



Prozess- und  
Umwelttechnik

## Ihr Partner für professionelle E-, MSR- und Leittechnik

### Liefer- und Leistungsspektrum:

Thermische  
Abfallbehandlungsanlagen

Ersatzbrennstoff- und  
Biomassekraftwerke

Fernwärmeerzeugung  
und -verteilung

Abluft- und  
Rauchgasreinigung

Wasseraufbereitung und  
Abwasserreinigung

Industriekraftwerke  
Engineering

### Geschäftsfelder SAR Group:

Automation  
Prozess- und Umwelttechnik

Prüf- und Messtechnik

IT-Services

Oberflächensysteme

Kunststoffsysteme

SAR realisiert als namhafter, unabhängiger Systemlieferant mit ca. 400 Mitarbeitern an verschiedenen nationalen und internationalen Standorten Projekte in der Industrie- und Prozessautomation.

Unsere Abteilung Prozess- und Umwelttechnik besitzt langjährige Erfahrung in allen Bereichen der thermischen Abfallverwertung.

Die von SAR entwickelte und patentierte Feuerleistungsregelung zeichnet sich durch Flexibilität, Offenheit und Transparenz aus. Sie ist an über 20 Verbrennungslinien für Abfall, Biomasse und Ersatzbrennstoffe erfolgreich im Einsatz.

SAR bietet kundenspezifische Komplettlösungen aus einer Hand inkl. Verfahrenstechnik, unter Verwendung eigener Entwicklungen und Produkte. Spezialisten unterschiedlicher Fachrichtungen entwickeln in projektbezogener Teamarbeit mit hohem Engagement und Eigenverantwortlichkeit.

Von der Analyse bestehender Anlagen, der Konzeption des Verfahrens, über die Entwicklung neuer Lösungen bis zur Inbetriebnahme und Wartung garantiert SAR ein durchgängiges, hohes Qualitätsniveau für zukunftssichere Lösungen mit hoher Investitionssicherheit.



**Modernisierung einer Feuerungsregelung hinsichtlich  
Steigerung der Anlageneffizienz und -verfügbarkeit  
– Ziele, Möglichkeiten und Grenzen  
am Beispiel des GKS Schweinfurt –**

Volker Müller und Martin H. Zwiellehner

1.	Einleitung .....	428
1.1.	Anlagenbeschreibung .....	428
1.2.	Anlagenrandbedingungen .....	429
2.	Aufgabenstellung Feuerungsregelung .....	430
3.	Reglerarten .....	434
3.1.	Regelungsgrundlagen .....	434
3.2.	Regelungssysteme .....	436
3.2.1.	PID-Regler .....	436
3.2.2.	Fuzzy-Regler .....	436
3.2.3.	Künstliche Neuronale Netze .....	437
3.2.4.	Modellprädiktive/Modellbasierte Regler .....	437
4.	Feuerungsregelung mit PID-Regler .....	438
4.1.	Anforderungen an die neue Feuerungsregelung (Software) .....	438
4.2.	Aufbau und Struktur .....	439
4.2.1.	Basistabellen und Vertrimmung .....	440
4.2.2.	Gewichtung und Sollwertgenerierung .....	441
5.	Einbindung in die übergeordnete Leittechnik .....	443
6.	Vergleich zwischen <i>Alt-</i> und <i>Neu-System</i> .....	444
6.1.	Veränderungen gegenüber dem <i>Alt-System</i> .....	444
6.1.1.	Luftführung .....	444
6.1.2.	Schichthöhenregelung .....	445
6.1.3.	Sauerstoffregelung .....	445
6.2.	Regelgüten .....	446
6.2.1.	Regelgüte der Dampfproduktion .....	446
6.2.2.	CO- und Sauerstoff-Werte am Kesselende .....	447
6.2.3.	Ausbrand- und Schlackequalität .....	449

6.3.	Handeingriffe durch das Fahrpersonal .....	449
6.4.	Weitere Ansätze für Optimierung .....	450
7.	Zusammenfassung .....	453
8.	Anwendungen in anderen Anlagen .....	453

## 1. Einleitung

Die Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt GmbH (GKS) betreibt im Grundlastwerk zwei Kohlekesselanlagen (IBS 1990) und drei Müllkesselanlagen (IBS 1994). Aufgabe der GKS ist es, die Fernwärmeversorgung der drei Schweinfurter Großbetriebe und der Stadt Schweinfurt sicherzustellen. Das Kraftwerk (Kohle und Müll) wird kraftwärmegekoppelt betrieben. Im Kohlekraftwerk wird deutsche Nusskohle als Primärenergieträger eingesetzt. In den thermischen Abfallbehandlungsanlagen (MVA) wird etwa zu 80 % Restmüll der kommunalen Anlieferer und 20 % haushaltsähnlicher Gewerbemüll behandelt.

Nach nun mehr als zwölf Betriebsjahren der MVA wurde ein Austausch der bestehenden Feuerungsregelung (FR) erforderlich, da im Zuge von zukünftig vorgesehenen Optimierungsmaßnahmen Veränderungen im Bereich der Feuerraumgeometrie, der Verbrennungsluftführung und -mengenströme realisiert werden sollen. Diese Änderungen, die einen erheblichen Eingriff in die Regelstruktur der bestehenden Feuerungsregelung erforderlich machen, ließen sich mit dem bestehenden *Alt*-System aufgrund fehlender Ressourcen und Programmquell-Codes nicht abbilden.

Auch war die Ersatzteilverfügbarkeit der sich im Einsatz befindlichen Steuerungshardware nicht mehr gewährleistet und somit sah der Betreiber die Anlagenverfügbarkeit gefährdet.

### 1.1. Anlagenbeschreibung

Die Feuerungen (Bauform Noell) sind jeweils mit drei voneinander unabhängig ansteuerbaren luftgekühlten Vorschubrosten (Einbahner mit einer wirksamen Rostbreite von 2,9 m) ausgestattet. Der Antrieb der Aufgabevorrichtung und der drei Roste erfolgt jeweils mit zwei hydraulisch betätigten Zylindern die über eine zentrale Hydraulik versorgt werden. An der linken und rechten Seitenwand sind luftgekühlte Plattenluftfelder installiert.

Die Feuerungsanlagen sind mit einem Primärluft-, einem Sekundärluft- und einem Rauchgas-Rezirkulationsgebläse ausgestattet. Die Primärluftmenge wird aus dem Müllbunker angesaugt und druckseitig in den Unterwind- und den Plattenluftstrang aufgeteilt. Jedem Strang ist ein dampfbeheizter Luftvorwärmer zugeordnet. Die Luftvorwärmung ist in der derzeitigen Betriebsfahrweise nicht zugeschaltet. Der Unterwind wird in fünf Unterwindzonen verteilt und unter den Rost geführt (Bild 1).

