

Betriebserfahrungen (2015 - 2021) mit modellbasierter Feuerungs- und Dampfkessel-Regelung

Markus Mayr, Berglandmilch, Wörgl (T)

Otto Heinrichsberger, Automation und Prozesstechnik, Pfaffstätten (NÖ)

Modellbasierte Feuerungsregelung (MBR)

- Modellbasierte Mehrgrößenregelung
- Entwicklung und Realisierung durch (2005-1015)



- Einsatz bei Warmwasser-, Thermoöl- und Dampfkessel-Anlagen mit Biomasse Feuerung

MBR – prinzipielle Funktionsweise

Mithilfe des Feuerungs- und Kesselmodells werden aus den Soll- und Istwerten von

- (1) Feuerraumtemperatur
- (2) O2-Gehalt RG
- (3) Dampfdruck
- (4) Kesselfüllstand

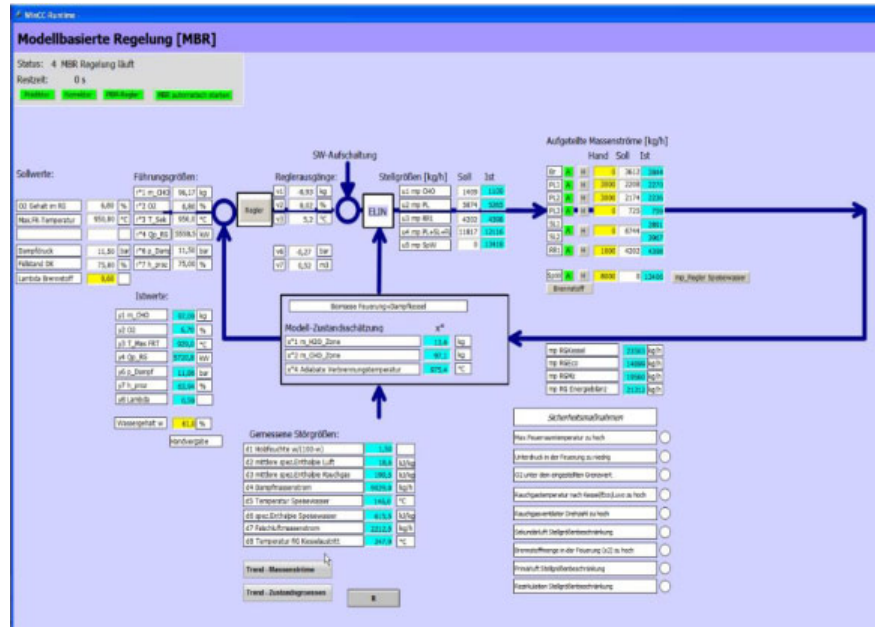
Sollwerte der notwendigen Stoffströme von

- (1) Primärluft (PL)
- (2) Sekundärluft (SL)
- (3) Rezirkulation (Rezi)
- (4) Kesselspeisewasser

berechnet und durch 4 Standard Software PI-Regler eingestellt.

Der Brennstoffmassenstrom (Schubsender, Rostgeschwindigkeiten)

wird durch P-Regelung so eingestellt, daß ein konstantes Brennstoff-Luftverhältnis λ (Sollwert) im Brennstoffbett entsteht.



Vergleich MBR mit Standard PID Regelung

| Eigenschaft | MBR | PID |
|--|-----------|---------|
| Berücksichtigt Kopplungen der Regel/Stellgrößen | Ja | Nein |
| Berücksichtigt messbare Störgrößen | Ja | Nein |
| Exakte Transformation in ein lineares dynamisches System | Ja | Nein |
| Erfüllt vorgegebene Stellgrößenbeschränkungen | Ja | Ja |
| Regelt modellprädiktiv und optimiert ein Gütekriterium (MPC) | Nein | Nein |
| Problemdiagnose/Problemlösung | Schwierig | Einfach |
| Robustheit | Niedrig | Hoch |
| Regelgüte | Hoch | Niedrig |
| Schwingungsneigung | Nein | Ja |
| Abhängigkeit vom Brennstoff-Feuchtigkeitsgehalt | Schwach | Stark |
| Inbetriebnahme | Schwierig | Einfach |

Stoßfreie Umschaltung zwischen beiden Regelungsvarianten ist immer möglich.

Wesentliche Erfolgsfaktoren

- Verlässlichkeit bei den Massenstrom-Messungen
 - > Kondensat in Luftschläuchen
 - > Verstopfung von Messleitungen durch Partikel (Asche)
 - > Drift von Messgeräten (Differenzdruck)
- Genauigkeit bei der O₂-Messung
 - > Falschlufteinträge können den O₂-Gehalt verfälschen
 - > Alterung der O₂-Sonde
- Messung der „wahren“ Feuerraumtemperatur vor dem Kesseleintritt
 - > NiCrNi Thermoelemente (4) – messen Wandtemperatur
 - > Temperaturkorrektur ist notwendig

Fallunterscheidungen:

| Pos. | u ₂ | u ₃ | u _{SL} | v ₂ | v ₃ | v ₄ | Typ | is |
|------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - |
| 1 | 0 | 0 | 1 | - | - | d | A.1 | * |
| 2 | 0 | 0 | -1 | u | - | - | C.1 | * |
| 3a | 0 | 1 | 0 | - | - | d | A.1 | * |
| 3b | 0 | 1 | 0 | u | - | - | C.1 | * |
| 4 | 0 | 1 | 1 | - | - | d | A.1 | * |
| 5 | 0 | 1 | -1 | u | - | d | C.3 | * |
| 6 | 0 | -1 | 0 | - | d | - | B.1 | * |
| 7 | 0 | -1 | 1 | - | d | d | B.2 | * |
| 8 | 0 | -1 | -1 | u | d | - | C.2 | * |
| 9 | 1 | 0 | 0 | - | - | d | A.1 | * |
| 10 | 1 | 0 | 1 | - | - | d | A.1 | * |
| 11 | 1 | 0 | -1 | u | - | d | C.3 | * |
| 12 | 1 | 1 | 0 | - | - | d | A.1 | * |
| 13 | 1 | 1 | 1 | - | - | d | A.1 | * |
| 14 | 1 | 1 | -1 | u | - | d | C.3 | * |
| 15 | 1 | -1 | 0 | - | d | d | B.2 | * |
| 16 | 1 | -1 | 1 | - | d | d | B.2 | * |
| 17 | 1 | -1 | -1 | u | d | d | C.4 | * |

- Begrenzungen (Ventilatoren, Schubsender) müssen im Modell berücksichtigt werden
 - > RG-Massenstrom MAX (RG-Ventilator)
 - > PL/SL/Rezi-Massenströme MAX (Ventilatoren)
 - > Rezi-Massenstrom MIN (nasser Brennstoff)

Lösung: Sollwerteformung von Dampfdruck und Feuerraumtemperatur oder einer Kombination davon durch Lösung linearer Gleichungssysteme
- Proaktive kontinuierliche Zusammenarbeit zwischen Betreiber und Entwickler



- Entkoppelung der Regelgrößen:

Sprünge in der der Dampfentnahme wirken sich nur gering auf die Verläufe von Dampfdruck, Feuerraumtemperatur, Sauerstoffgehalt und λ –Brennstoffbett aus.