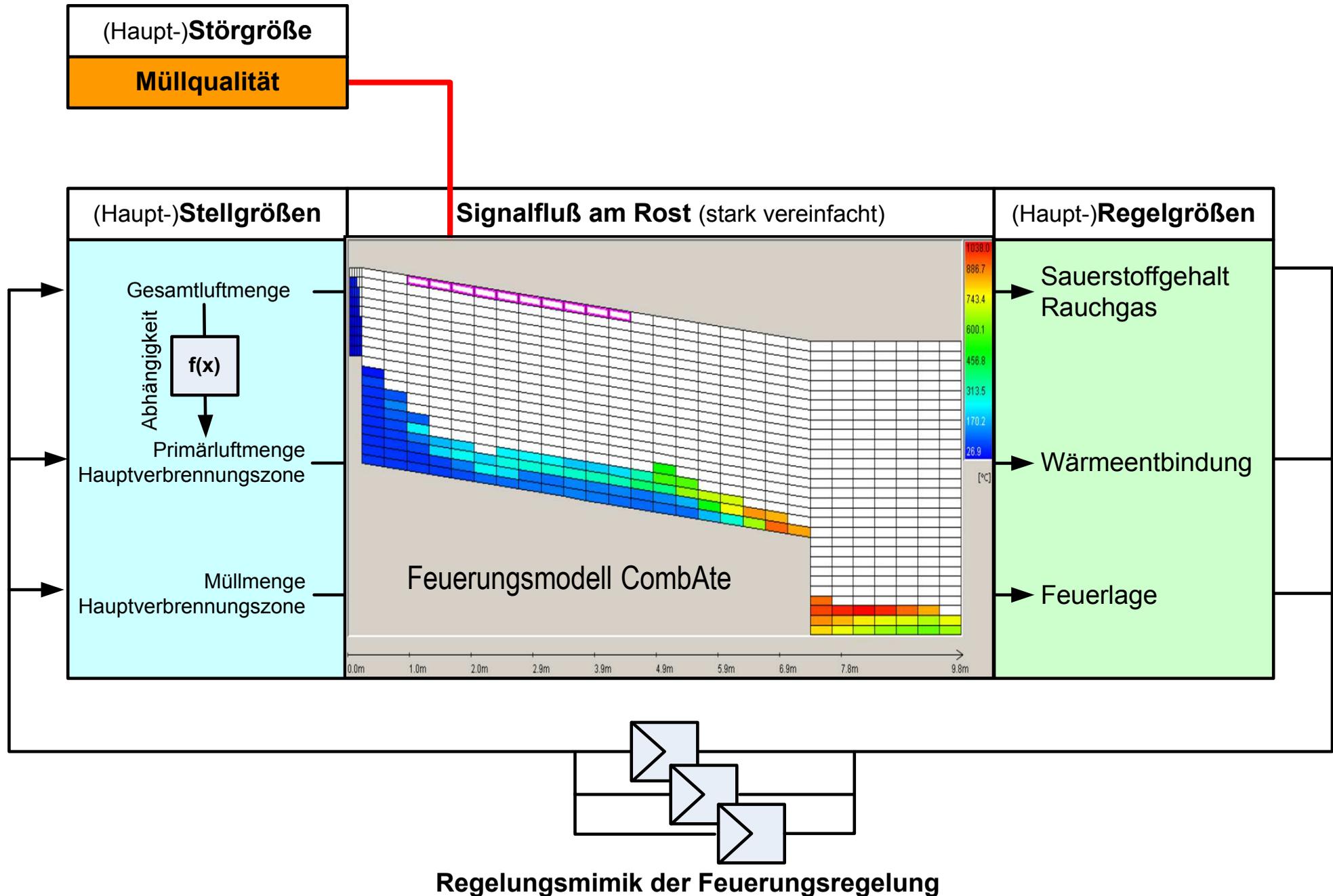


Vorkonfektionierung und Optimierung der  
Feuerungsregelung durch bidirektionale  
Kopplung an ein Feuerungsmodell

Martin Zwiellehner





- Sekundärmaßnahmen → Minimierung der Emissionen die durch den Verbrennungsprozess entstanden sind unter die gesetzlichen Grenzwerte.

- Primärmaßnahmen können unterteilt werden in:

- Verfahrenstechnische Primärmaßnahmen

- Betriebliche Primärmaßnahmen

Konditionierung / Homogenisierung  
des Brennstoffs

Feuerraumgeometrie

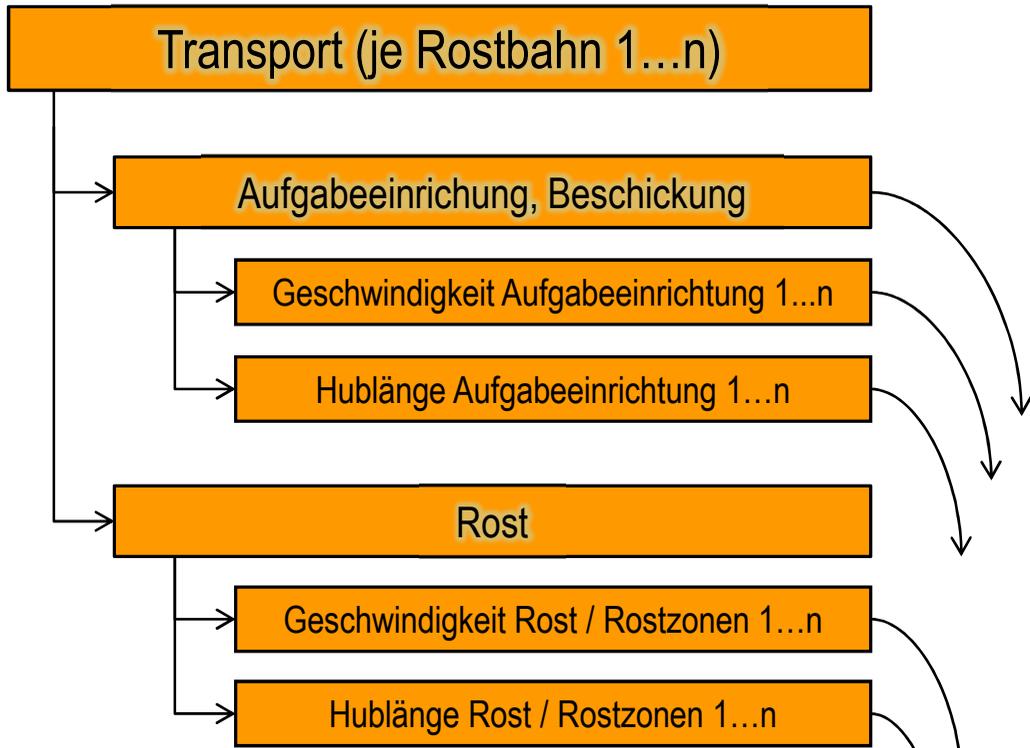
Verbrennungsrast

Verbrennungsluft

Konstruktive Primärmaßnahmen

**Regelbarkeit der Stellglieder  
(Feuerungsregelung, FLR)**

... einzige verfahrenstechnische Primärmaßnahme, um nach baulicher Fertigstellung einer Anlage dynamisch großen Einfluss auf die Feuerung zu nehmen → **FLR = Schlüsseltechnologie !**