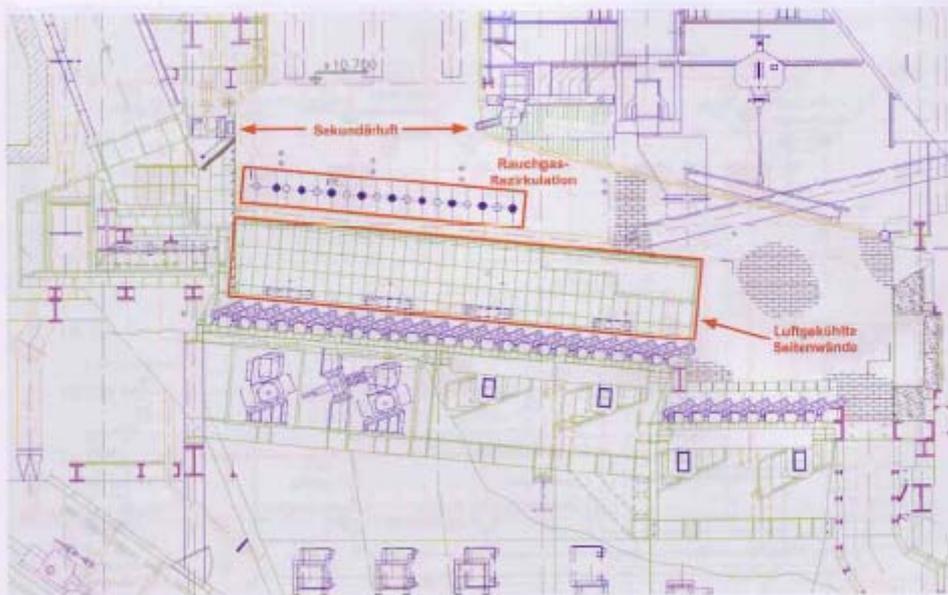


Bild 1: Längsschnitt der Feuerung

Die Plattenluft wird auf vier Plattenluftzonen aufgeteilt, wobei die Plattenluftzone 1 mit zwei Plattenluftfeldern an der Feuerungsseitenwand, Sturz 1, Sekundärluftbalken 1 und Aufgabevorrichtung die größte Plattenluftzone darstellt. Die Luftmengen der jeweiligen Unterwind- und Plattenluftzonen werden derzeit über Klappen geregelt, die Mengemessung erfolgt über Venturimessungen. Die Sekundärluft wird durch jeweils einen an Vorder- und Rückwand liegenden Luftbalken zugeführt. Die Verteilung zwischen dem vorderen und hinteren Sekundärluftbalken erfolgt über eine Drei-Wege-Klappe, bei der alten Feuerungsregelung nur über die Handvertrimmung am Bedien- und Beobachtungssystem.

Das Rauchgas-Resirkulationsgebläse dient bei An- und Abfahrvorgängen sowie bei Ansprechen der Kesselsicherheitskette als Saugzug und leitet die Rauchgase nach der Vorentstaubung über einen Bypass in den Kamin ab. Im Normalbetrieb wird vorentstaubtes Rauchgas durch die Membranwände auf der linken und rechten Kesselseite oberhalb der Plattenluftfelder durch jeweils neun Düsen eingeblasen (siehe Bild 1).

## 1.2. Anlagenrandbedingungen

Die Dampfmenge der MVA wird über eine gemeinsame Frischdampf-Sammelschiene auf zwei Turbinen zur energetischen Nutzung geleitet (Bild 2). Die Turbinen (bzw. die Umleitstationen) regeln den Systemdruck auf der Sammelschiene für die Müllkesselanlagen. Die Turbinen sind in ihrem Schluckvermögen auf jeweils 40 t/h Mülldampf begrenzt. Der an Turbine 1 installierte Kondensations- teil kann ebenfalls 40 t/h verarbeiten.

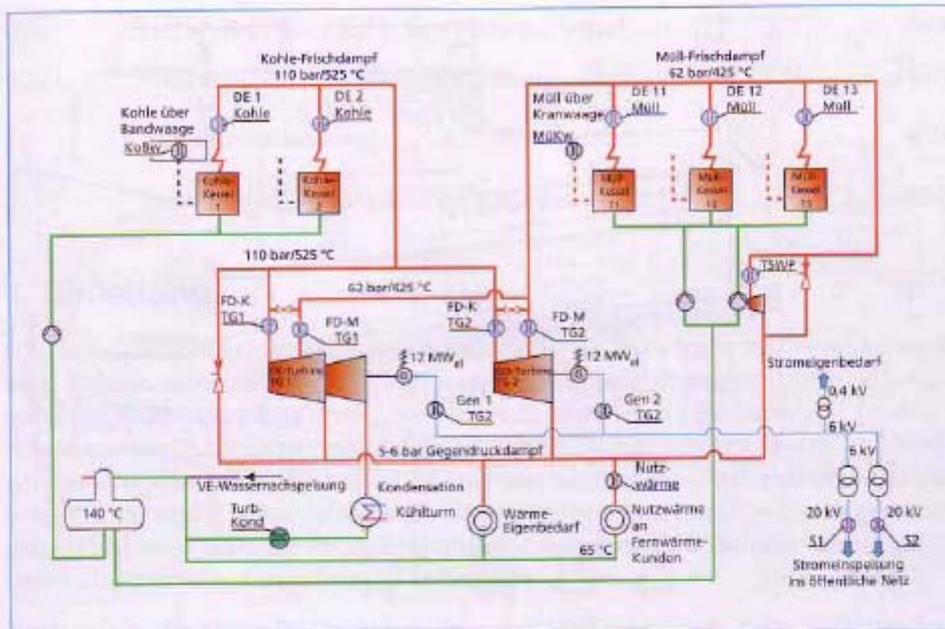


Bild 2: Blockschaltbild GKS Grundlastwerk

## 2. Aufgabenstellung Feuerungsregelung

Thermische Anlagen arbeiten innerhalb einer bestimmten Bandbreite der technisch möglichen Randbedingungen. Bei MVAs haben sich Feuerungsleistungsdiagramme (FLD) zur Beschreibung der Auslegungsbedingungen durchgesetzt (Bild 3). Innerhalb der im FLD beschriebenen Grenzen soll die Anlage unter allen üblichen Betriebsbedingungen arbeiten und möglichst wenig Handeingriffe des Bedienpersonals erforderlich machen.

Üblicherweise besteht die Aufgabenstellung für eine Feuerungsregelung darin über den Betriebszeitraum unter Berücksichtigung aller relevanten Randbedingungen (Heizwert, Zusammensetzung, Bedienpersonal, usw.) und Störgrößen eine konstante Wärmeentbindung zu erzielen. Hierbei ist die Einhaltung von durch die Feuerung beeinflussbaren Werten (z.B. Emissionswerte wie CO und NO<sub>x</sub> oder Feuerraumtemperaturen) sowie die weitestgehende Vermeidung von Beeinträchtigungen und Schäden für die Anlage (z.B. Belagsbildung, Korrosion) zu beachten.

Als Führungsgröße wird in der Regel die Dampfmenge in Form einer Sollwertvorgabe eingesetzt. Die Brennstoffwärmeleistung stellt grundsätzlich die richtige Führungsgröße für eine Regelung dar. Da aber hierbei gleich mehrere nicht unmittelbar messbare Größe enthalten sind (Heizwert, Brennstoffmassenstrom → starke Schwankungen durch Greiferbeschickung) bleibt die Frischdampfmenge (ermittelt über Differenzdruck-Messblende oder Staudruckmessung) mit den zugehörigen Parametern Druck und Temperatur als primäre Regelgröße.

