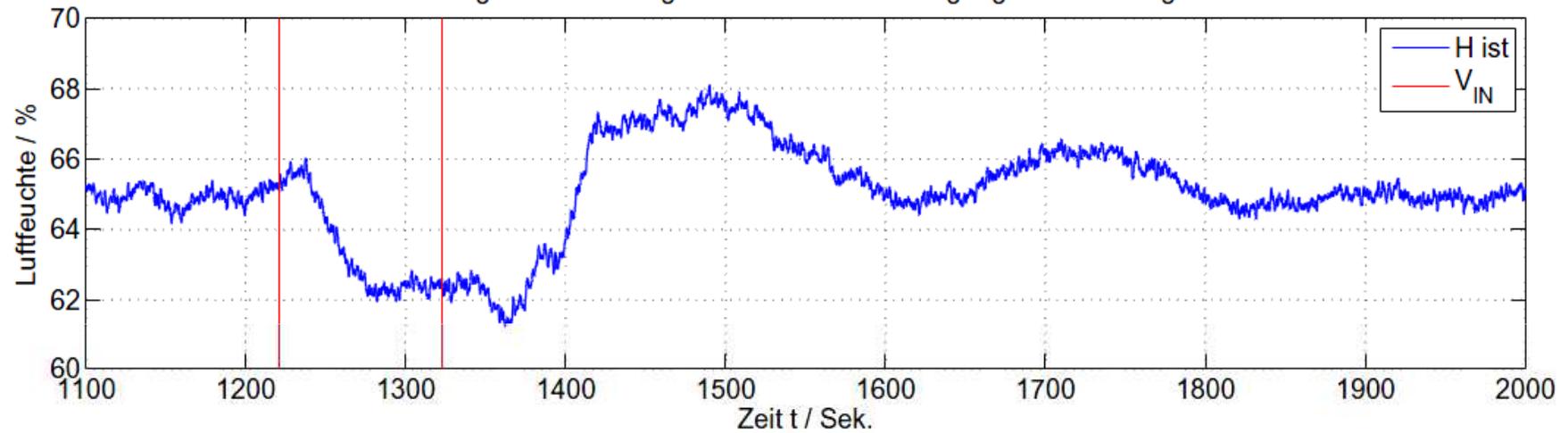
Störverhalten



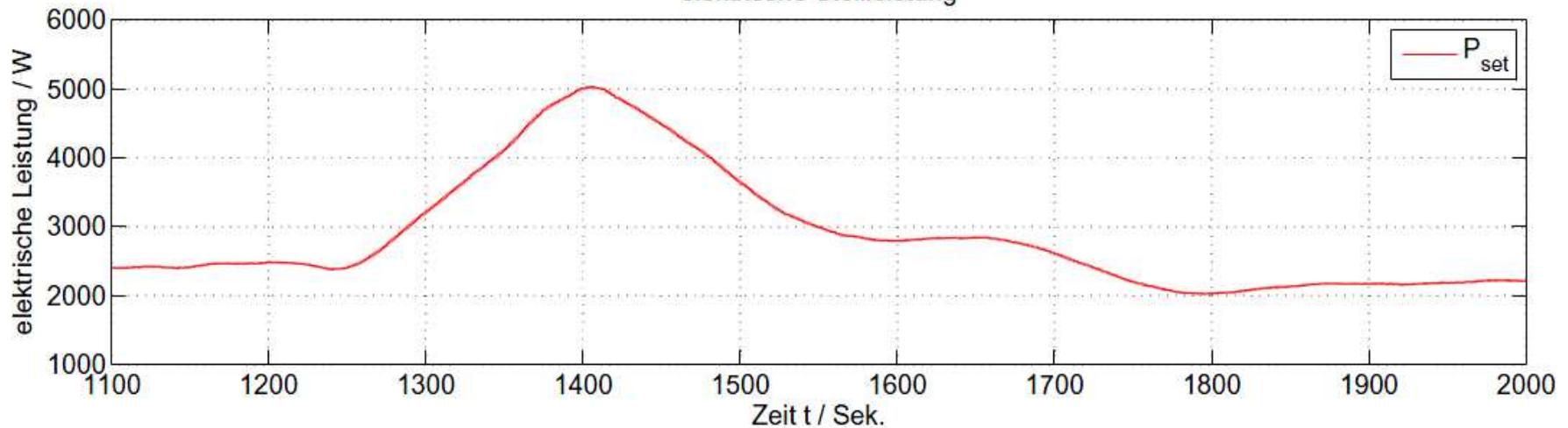
Diskreter PID – Regler

Störverhalten

Ausregeln der Störung durch den Nachfüllvorgang mit PID - Regler



elektrische Stelleistung



Diskreter PID – Regler

Fazit

- Bei Nachfüllvorgang Schwankungen um +/- 5% über mehrere Minuten möglich
- Nicht verwendbar für genaue Abgasmessungen
- Überlegungen/Erkenntnisse
 - Vorsteuerung bei Nachfüllvorgang hilfreich
 - System ist offenbar zeitvariant (→ Modellidentifikation)
 - Weiterführung der Überlegung mit lokalen Modellen
 - Online Adaption wegen Zeitvarianz

Online Identifikation