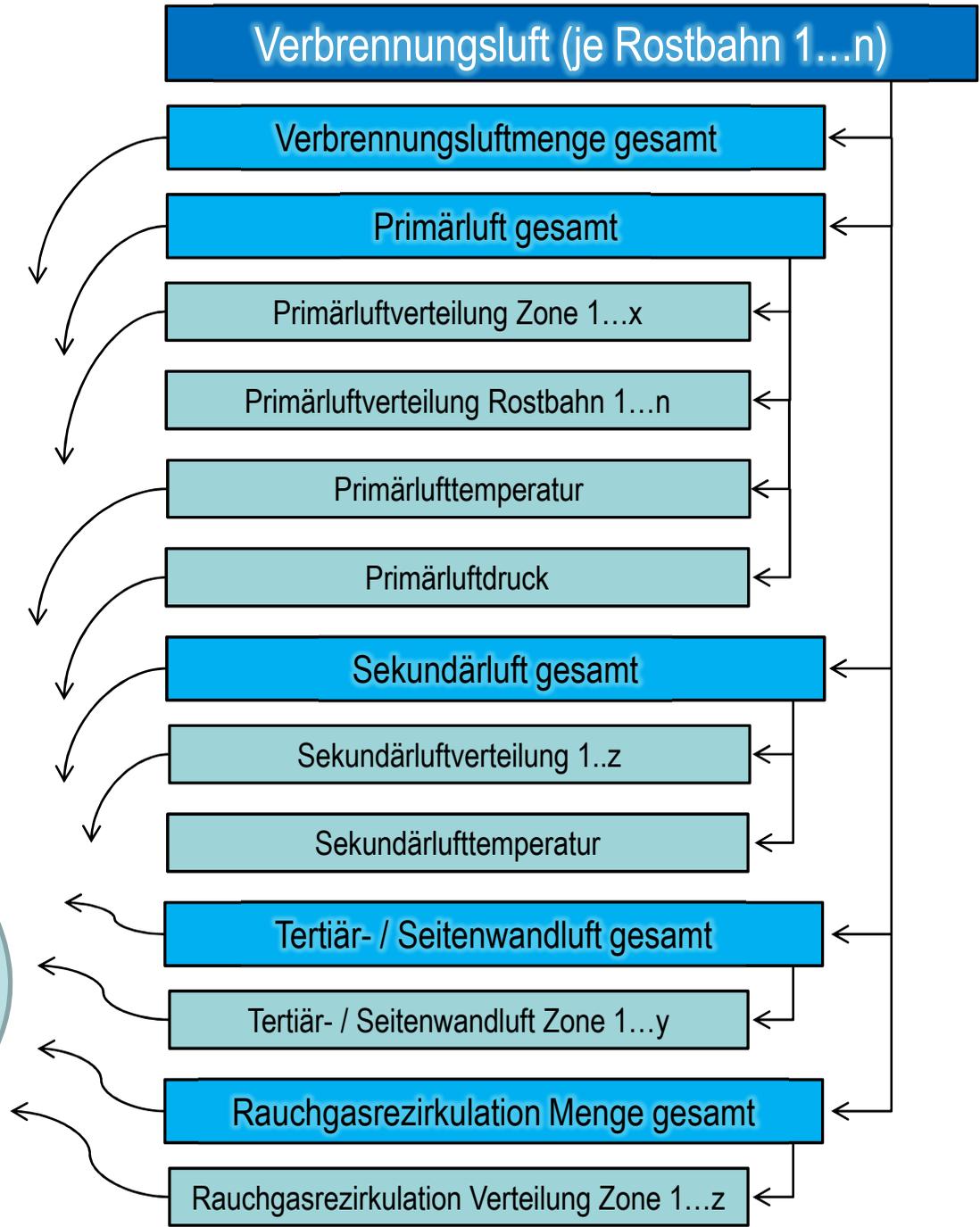


Für **jeden** diesen Parameter sind notwendig:

- Min-Grenze
- Max-Grenze
- Arbeitspunkt

Regelband

...bei **jedem** relevanten Arbeitspunkt der Feuerung, d.h. Lastfälle, Heizwertband etc.



# Beispiel Basistabelle „Rost + Transport“ für eine MVA

Heizwert „schlecht“

Lastfälle, d.h. Eckpunkte des FLD

Heizwert „gut“

T2

## Ram and grate - base table

Active setpoint transport	67.00	t/h
	100.00	%
Actual value	67.00	t/h
	100.00	%

Base table

-50%-point = heating value "bad"

50%-point = heating value "good"

Load point	%	53.0	66.0	75.0	85.0	95.0	100.0	100.0	%
Base value [t/h]	t/h	35.5	44.2	50.3	57.0	63.6	67.0	67.0	t/h

Load point	%	53.0	66.0	75.0	85.0	95.0	100.0	100.0	%
Base value [t/h]	t/h	35.5	44.2	50.3	57.0	63.6	67.0	67.0	t/h

Velocity ram feeder max		dH/h	11.0	13.5	15.0	17.0	19.0	20.0	20.0	dH/h
Velocity ram feeder bas		dH/h	10.0	10.0	11.0	13.0	15.0	16.0	16.0	dH/h
Velocity ram feeder min		dH/h	9.0	9.0	9.0	11.0	12.0	12.0	12.0	dH/h

Velocity grate 1 max		dH/h	77.0	79.0	82.0	85.0	89.0	93.0	93.0	dH/h
Velocity grate 1 base		dH/h	70.0	70.0	72.0	72.0	75.0	80.0	80.0	dH/h
Velocity grate 1 min		dH/h	16.0	17.0	19.0	21.0	23.0	25.0	25.0	dH/h

Velocity grate 2 max		dH/h	115.0	118.0	120.0	122.0	126.0	130.0	130.0	dH/h
Velocity grate 2 base		dH/h	62.0	64.0	66.0	69.0	72.0	75.0	75.0	dH/h
Velocity grate 2 min		dH/h	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	30.0	dH/h

Velocity grate 3 max		dH/h	45.0	47.0	49.0	51.0	53.0	55.0	55.0	dH/h
Velocity grate 3 bas		dH/h	32.0	34.0	36.0	38.0	40.0	42.0	42.0	dH/h
Velocity grate 3 min		dH/h	20.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	26.0	dH/h

je Stellglied Min, Max, Arbeitspunkt

- ...Eingabefeld
- ...Berechnungsfeld

Stellglieder

# Beispiel Basistabelle „Verbrennungsluft“ für eine MVA

## L2 Air base table

Active setpoint combustion air	67.00	t/h
	100.00	%
Actual value	67.00	t/h
	100.00	%