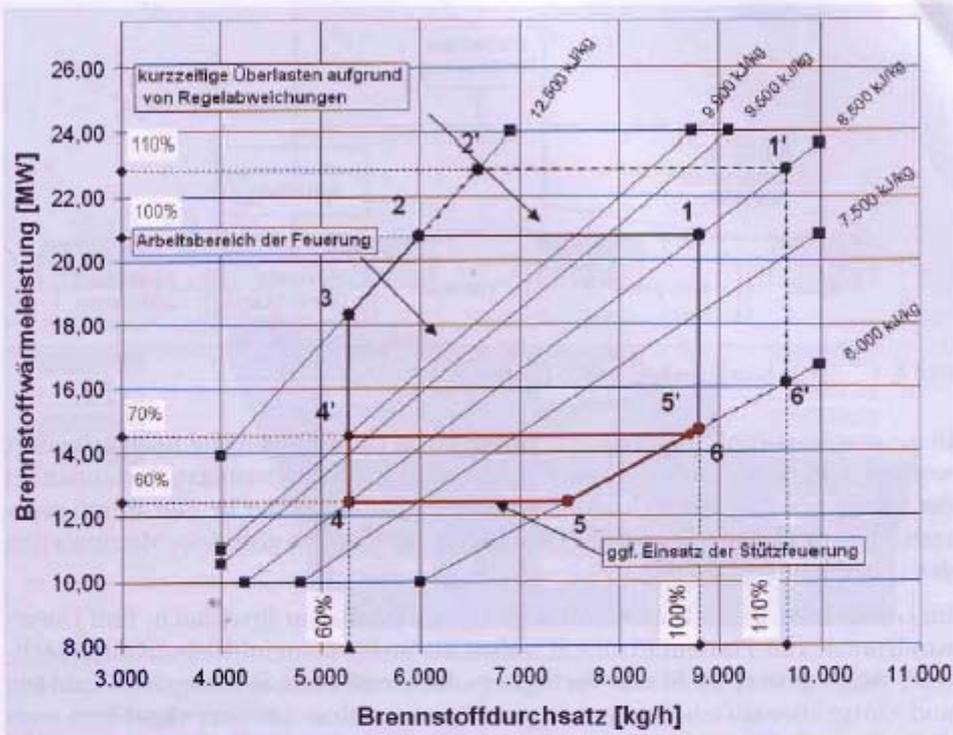


Bild 3: Feuerungsleistungsdiagramm nach Leistungserhöhung

Für die GKS Schweinfurt GmbH ist es auf Grund des Sammelschienen-Prinzips und des Schluckvermögens der Turbinen relevant, dass die Anlagen mit einem möglichst konstanten Dampfmassenstrom betrieben werden.

Auf Grund der brennstoffspezifischen Randbedingungen kann eine MVA nicht als *schnellregelbare* Feuerung zum Ausgleich von Schwankungen auf der Abnahmeseite eingesetzt werden.

Für den optimalen Betrieb einer MVA ist es notwendig, dass innerhalb der Systemgrenzen unter Berücksichtigung von

- Verhalten des Brennstoffes auf dem Rost (Entgasung und Abbrand),
- Transport (Rost),
- Verbrennungsluftsystem (Unterwind, Plattenluft und Sekundärluft)

das Regelverhalten der Stellgrößen effizient gestaltet wird. Nur so können Tendenzen in der Dampfproduktion effektiv in Richtung Sollwert beeinflusst werden. Weiterhin sind selbstverständlich die rauchgasseitigen Emissionswerte, die nicht durch die Rauchgasreinigung beeinflusst werden, relevant.

Auffällig ist, wie wenige Stellgrößen regelungstechnisch überhaupt vernünftig verwertbar sind. Eine grundsätzliche Übersicht gibt Bild 4.

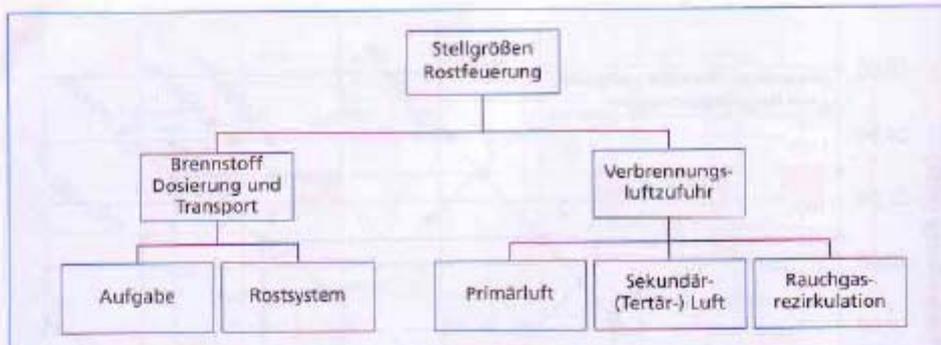


Bild 4: Grundsätzliche Stellgrößen für eine Rostfeuerung

Diese maximal fünf Stellgrößen können durch Untergliederung noch erweitert werden, z.B. durch mehrere voneinander unabhängig bewegbare Rostzonen (in der Länge, aber auch durch mehrbahnige Anordnung in der Breite), durch mehrere – getrennt regelbare – Unterwindzonen oder durch geregelte Manipulation der Unterwindtemperatur.

Im GKS (einbahniger Rost mit drei getrennt regelbaren Rostzonen, fünf Unterwindzonen, vier Plattenluftzonen) stehen als Stellgrößen im Wesentlichen sechzehn Aggregate (Bild 5) zur Verfügung, die jeweils mit Stellungsrückmeldung und Störgrößenaufschaltungen in geschlossenen Regelkreisen abgebildet werden müssen (Bilder 6 und 7).

Während die für den Betrieb der Anlage relevanten Stellgrößen vergleichsweise überschaubar sind, sind doch die Möglichkeiten der Ermittlung von Führungsgrößen vielfältig. Sie sind einerseits von der Reglerart und andererseits von der mehr oder weniger intelligenten Realisierung des Reglers selbst abhängig. Gerade bei letzterem gibt es erhebliche qualitative Unterschiede.

Feuerungsregelung			
Primäre Stellgröße	Sekundäre Stellgröße		
Transport	Verbrennungsluft		
Geschwindigkeit Aufgabe	UW Zone 1	Primärluftgebläse	
Geschwindigkeit Rost 1	UW Zone 2		
Geschwindigkeit Rost 2	UW Zone 3		
Geschwindigkeit Rost 3	UW Zone 4		
	UW Zone 5		
	Plattenluft Zone 1		
	Plattenluft Zone 2		
	Plattenluft Zone 3		
	Plattenluft Zone 4		
	Sekundärluft		Umwertellung Sekundärluft
<b>Anzahl:</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>2</b>

Bild 5: Stellgrößen-Übersicht für das GKS

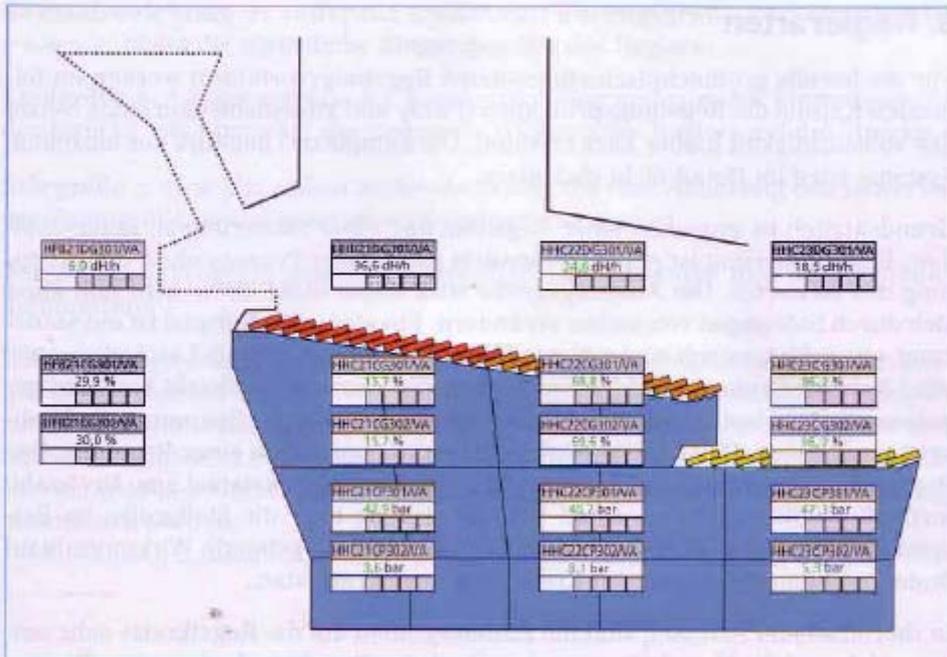


Bild 6: Stellgrößen Rost und Beschickung im GKS Schweinfurt (Visualisierung der Feuerungsregelung)