- Implementierung verschiedener Varianten des Rekursiven Least Square Algorithmus (RLS)
 - RLS
 - RLS mit exponentiellen Vergessen
 - Rekursiv Least Mean Squares Algorithmus (RLMS)
 - Minimum Varianz Schätzer
- Embedded MATLAB Function
- Beschränkung vorerst auf System 1.Ordnung:

Online Identifikation

- Jede Variante für sich hat Tuning-Parameter mit denen z.B. die Konvergenzgeschwindigkeit eingestellt werden kann
- Im praktischen Versuch hat sich der RLMS-Algorithmus als der Beste herausgestellt
- Dieser liefert Online ein Modell der Struktur:

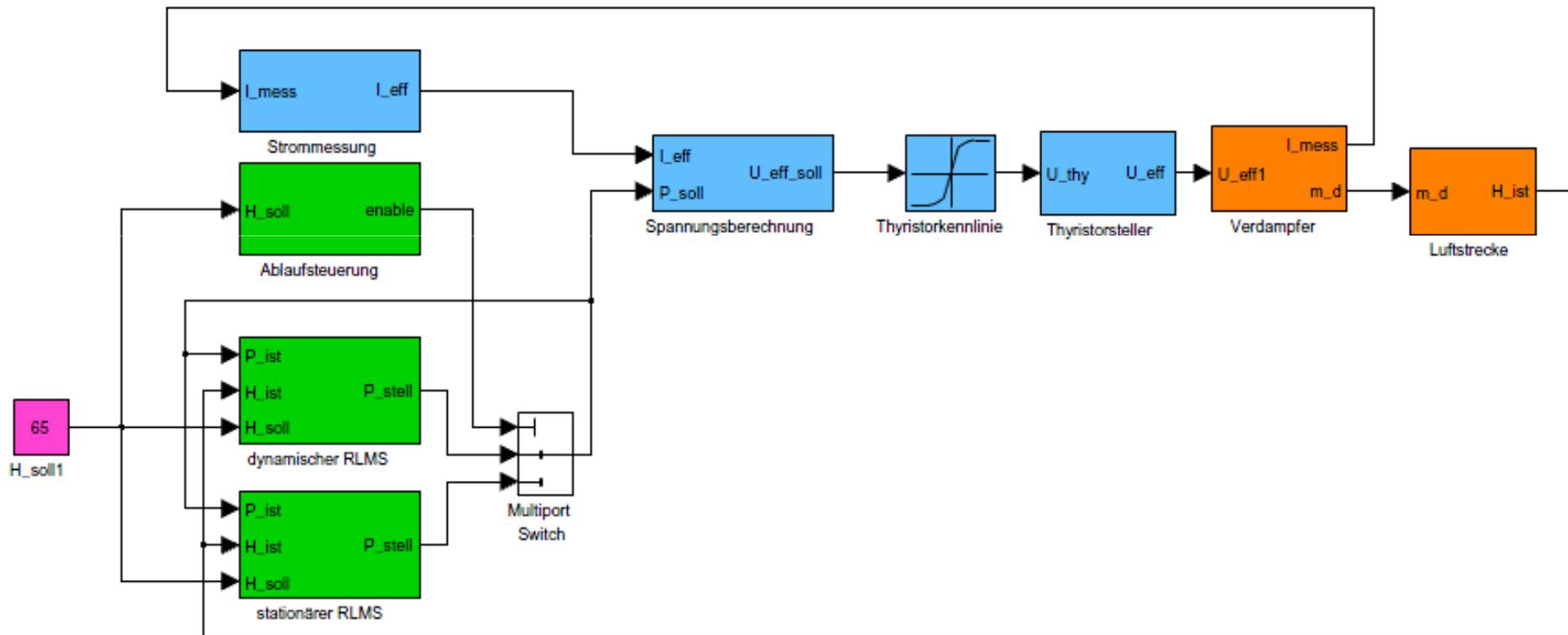
$$\hat{y} = [y_{k-1} \ u_k] \begin{bmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{\theta}_2 \end{bmatrix}$$