Base table

-50%-point = heating value "bad"										L2 FLR ALLG WE	50%-point = heating value "good"																																	
0 %										0 %																																		
Load point	%	53.0	66.0	75.0	85.0	95.0	100.0	100.0	%			Load point	%	53.0	66.0	75.0	85.0	95.0	100.0	100.0	%																							
Base value [t/h]	t/h	35.5	44.2	50.3	57.0	63.6	67.0	67.0	t/h			Base value [t/h]	t/h	35.5	44.2	50.3	57.0	63.6	67.0	67.0	t/h																							
Common air flow	kNm³/h	48.0	59.8	67.9	76.9	83.0	87.5	87.5	kNm³/h	86.4	kNm³/h	Common air flow	kNm³/h	45.1	56.2	63.9	72.5	81.0	85.3	85.3	kNm³/h																							
Primary air min	%GL	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	%GL	40.0	%GL	Primary air min	%GL	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	%GL																							
Primary air max	%GL	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	%GL	65.0	%GL	Primary air max	%GL	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	%GL																							
<table border="1"> <tr><td>55.0</td><td>%GL</td><td>48.1</td><td>kNm³/h</td></tr> <tr><td>± 10.0</td><td>%GL</td><td>± 8.8</td><td>kNm³/h</td></tr> </table>										55.0	%GL	48.1	kNm³/h	± 10.0	%GL	± 8.8	kNm³/h	<table border="1"> <tr><td>52.5</td><td>%GL</td><td>45.4</td><td>kNm³/h</td></tr> <tr><td>± 12.5</td><td>%GL</td><td>± 10.8</td><td>kNm³/h</td></tr> </table>	52.5	%GL	45.4	kNm³/h	± 12.5	%GL	± 10.8	kNm³/h	<table border="1"> <tr><td>50.0</td><td>%GL</td><td>42.6</td><td>kNm³/h</td></tr> <tr><td>± 15.0</td><td>%GL</td><td>± 12.8</td><td>kNm³/h</td></tr> </table>										50.0	%GL	42.6	kNm³/h	± 15.0	%GL	± 12.8	kNm³/h
55.0	%GL	48.1	kNm³/h																																									
± 10.0	%GL	± 8.8	kNm³/h																																									
52.5	%GL	45.4	kNm³/h																																									
± 12.5	%GL	± 10.8	kNm³/h																																									
50.0	%GL	42.6	kNm³/h																																									
± 15.0	%GL	± 12.8	kNm³/h																																									
Primary air flow zone 1	%PL	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	%PL	11.0	%PL	Primary air flow zone 1	%PL	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	%PL																							
Primary air flow zone 2	%PL	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	%PL	30.5	%PL	Primary air flow zone 2	%PL	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	%PL																							
Primary air flow zone 3	%PL	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	%PL	34.5	%PL	Primary air flow zone 3	%PL	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	%PL																							
Primary air flow zone 4	%PL	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	%PL	18.0	%PL	Primary air flow zone 4	%PL	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	%PL																							
Primary air flow zone 5	%PL	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	%PL	6.0	%PL	Primary air flow zone 5	%PL	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	%PL																							
Primary air flow sum	%PL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	%PL			Primary air flow sum	%PL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	%PL																							
Secondary air flow min	%GL	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	%GL	35.0	%GL	Secondary air flow min	%GL	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	%GL																							
Secondary air flow max	%GL	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	%GL	60.0	%GL	Secondary air flow max	%GL	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	%GL																							
Secondary air front wall	%	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	%	55.0	%	Secondary air front wall	%	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	%																							
Secondary air back wall	%	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	%	45.0	%	Secondary air back wall	%	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	%																							
<table border="1"> <tr><td>45.0</td><td>%GL</td><td>39.4</td><td>kNm³/h</td></tr> <tr><td>± 10.0</td><td>%GL</td><td>± 8.8</td><td>kNm³/h</td></tr> </table>										45.0	%GL	39.4	kNm³/h	± 10.0	%GL	± 8.8	kNm³/h	<table border="1"> <tr><td>47.5</td><td>%GL</td><td>41.0</td><td>kNm³/h</td></tr> <tr><td>± 12.5</td><td>%GL</td><td>± 10.8</td><td>kNm³/h</td></tr> </table>	47.5	%GL	41.0	kNm³/h	± 12.5	%GL	± 10.8	kNm³/h	<table border="1"> <tr><td>50.0</td><td>%GL</td><td>42.6</td><td>kNm³/h</td></tr> <tr><td>± 15.0</td><td>%GL</td><td>± 12.8</td><td>kNm³/h</td></tr> </table>										50.0	%GL	42.6	kNm³/h	± 15.0	%GL	± 12.8	kNm³/h
45.0	%GL	39.4	kNm³/h																																									
± 10.0	%GL	± 8.8	kNm³/h																																									
47.5	%GL	41.0	kNm³/h																																									
± 12.5	%GL	± 10.8	kNm³/h																																									
50.0	%GL	42.6	kNm³/h																																									
± 15.0	%GL	± 12.8	kNm³/h																																									
Recirculation gas mass flow	kNm³/h	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	8.0	8.0	kNm³/h	12.0	kNm³/h	Recirculation gas mass flow	kNm³/h	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	16.0	16.0	kNm³/h																							
Recirculation gas front wall	%	45.0	45.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	%	50.0	%	Recirculation gas front wall	%	45.0	45.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	%																							
Recirculation gas back wall	%	55.0	55.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	%	50.0	%	Recirculation gas back wall	%	55.0	55.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	%																							

- „Standard-MVA“ (1 Rostbahn, 1 Beschickstößel, 3 Rostzonen, 5 PrimLu-Zonen, SekLu vorne hinten, Rezigas) → 144 (Basis-)Werte Rost und 132 (Basis-)Werte Verbrennungsluft.
- Hinzu kommen noch Parameter für ca. 10 Advanced-PID-Regler, Parametrierung von Rampen, Grenzwerten, gleitenden Mittelwerten, Gewichtungen etc.



The screenshot displays a multi-level control system interface. At the top, there's a title bar for 'Ram feeder and grate - weighting and controller'. Below it, several control panels are visible, including 'Primary air zone - weighting and controller' (L5) and 'Correction ram feeder' (L4). The interface is filled with numerous control elements such as gain schedulers, PID controllers, and data tables. A large red text overlay is centered over the screenshot, asking 'Muss das wirklich so aufwändig und so kompliziert sein?' (Does it really have to be so labor-intensive and so complicated?).

- Dominierend bei der Regelung sind die Störgrößen des Brennstoffs:
  - variabler Gehalt an Brennbarem,
  - variabler Wassergehalt,
  - variabler Anteil Inertmaterial,
  - variable Körnung bzw. Schüttdichte.
- Für keine der o.g. Größen ist eine betriebstaugliche online-Messung verfügbar.
- Große Heizwertbänder und Leistungsbereiche müssen abefahren werden.
- Max. Leistung, min. Emissionen, bestmögliche Schlackequalität, wenig Korrosion(?)
- Große Verzögerungszeiten zwischen Stelleingriff und Prozessreaktion.
- Nur bedingt reproduzierbare Prozessreaktionen.
- Begrenzte Änderungsgeschwindigkeit der Stellglieder.
- Engpässe in der anlagen- u. verfahrenstechnischen Auslegung d. Anlage.
- Ausgeprägte Nichtlinearitäten im Verhalten der Feuerung,
- Möglichst verschleissarme Stellgliedansteuerung.
- Störeinflüsse durch betriebliche Einrichtungen.
- Materialschonung des Rostbelags.
- 24/7-Betrieb, > 8600h im Jahr, mind. 20-30 Jahre.

**... macht es Sinn, eine Lösung zu integrieren, die dem Lieferanten und dem Betreiber maximale Flexibilität bei der Parametrierung der Feuerung bietet.**

- Grundsätzlicher Unterschied: Neubau einer Anlage oder Umbau bzw. Modernisierung.
- Zeitraum für Erstparametrierung der FLR einer Neuanlage: Min. 8 Wochen im 24/7-Betrieb.
- Zeitraum für Erstparametrierung der FLR einer Bestandsanlage: Min. 4 Wochen im 24/7-Betrieb.

Welche Vorteile würden sich aus der Kopplung der FLR mit dem Feuerungsmodell ergeben?