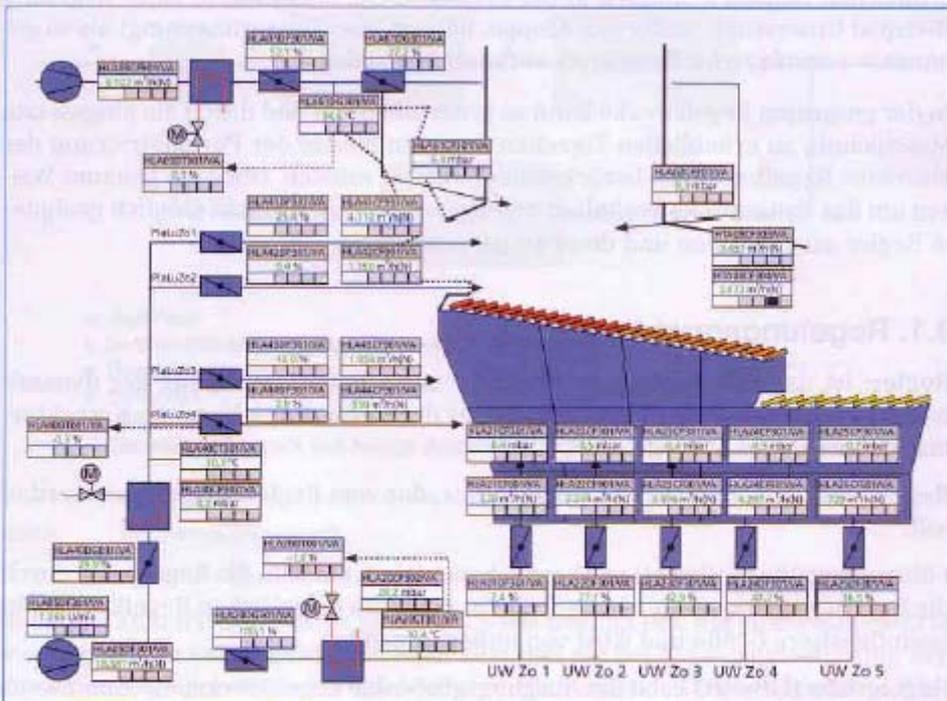


Bild 7: Stellgrößen Verbrennungsluft im GKS Schweinfurt (Visualisierung der Feuerungsregelung)

### 3. Reglerarten

Für die bereits großtechnisch eingesetzten Regelungsverfahren werden im folgenden Kapitel die Regelungsprinzipien (Fuzzy und künstliche neuronale Netze) der Vollständigkeit halber kurz erwähnt. Die komplexe Thematik der einzelnen Systeme wird im Detail nicht diskutiert.

Grundsätzlich ist zwischen einer Regelung und einer Steuerung zu unterscheiden. Eine Steuerung ist ein rein vorwärts gerichteter Prozess ohne Rückkopplung des Istwertes. Die Ausgangsgröße wird dabei nicht überwacht und kann sich durch Störungen von außen verändern. Ein einfaches Beispiel ist die Steuerung eines Motors mit einer einstellbaren Spannung. Durch Laständerungen wird sich die Drehzahl des Motors ändern. Soll nun die Drehzahl konstant gehalten werden, bedarf es einer Rückkopplung um über die Spannung die Drehzahl anzupassen. Diese Rückkopplung ist das Kennzeichen einer Regelung. Das Regeln ist ein Vorgang, bei dem die Ausgangsgröße, im Beispiel eine Drehzahl, fortlaufend überwacht wird und bei Abweichung über die Stellgröße, im Beispiel die Spannung, korrigiert wird. Der sich dabei ergebende Wirkungsablauf findet in einem geschlossenen Kreis, dem Regelkreis, statt.

In thermischen Prozessen sind die Einflussgrößen auf die Regelkreise sehr umfangreich und die Verschaltungen innerhalb der Regelstrecke komplex. Die von der Feuerungsregelung unter der Berücksichtigung der Störgrößen und Istwerte ermittelten Sollwerte müssen in der Prozessebene nochmals in einer Regelung (Beispiel Unterwind: Stellorgan Klappe, Istwert über Venturimessung) als so genannter *unterlagerter Regelkreis* verarbeitet werden.

In der gesamten Regelstrecke kann es prozessbedingt und durch die eingesetzte Messtechnik zu erheblichen Totzeiten kommen die bei der Parametrierung der einzelnen Regelbausteine berücksichtigt werden müssen. Ohne ein genaues Wissen um das dynamische Verhalten der Regelstrecke ist es nicht möglich geeignete Regler auszuwählen und diese zu parametrieren.

#### 3.1. Regelungsgrundlagen

**Regler:** Ist der Teil des Regelkreises, der unter Berücksichtigung der dynamischen Eigenschaften der Regelstrecke aus der Regelabweichung die Korrekturmaßnahmen zum Ausregeln ergreift.

**Regelstrecke:** Ist der Teil des Regelkreises, der vom Regler ausgeregelt werden soll.

**Führungsgröße (Sollwert)  $w$ :** Vorgegebener Wert, auf dem die Regelgröße durch die Regelung gehalten werden soll. Sie ist eine vom eigentlichen Regelkreis nicht beeinflussbare Größe und wird von außen zugeführt.

**Regelgröße (Istwert)  $x$ :** Ist die Ausgangsgröße der Regelstrecke, die zum Zweck des Regels erfasst und zum Vergleich rückgeführt wird. In der Rückführung ist noch eine Messeinrichtung (Sensor) installiert, die den Istwert erfasst.

**Regelabweichung  $e$ :** Differenz zwischen Führungsgröße und Regelgröße  $e = w - x$ , bildet die eigentliche Eingangsgröße des Reglers.

**Stellgröße  $y$ :** Ausgangsgröße der Regeleinrichtung und zugleich Eingangsgröße der Strecke. Sie überträgt die steuernde Wirkung des Reglers auf die Strecke.

**Störgröße  $z$ :** Eine von außen wirkende Größe, die eine Änderung des Istwertes der Regelgröße bewirkt und einen Regelvorgang auslöst.

**Totzeit  $T$ :** Verzögerungen durch Regelstrecke, Sensorik und Messgrößen-aufbereitung

In thermischen Anlagen sind die Einflussgrößen auf die Regelkreise (Bild 8) deutlich umfangreicher und die Verschaltungen innerhalb der Regelstrecke komplexer. Die von der Feuerungsregelung unter Berücksichtigung der Störgrößen und Istwerte ermittelten Sollwerte müssen in der Prozessebene nochmals in Regelkreisen (Beispiel Unterwind: Stellorgan Klappe, Istwert über Venturimessung) verarbeitet werden.