Regelungsvorschrift

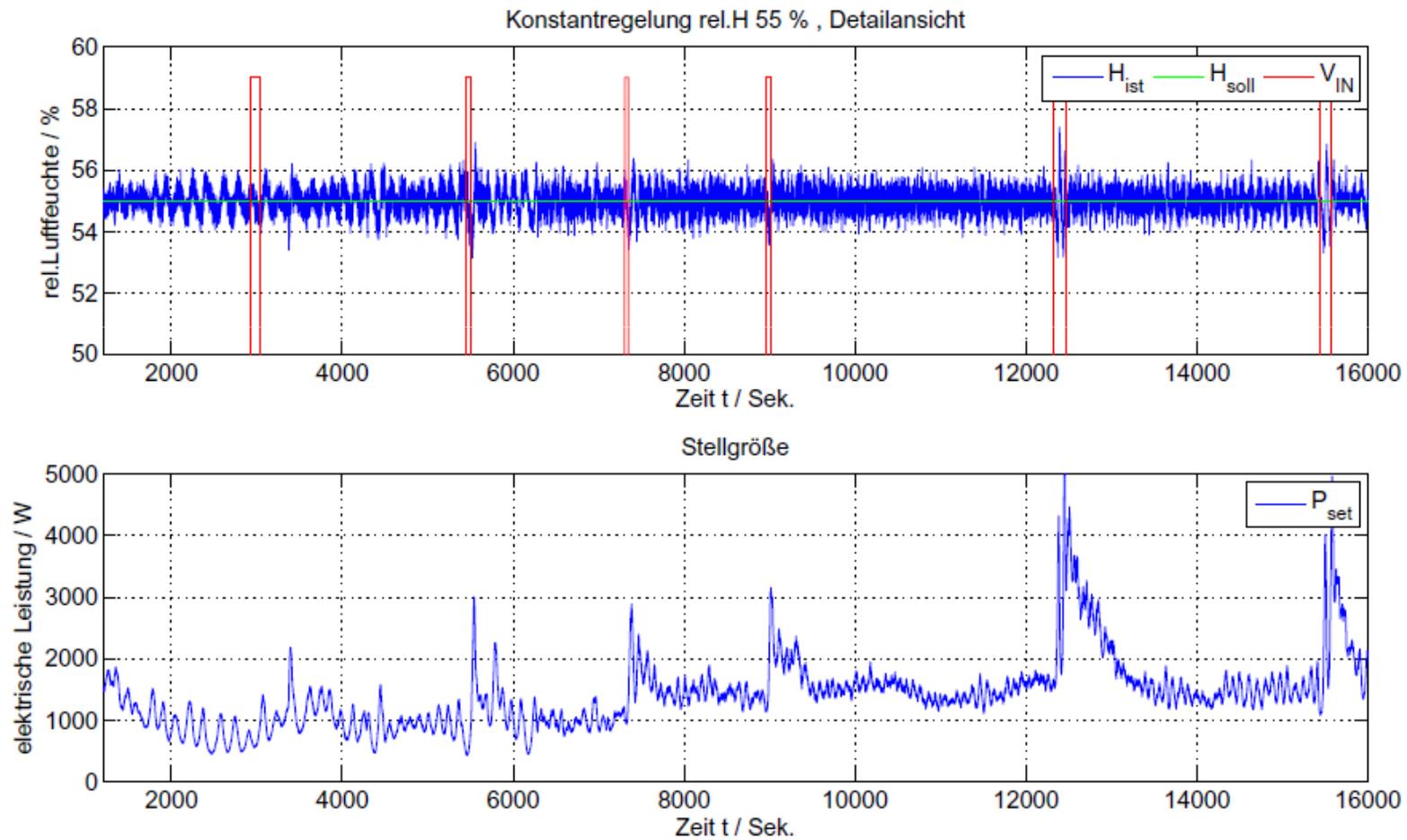
- „dynamischer RLMS“ $u_{k+1} = \frac{y_{SOLL} - y_k \hat{\theta}_1}{\hat{\theta}_2}$
- „stationärer RLMS“ $u_{k+1} = \frac{y_{SOLL} (1 - \hat{\theta}_1)}{\hat{\theta}_2}$
- Verwendungsmöglichkeiten
 - Parallel zu PID-Regler
 - Ohne zusätzlichen Regler