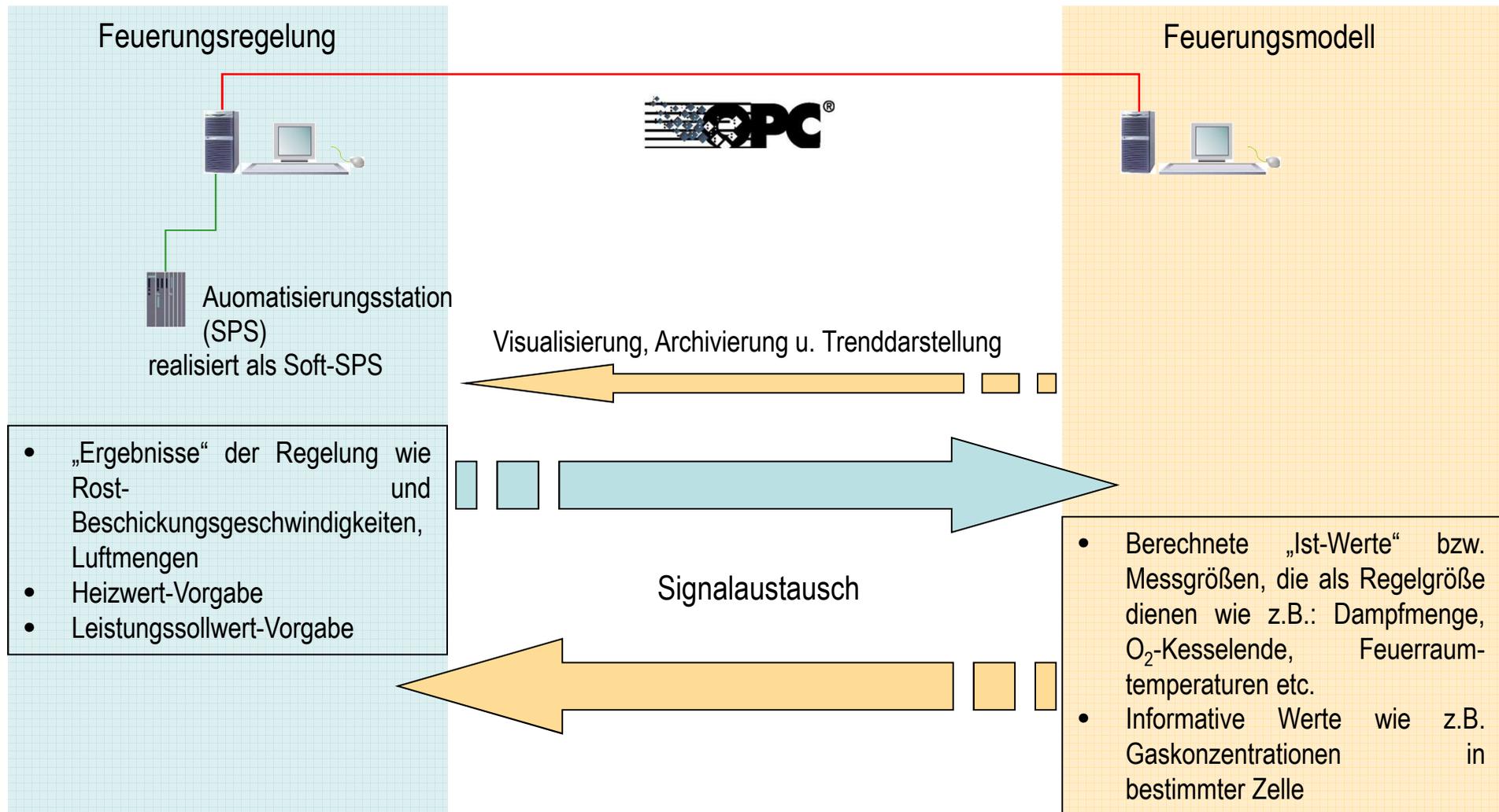
## Eigentliche „Unschönheiten“:

- Es gibt für den Praktiker keine Möglichkeit Parameter im Vorfeld zu evaluieren und zu validieren.
- Parametrierung erfolgt empirisch und aufgrund phänomenologischen Zusammenhängen.
- Qualität ergibt sich zu einem großen Teil durch den Erfahrungsschatz des/der Mitarbeiter(s).
- Oft werden Zusammenhänge nicht erkannt oder aus Zeitdruck nicht in Erwägung gezogen.

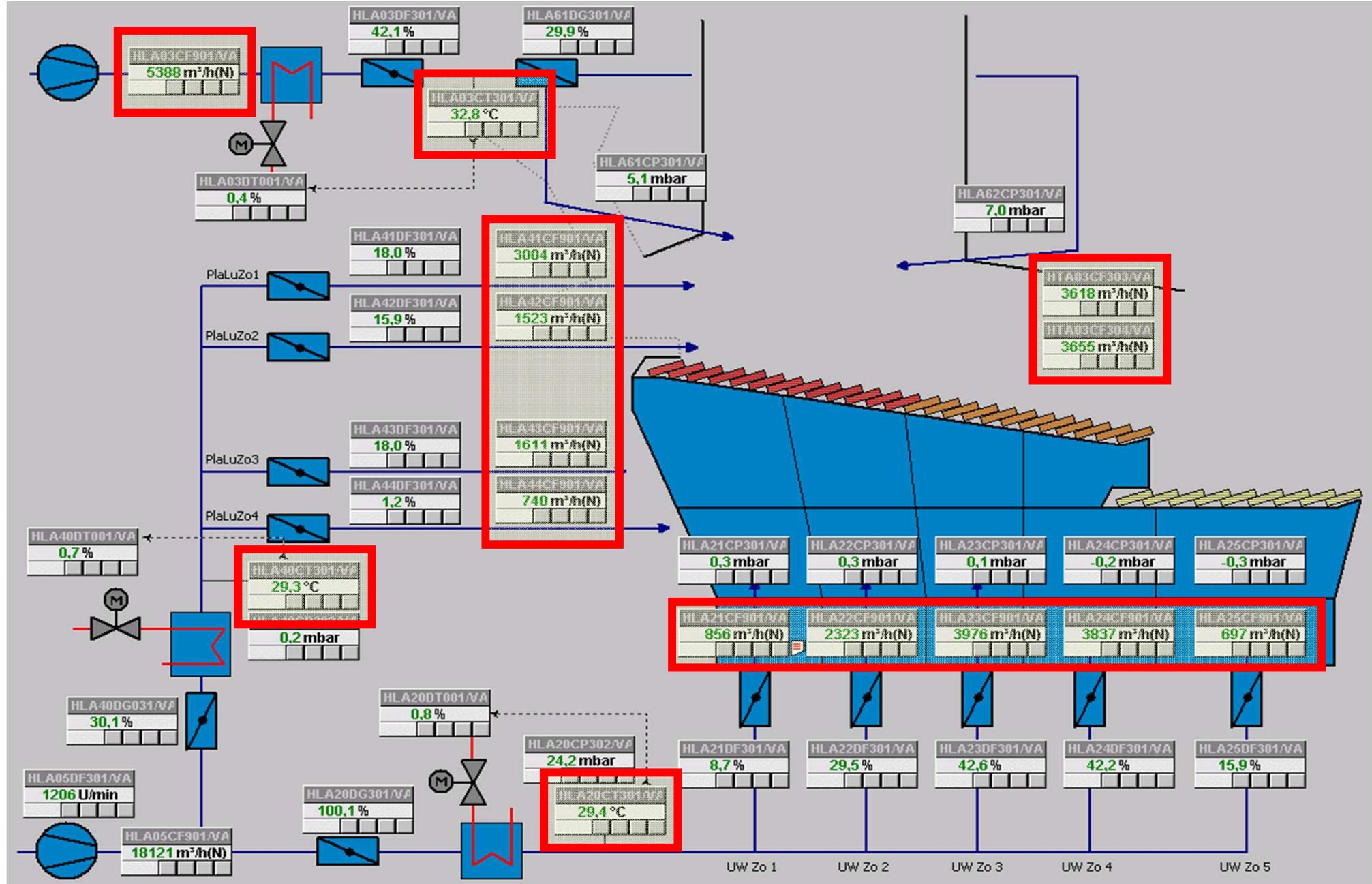


- Vorkonfektionierung der FLR-Tabellen ist möglich → Beschickgeschwindigkeiten, Luftmengen etc.
- Bei allen relevanten Lastfällen und bei allen relevanten Heizwerten → Schichtdicke, Feuerlage etc.
- Dynamische Vorgänge können simuliert werden wie z.B. Lastwechsel oder Heizwertwechsel.
- Regler können parametrisiert werden und heuristische Verfahren zum Finden der geeigneten Reglerparameter können gefahrlos angewandt werden.
- Versuchsfahrten können durchgeführt werden zum Optimieren der Stellglieder wie z.B.
  - Welche Auswirkung hat eine Verlängerung der Hublänge des Rostes um 10 % hinsichtlich der Hubanzahl (mech. Verschleiß) ?
  - Wirkt sich eine Veränderung der Rostneigung positiv oder negativ auf die Feuerlage bei schlechten Heizwerten aus?
  - Sind die Anzahl der Rost- und Primärluftzonen ausreichend oder macht eine zusätzliche (regelbare) Zone Sinn?
- **Vision: Die Inbetriebnahme beginnt nicht bei „0“, die Qualität der Ergebnisse / der Anlage soll verbessert werden können und die IB-Zeiten soll verkürzt werden bzw. für weiteres „Feintuning“ verwendet werden können.**