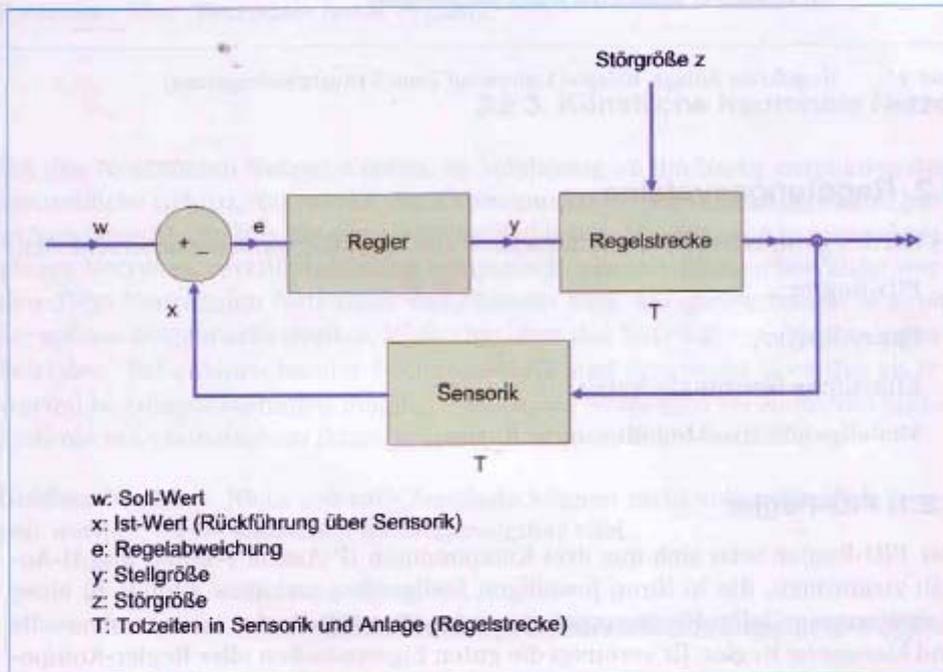


Bild 8: Regelkreis (Standard)

In der gesamten Regelstrecke kann es prozessbedingt und durch die eingesetzte Messtechnik zu erheblichen Totzeiten kommen die bei der Parametrierung der einzelnen Regelbausteine berücksichtigt werden müssen. Ohne ein genaues Wissen um das dynamische Verhalten der Regelstrecke ist es nicht möglich geeignete Regler auszuwählen und diese zu parametrieren (Bild 9).

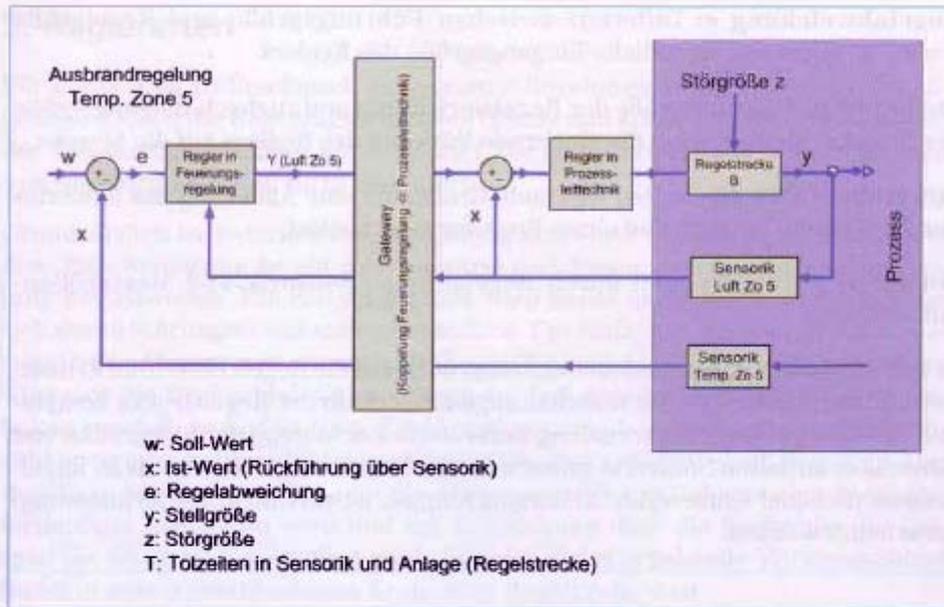


Bild 9: Regelkreis Anlage, Beispiel Unterwind Zone 5 (Ausbrandregelung)

## 3.2. Regelungssysteme

Es werden grundsätzlich vier unterschiedliche Regelungssysteme unterschieden:

- PID-Regler,
- Fuzzy-Regler,
- Künstliche Neuronale Netze,
- Modellprädiktive/Modellbasierte Regler.

### 3.2.1. PID-Regler

Der PID-Regler setzt sich aus drei Komponenten (P-Anteil, I-Anteil und D-Anteil) zusammen, die in ihren jeweiligen Stellgrößen meistens additiv zu einer gemeinsamen Stellgröße verarbeitet werden. Der PID-Regler ist der universelle und klassische Regler. Er vereint die guten Eigenschaften aller Regler-Komponenten – der PID-geregelte Kreis ist genau und sehr schnell.

Der Einsatz des PID-Reglers in MVA-Feuerungsregelungen ist die *konventionelle* Regelungsart.

### 3.2.2. Fuzzy-Regler

Ein Fuzzy-Regler ist ein nichtlinearer Kennfeld- oder Zustandsregler. Dieser bietet bei einfachen Systemen eine hohe Transparenz bei gleichzeitiger Flexibilität.

Der Fuzzy-Regler eignet sich daher sehr gut dafür, Anwenderwissen (so genanntes *Expertenwissen*) in einen Regler umzusetzen ohne dabei ein kompliziertes Systemmodell erstellen zu müssen. Voraussetzung ist allerdings, dass das erforderliche Wissen zur Verfügung steht.

Wenn, wie beispielsweise beim GKS Schweinfurt, die Feuerungsregelung zu nahezu 100 % im Automatikbetrieb (abgesehen von Vertrimmungen) läuft, ist die Frage, wo dieses erforderliche Wissen herkommt? Mittlerweile sind ausreichende Erfahrungen im MVA-Bereich mit diesem Regelungssystem vorhanden, sodass diese Wissenslücke durch den Regelungsspezialisten ausgeglichen werden kann.

Der Fuzzy-Regler bestimmt die Ausgangsgröße aus der Regelabweichung durch Abarbeitung von drei Schritten: Fuzzyfizierung, Fuzzy-Inferenz, Defuzzyfizierung.

Eine Weiterführung von Regelungskonzepten sieht eine Kombination aus Fuzzy-Regler und künstlichen Neuronalen Netzen vor. Die rein fuzzy-basierenden Regelgrenzen werden hierbei zusätzlich durch die Bewertung des aktuellen Anlagenzustandes über Neuronale Netze ergänzt.

### 3.2.3. Künstliche Neuronale Netze

Bei den Neuronalen Netzen werden, in Anlehnung an die Natur respektive das menschliche Gehirn, Netzwerke von Knotenpunkten (Neuronen) aufgebaut. Diese Neuronen bearbeiten einzelne einfache Aufgaben. Miteinander zu einem komplexen Netzwerk verknüpft können komplexe Regelungsaufgaben bewältigt werden. Dem Neuronalen Netz muss das Prozess- bzw. Anlagenverhalten in einer Lernphase beigebracht werden. Weiterhin lernt das Netz während des Anlagenbetriebes. Bei entsprechender Rechenleistung sind Prognosen über das zu erwartende Anlagenverhalten möglich. Neuronale Netze sind im weitesten Sinne Systeme mit statistischem Hintergrund.

**Größter Nachteil:** Nicht gelernte Zustände können nicht vollumfänglich geregelt werden, da sie statistisch nicht auswertbar sind.

### 3.2.4. Modellprädiktive/Modellbasierte Regler

Grundlage für diesen Reglertyp sind physikalisch-chemische Modelle, die die Vorgänge im Prozess abbilden. Modellprädiktive Regler sind in der Lage auf der Basis der Modelle das Verhalten einer Anlage vorherzusagen. Sie sind selbst eigenständige Regler. In der Regel gibt es noch Probleme mit der Güte des Modells in Relation zur realen Anlage. Modellbasierte Regler setzen auf einem der vier Regelsysteme (in der Regel auf einem PID-Regler) auf und nutzen ein Modell, um z.B. nicht oder ungenau messbare Größen zu berechnen und als zusätzliche *Sensor-Größen* einzuwirken.