Regelungsvorschrift

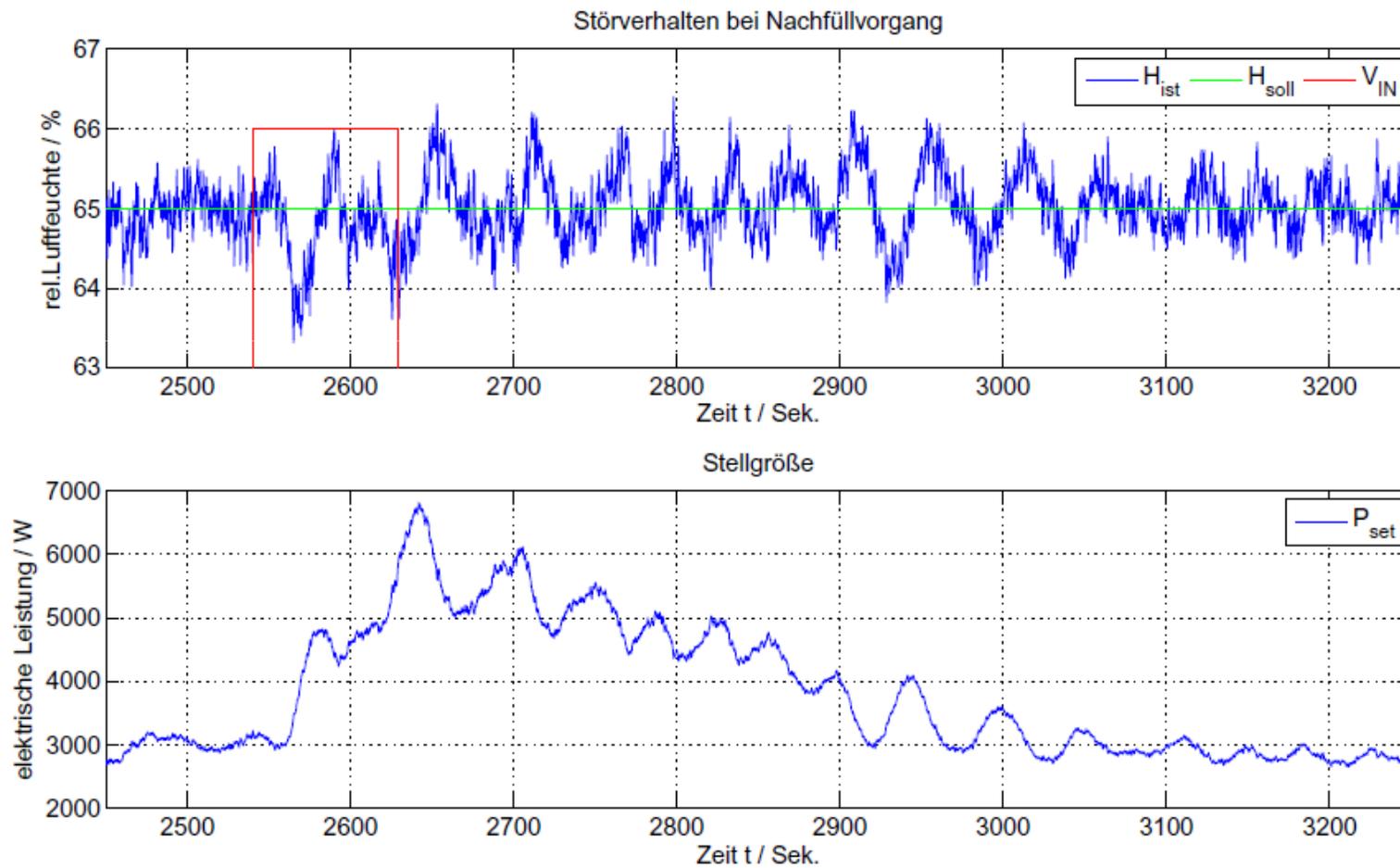
Aufbau mit RLMS



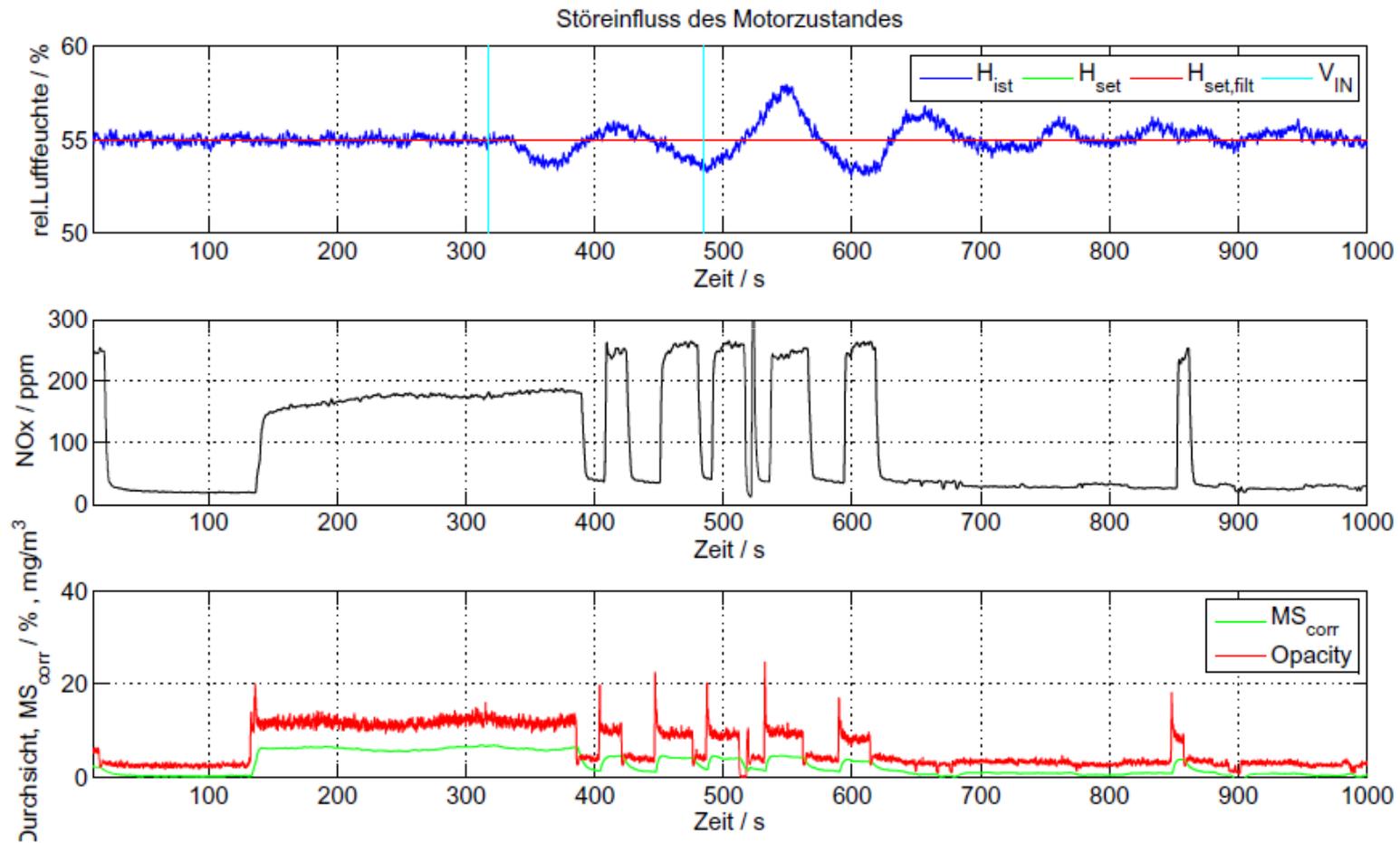
Konstantwertregelung



Störverhalten



Störverhalten