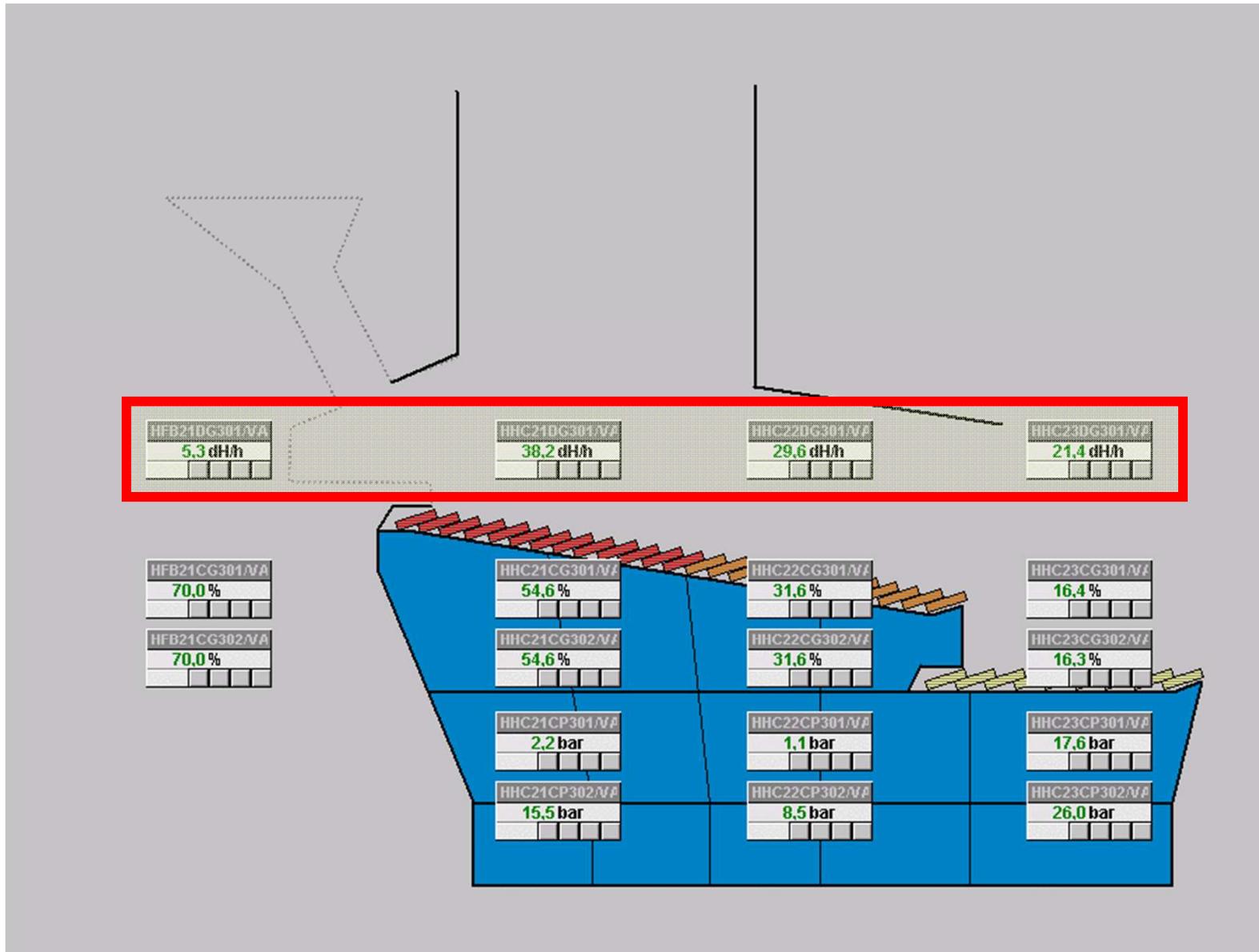
- Kopplung des Feuerungsmodells und der FLR-Software auf PC mittels OPC-Schnittstelle.
- FLR-Software und Feuerungsmodell können auf dem gleichen PC laufen.