## 4. Feuerungsregelung mit PID-Regler

GKS hat sich für den Einsatz einer auf PID-Basis arbeitenden Regelung entschieden. Die Gründe für diese Entscheidung waren:

1. Es handelt sich um ein offenes System – keine *Black-Box* – welches keine standardisierte Schubladenlösung darstellt sondern auf jede Anlage ideal angepasst wird.
2. Die Zusammenhänge der verschiedenen Einflussgrößen lassen sich mit PID-Regelbausteinen gut beschreiben.
3. Transparente und jederzeit nachvollziehbare Regeleingriffe, was zu einer hohen Akzeptanz beim Bedienpersonal führt.
4. Physikalische Zusammenhänge und kinetische Abläufe sind mathematisch zu beschreiben.
5. Modellbasierte Informationen können leicht als zusätzliches Modul integriert werden.
6. Die Regelung der gesamten Kraftwerkstechnik basiert im GKS auf PID-Regelbausteinen, somit ist im leittechnischen Bereich ausreichendes Know-how vorhanden, um bei Bedarf das Regelsystem an Veränderungen der Betriebsbedingungen anzupassen.
7. Das Regelkonzept und das Einwirken der Regelung sind dem Betriebspersonal gut plausibel zu machen. *Der Anlagenfahrer versteht, was die Anlage macht und kann falls notwendig überlegt eingreifen, wodurch er auch in Grenzbereichen noch ein Gefühl für die Anlage hat.*
8. Maximale Flexibilität hinsichtlich Integration in den bestehenden Leittechnikverbund.

### 4.1. Anforderungen an die neue Feuerungsregelung (Software)

Die Konzeption der neuen Feuerungsregelung zeichnet sich durch nachstehende Punkte aus:

- **Strukturierte**, einfache und nachvollziehbare Parametrierung
- **Offene, transparente Programmstrukturen**, der Programm-Quellcode ist offen zugänglich
- Beliebige Hierarchie-Ebenen, jeweils durch Passwort geschützt
- Archivierung von Prozess- und Reglerdaten mit Exportfunktion in die Bürowelt
- Grafische Visualisierung der Reglerausgänge über Zeiträume
- Möglichkeit zur Fernwartung und Einbindung in das Büronetzwerk
- Modularer Programmaufbau mit ausreichenden Platzreserven für Erweiterungen

- Zusätzliche Koppelmöglichkeit von Fremdsystemen bzw. Integration von anderen Anlagenteilen (im Fall GKS Schweinfurt wurde die Hydraulikanlage zur Ansteuerung der Rosthydraulik in die Feuerungsregelung integriert)

## 4.2. Aufbau und Struktur

Die Parametrierung erfolgt über die Bedienstation bzw. über Web-Anbindung in der Bürowelt. Softwareänderungen werden an der Engineering-Station durchgeführt. Für das Fahrpersonal steht in der Warte ein zusätzlicher Visualisierungsmonitor zur Verfügung. Hier können alle Bedien- und Parametrierbilder sowie die zugehörigen Melde-Folge-Anzeigen (MFA), im Wesentlichen die Fehlermeldungen aus der ebenfalls neu integrierten Hydrauliksteuerung, angezeigt werden.

Die eigentliche Bedienung der Gesamtanlage erfolgt über die Bedienstationen der zentralen Leittechnik. Hier sind alle für den Betrieb der Anlage relevanten Größen und Stellorgane bedienbar.

Die Feuerungsregelung ist strukturiert und modular aufgebaut (Bild 10). Es wird nach **Transport** (mittelfristige und langfristige Beeinflussung) und **Verbrennungsluftführung** (kurzfristige Beeinflussung) unterschieden.

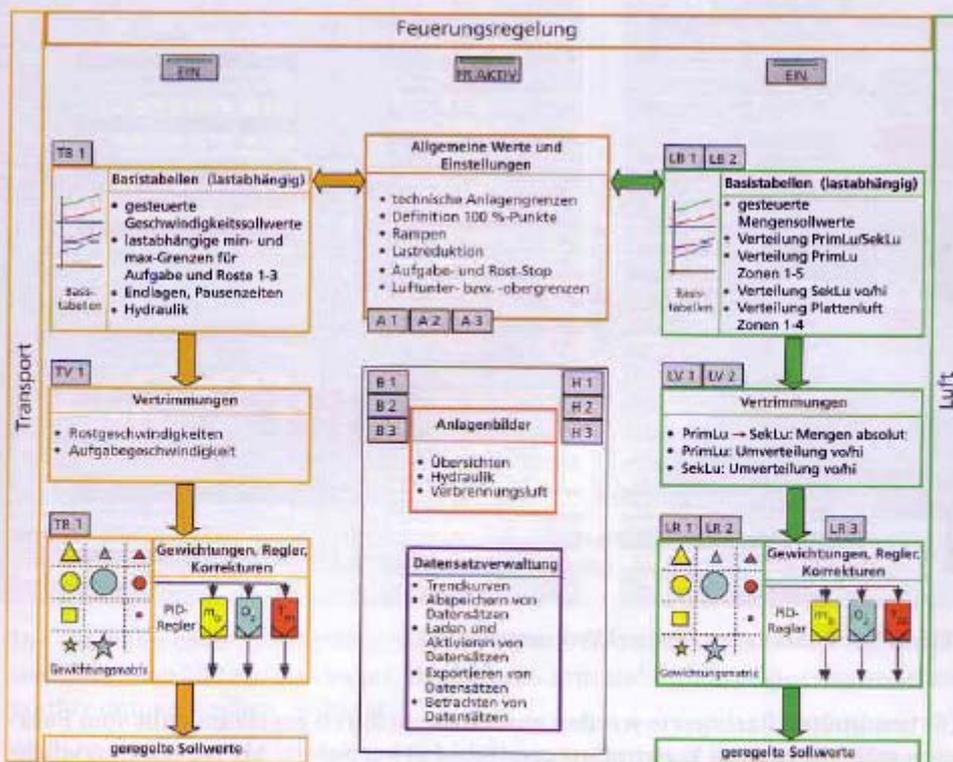


Bild 10: Modularer und strukturierter Aufbau der Feuerungsregelung

Für jeden Bereich sind jeweils vorhanden:

- lastabhängige Basistabellen,
- Vertrimmungen,
- Gewichtungen der Reglerbausteine mit Sollwertausgabe.

Zusätzlich sind allgemeine Grenzkriterien, Sicherheitsgrenzen und Rampenfunktionen definiert. Trendaufzeichnungen mit vordefinierten Größen sind ebenfalls abzurufen. Über entsprechende Sprungmarken gelangt man zu den jeweiligen Parametrierbildern.

#### 4.2.1. Basistabellen und Vertrimmung

Für jeden Funktionsbereich (Transport und Verbrennungsluft) sind entsprechende Tabellen generiert, in denen für verschiedene Lastpunkte entsprechende Basiswerte (Bild 11) festgelegt sind. Befindet sich die Anlage in einem Lastpunkt zwischen zwei Stützpunkten so wird entsprechend linear interpoliert.