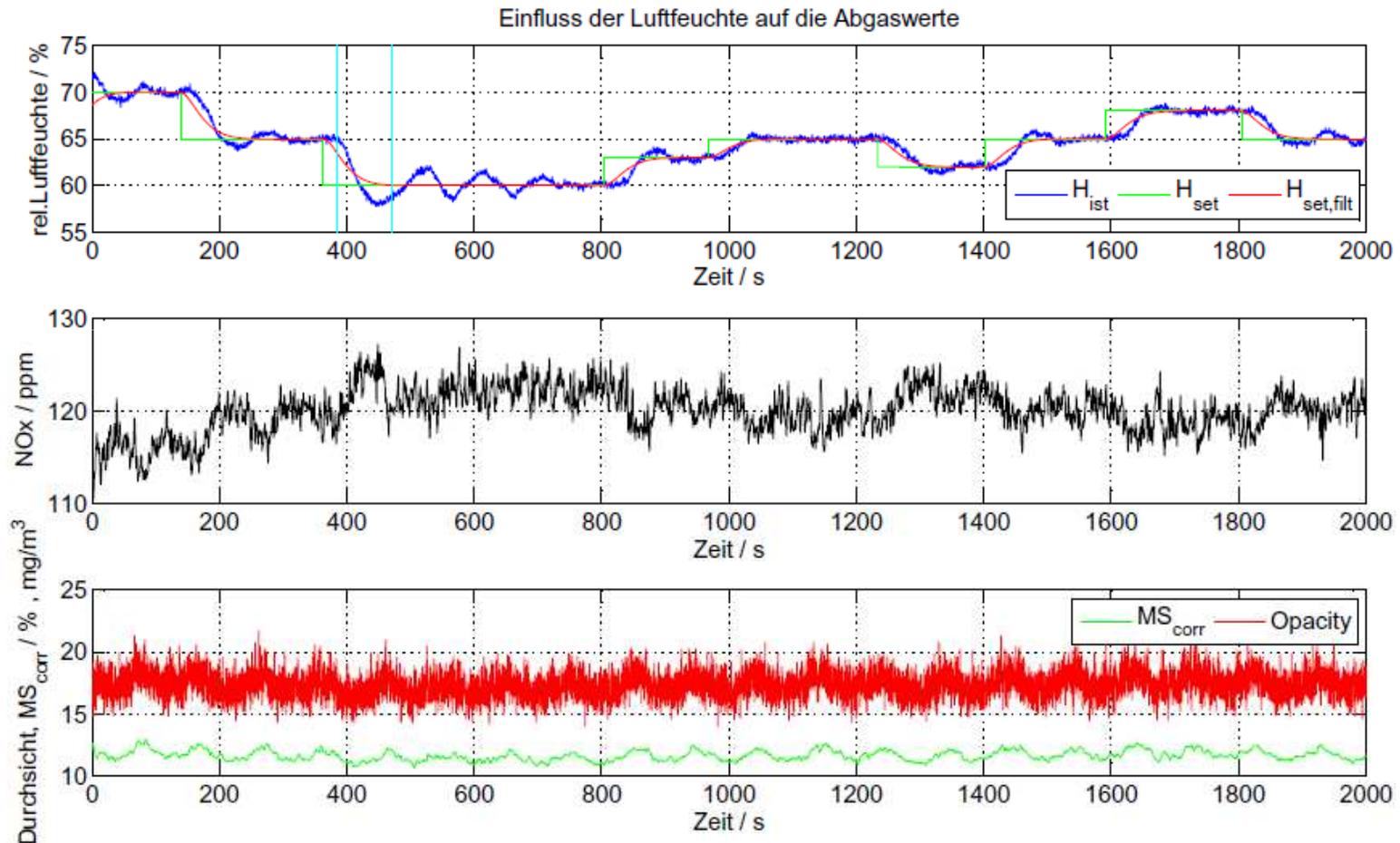


Fazit

- Regelung mit RLMS ohne zusätzlichen Regler stabil
- Erweiterung um zusätzlichen „Feedback“
Regler möglich
- Luftfeuchteschwankungen max. ca. +/- 3 %r.H.
- Ausreichende Genauigkeit für Prüfstand?

Einfluss auf Emissionswerte

70 - 60% r.H. \leftrightarrow 115-123 ppm NOx, dh 0.8 ppm/%



Danke für Eure Aufmerksamkeit