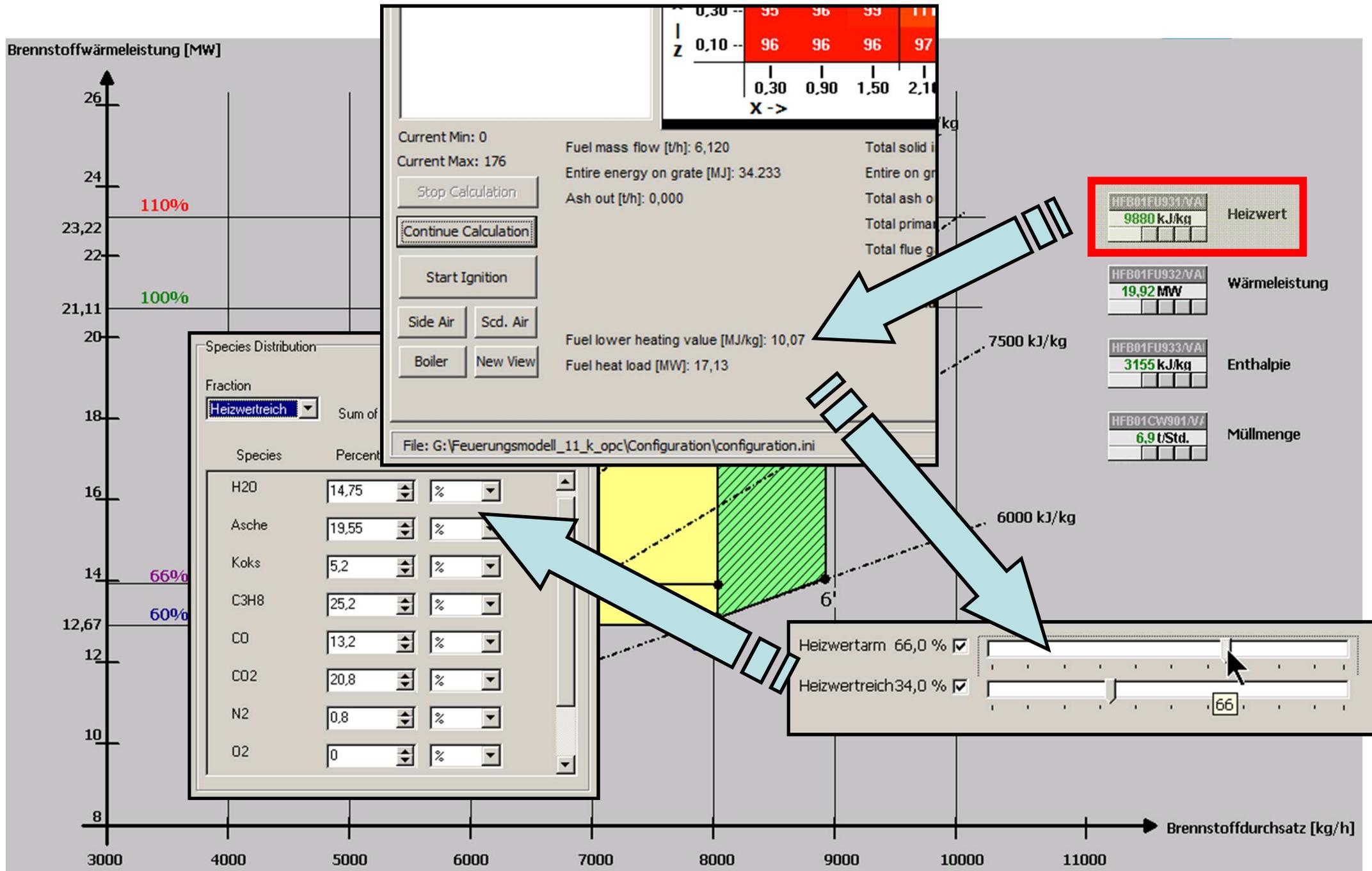


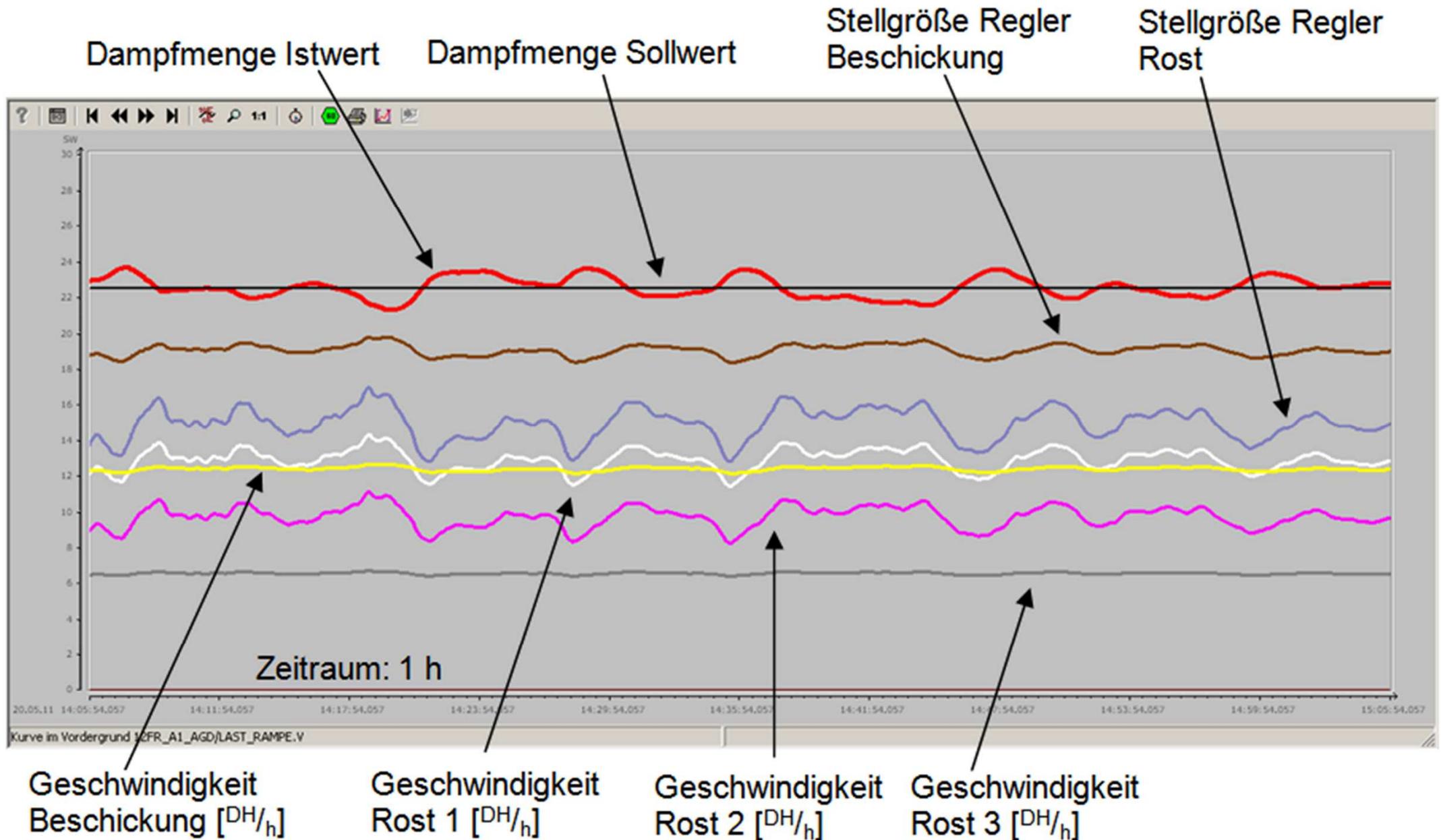
Diese Werte werden von der FLR berechnet und dem Modell als Input zur Verfügung gestellt:



Diese Werte werden von der FLR berechnet und dem Modell als Input zur Verfügung gestellt:





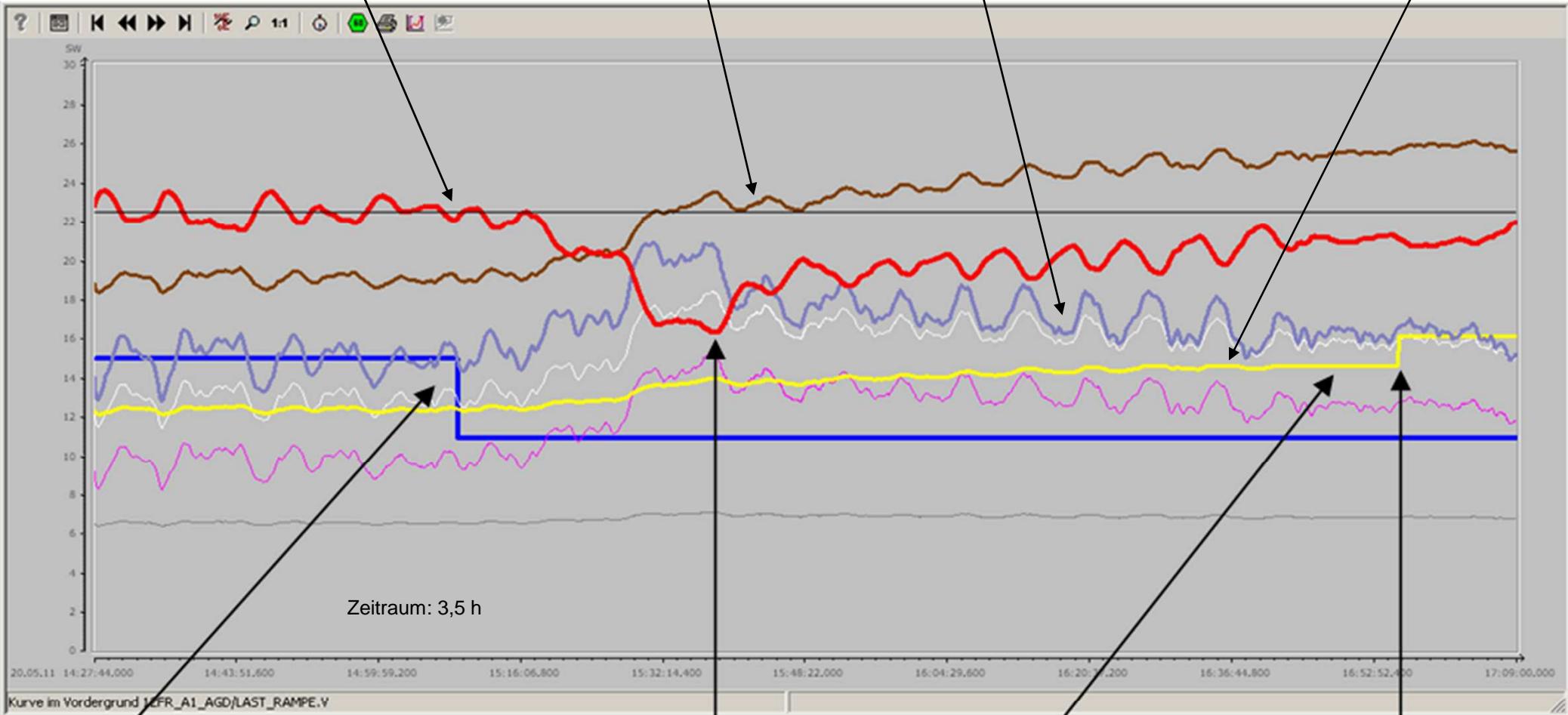


Dampfmenge Soll- und Istwert [ $\frac{t}{h}$ ]

Stellgröße Dampfreger  
Beschickung [%]

Stellgröße Dampfreger  
Rost [%]

Geschwindigkeit Beschickung [ $\frac{DH}{h}$ ]



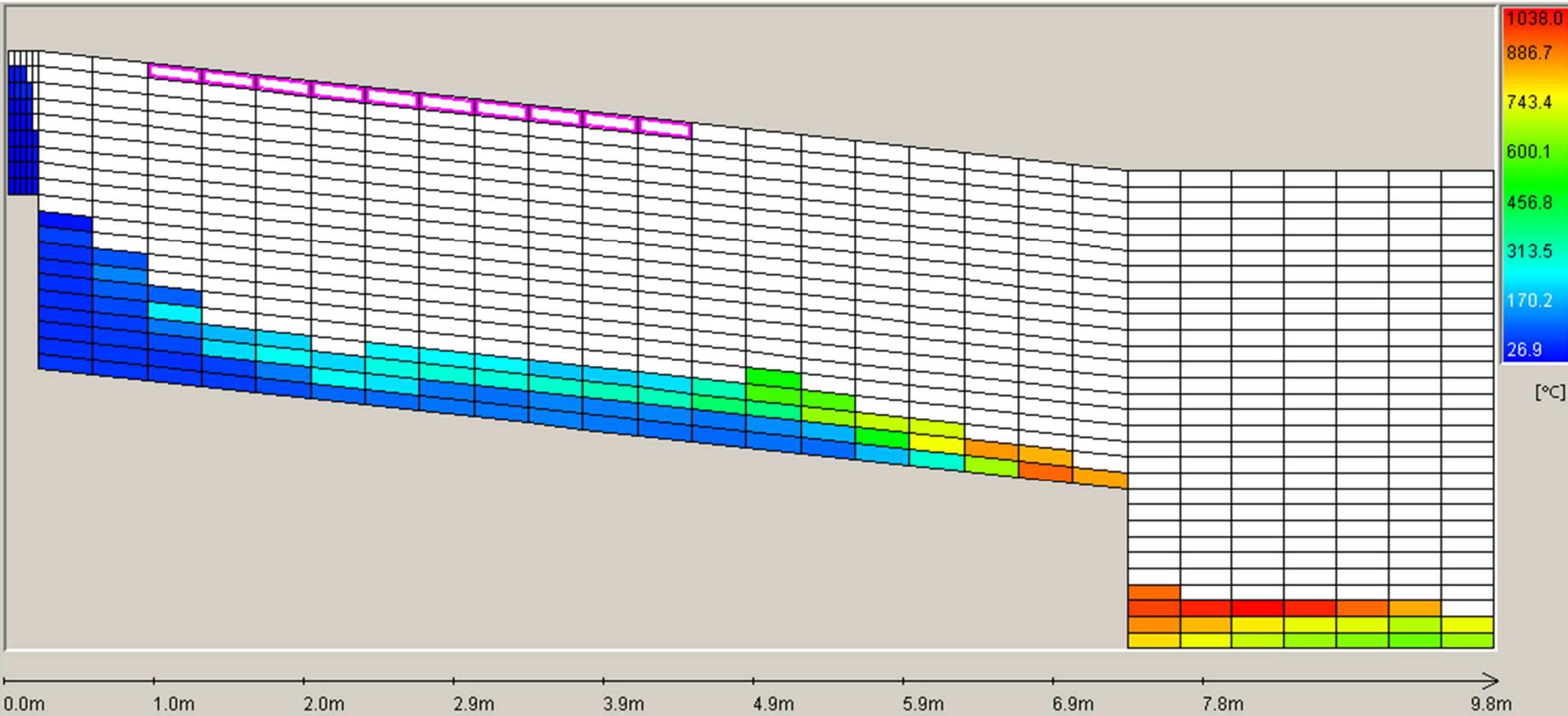
Sprunghafte  
Reduktion  $H_u$  von  
9,5 auf 7,8  $\frac{MJ}{kg}$

Inbetriebnahme  
Primärluft-LuVo,  
100 °C

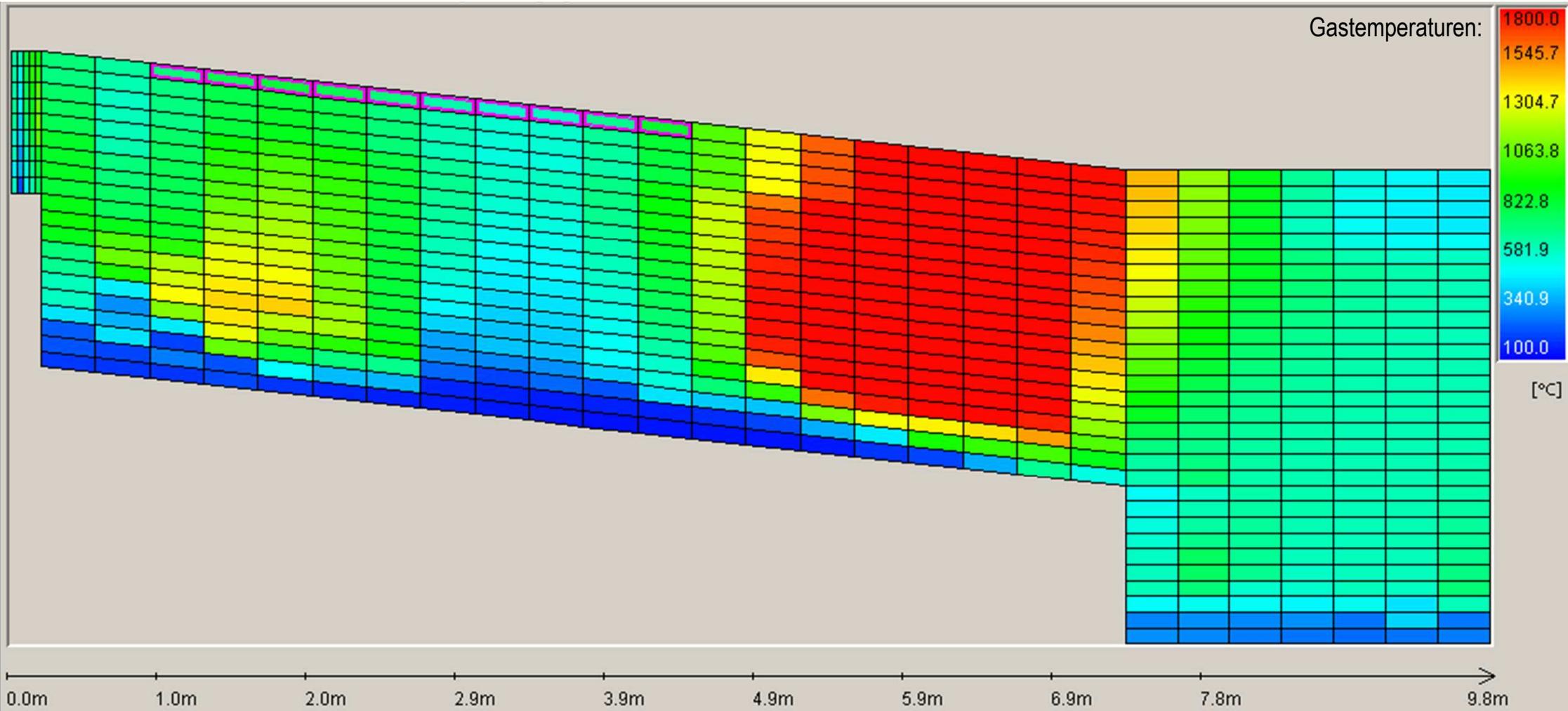
Beschickung  
auf Max. bei  
7,8  $\frac{DH}{h}$