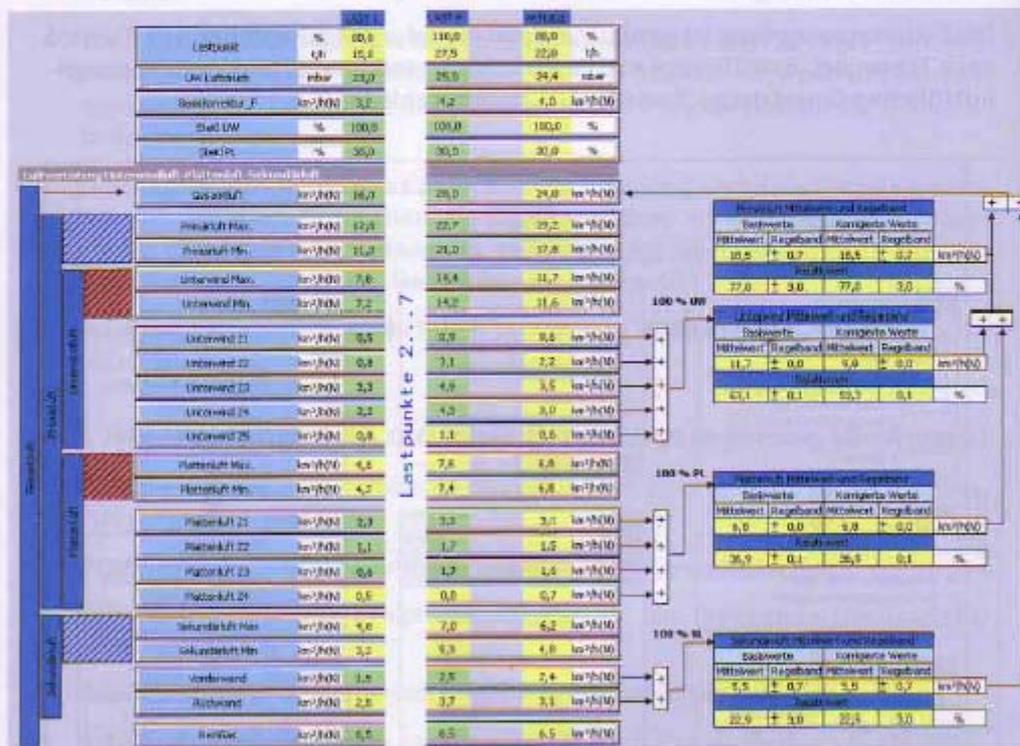


Bild 11: Basistabellen (Beispiel Verbrennungsluft)

Die ermittelten Basiswerte werden anschließend durch gegebenenfalls vom Fahrpersonal eingestellte Vertrimmungen (Bild 12) korrigiert. Als Vertrimmmöglichkeit sind im Unterwind- und Plattenluftbereich sowohl jeweils die Menge als auch das Profil entlang des Rostes (kürzeres oder längeres Feuer) möglich.

## Modernisierung einer Feuerungsregelung

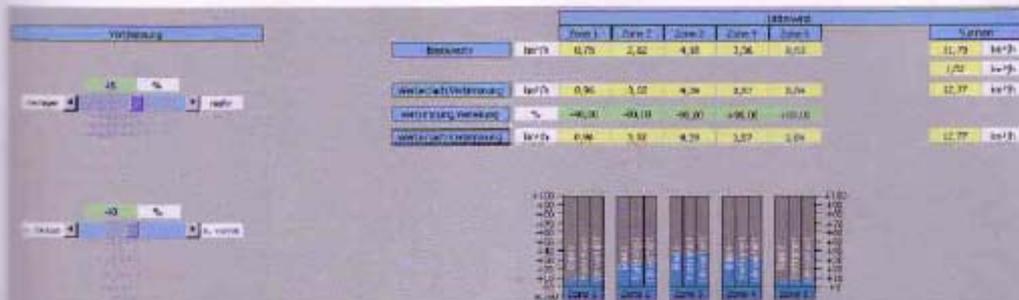


Bild 12: Verdrimmungen (Unterwind Menge und Profil)

Im Bereich Transport sind Verdrimmöglichkeiten für die Aufgabe, Rost 1, 2 und 3 getrennt vorhanden.

### 4.2.2. Gewichtung und Sollwertgenerierung



Bild 13: Gewichtung der einzelnen Regler auf die entsprechenden Stellorgane (Beispiel Unterwindzonen, Gesamtluft und Unterwind gesamt)

Die verschiedenen Regelgrößen werden mittels Gewichtungsfaktoren auf die jeweilige Stellgröße aufgeschaltet. Die hieraus ermittelten Korrekturwerte bilden additiv den geregelten Sollwert.

Diese Darstellung ist für jeden Parameter bzw. für jedes System abrufbar. Sie stellt einfach und übersichtlich die entsprechenden Parameter dar (Bilder 15 und 16).

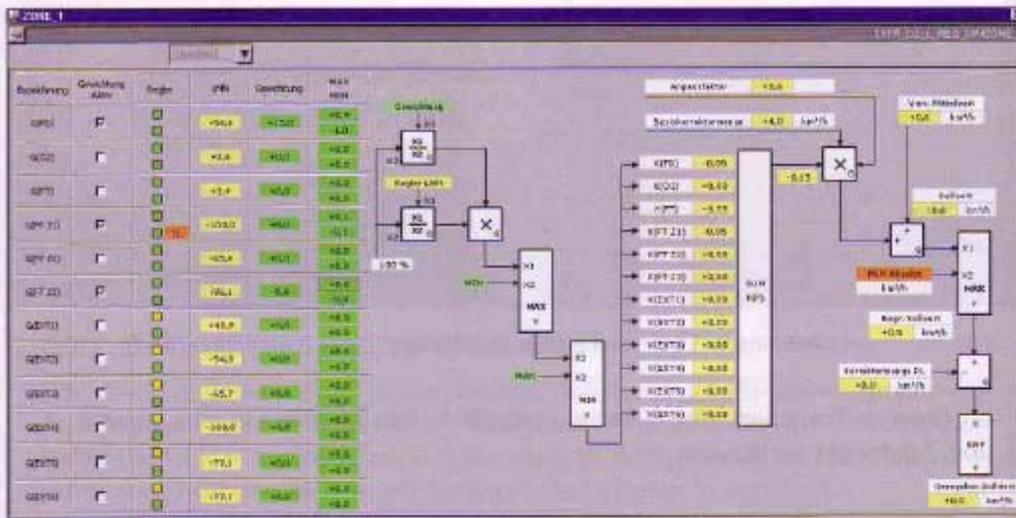


Bild 14: Detail der Korrekturwertermittlung (Beispiel Unterwind Zone 1)

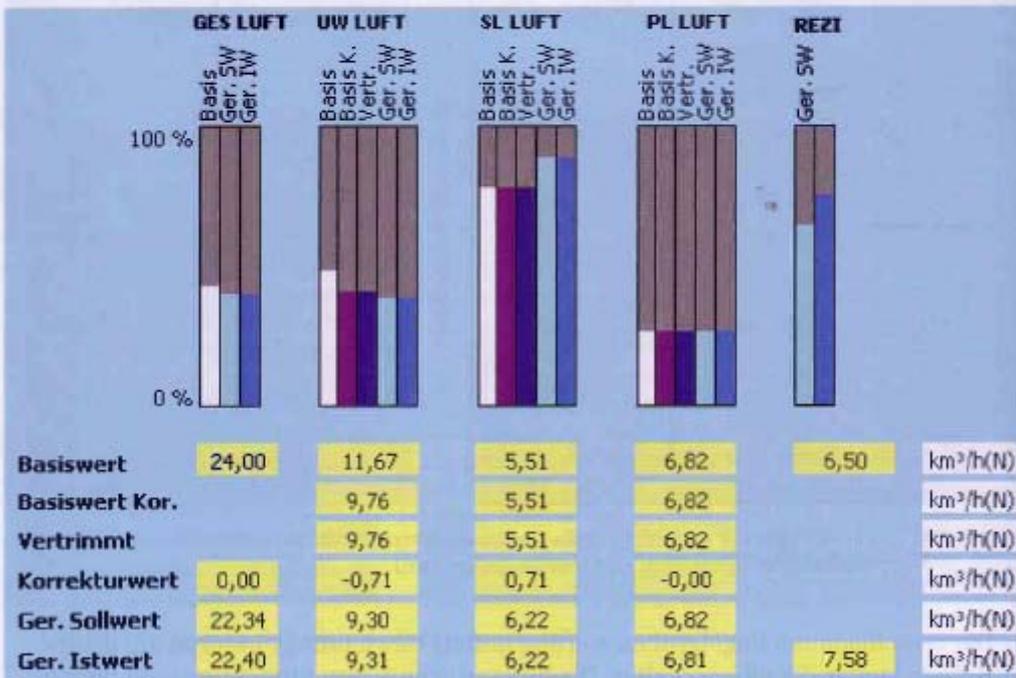


Bild 15: Darstellung Basis-Werte, Vertrimmungen, Korrektur durch Regler, Soll-Wert, Ist-Wert (Beispiel Übersicht Verbrennungsluft)