Handeingriff, Erhöhung der  
Beschickgeschwindigkeit  
von 7,8 auf 8,6  $\frac{DH}{h}$

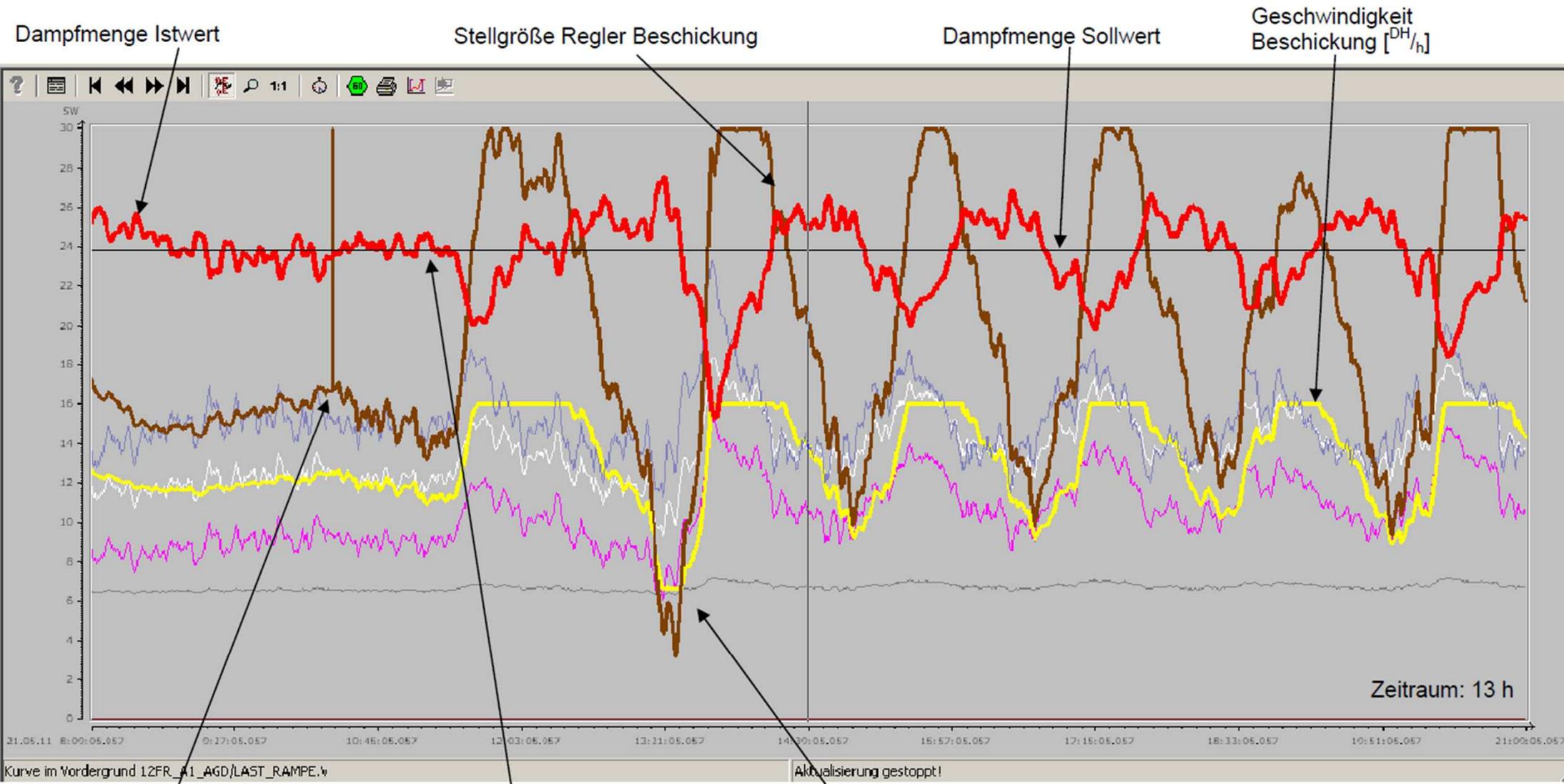
Schichthöhe auf dem Rost bei  $H_u = 7,8 \text{ MJ/kg}$ , Leistung = 100%



Feuerlage auf dem Rost bei  $H_u = 7,8 \text{ MJ/kg}$ , Leistung = 100%



Versuch der Regleroptimierung des Dampfregler für die Beschickung:  $k_p \nearrow$  und  $T_I \searrow$



Änderung der Reglerparameter (Erhöhung  $k_p$ , Verminderung  $T_I$ )

Heizwertwechsel (hoch zu niedrig)

Aufschwingen des Reglers

- **Parallelbetrieb:** Modell läuft „neben“ der Anlage her.
  - Validierung / Vergleich der berechneten Größen aus dem Modell mit den gemessenen Größen in der echten Anlage.
- **Simulationsbetrieb:** Modell und Feuerungsregelung sind gekoppelt, laufen beide auf einem Rechner, d.h. Anlage wird simuliert (Feuerungssimulator)
  - in-House-Test von Prozessleittechnik-Software.
  - ungefährliches Ausprobieren verschiedener Reglerparameter.
  - Vorkonfektionierung und Optimierung einer Feuerungsregelung.
  - Schulung und Training durch Simulation div. Ereignisse
- Einsatz als „**Soft-Sensor**“ im Rahmen von höherwertigeren Regelungsfunktionen.
  - Regelkreise mit Regelgrößen die nicht gemessen werden können.

- Modellierung von Systemen ist etabliert, Regelungstechnik ist etabliert, die Kombination von beiden ist eine relative neue Anwendung.
- Feuerungsmodell funktioniert grundsätzlich, d.h. auf die Daten „ist Verlass“.
- Kopplung mit FLR, OPC-Schnittstelle, Soft-SPS funktioniert, ist einfach und überschaubar.
- Was steht noch aus? Nachweis der Praxistauglichkeit!
- Konkret geplant ist die Modellierung einer MVA bis Ende 2011 (greenfield-Neubau, 50 MW<sub>th.</sub>, Mittelstromfeuerung, Vorschubrost 2-bahnig)
  - Kopplung der modellierten Anlage an die FLR
  - Vorkonfektionierung der Parametertabellen
  - Simulation der unterschiedlichen Betriebszustände.
- Inbetriebnahme dieser neuen MVA voraussichtlich 1. Quartal 2012

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