## Modernisierung einer Feuerungsregelung

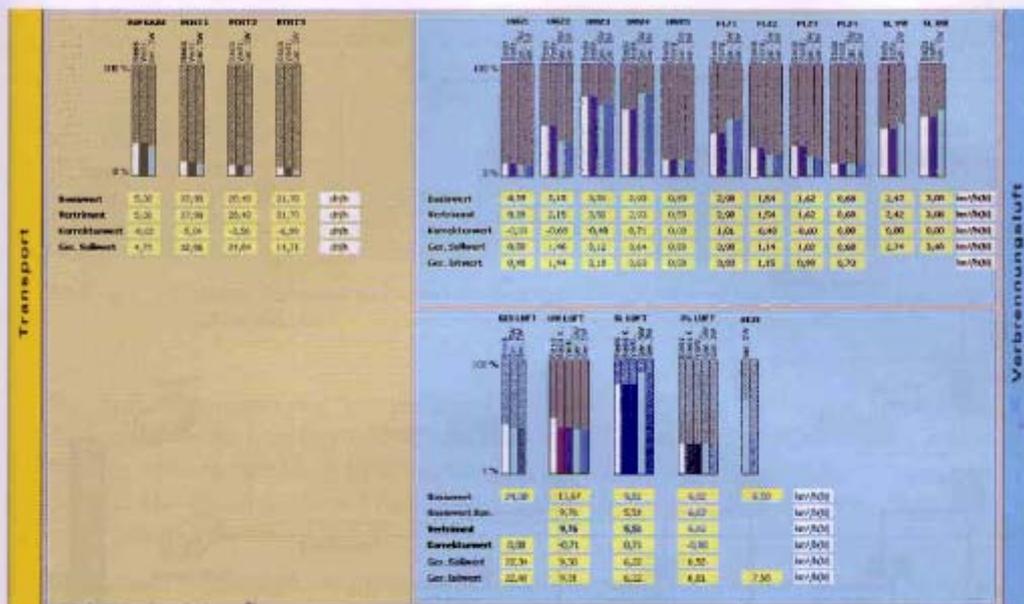


Bild 16: Gesamtübersicht Basis-Werte, Vertrimmungen, Korrektur durch Regler, Soll-Wert, Ist-Wert

## 5. Einbindung in die übergeordnete Leittechnik

Grundsätzlich können Fremdsysteme über verschiedene Möglichkeiten an die Prozessleittechnik angekoppelt werden. Als Schnittstellen stehen offene Systeme wie OPC-Server und -Client-Systeme, Gateways usw. zur Verfügung.

Werden Regelungssysteme als *Black-* oder wie in diesem Fall als *White-Box* an eine übergeordnete Leittechnik gekoppelt, so werden mehrere Regelkreise hintereinander geschaltet.

Die Feuerungsregelung gibt einen Sollwert über die Schnittstelle auf den Anlagenbus/Baugruppe. Innerhalb der Baugruppe werden der Sollwert und der Ist-Wert innerhalb eines PID-Reglers als geschlossener Regelkreis verarbeitet. Auf Grund dessen ist es relevant, dass beide Regelkreise (Regler der Feuerungsregelung und Regler der Leittechnik) aufeinander abgestimmt werden und innerhalb des Regelkreises in der Leittechnik keine bzw. eine unrelevante bleibende Regelabweichung besteht.

Die Ankoppelung (Bild 17) der auf Simatic PCS 7 basierenden Feuerungsregelung erfolgt linienbezogen jeweils über ein spezielles Gateway welches Industrial Ethernet auf den CS 275-Teleperm-Bus umsetzt.

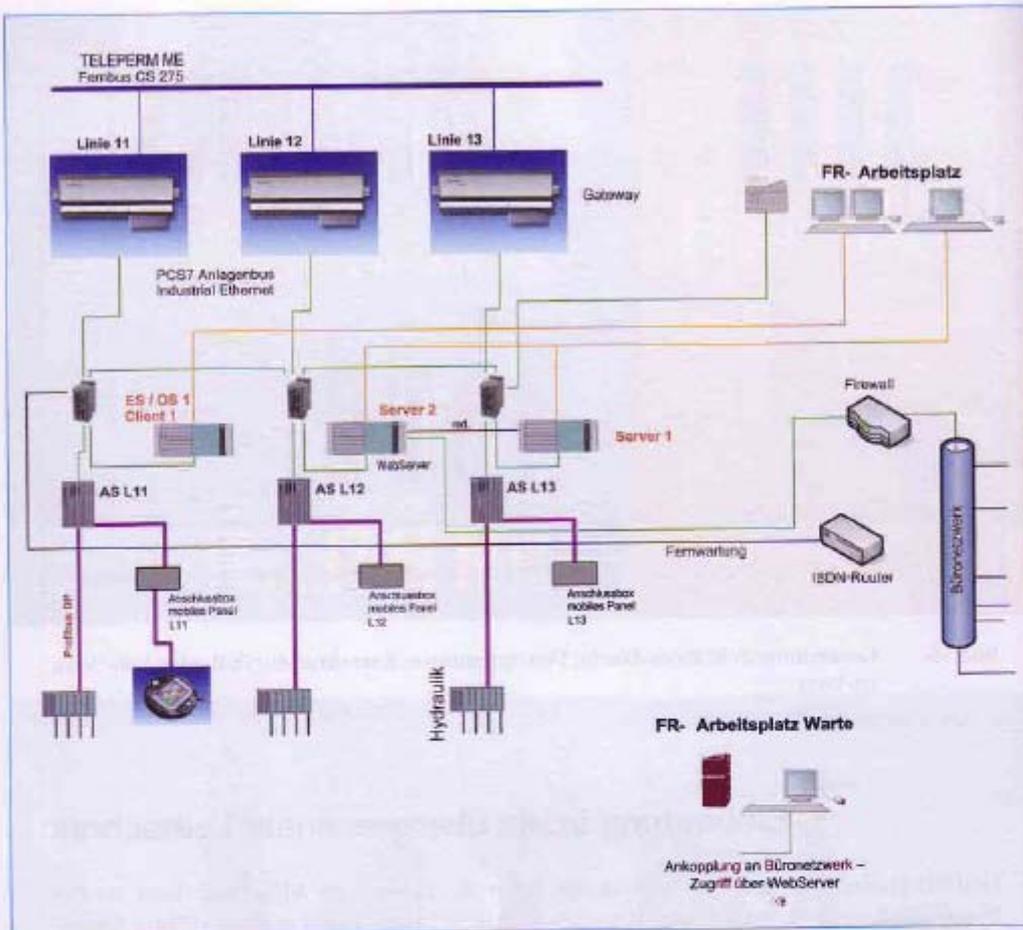


Bild 17: Schematische Darstellung der LT-Einbindung

## 6. Vergleich zwischen *Alt-* und *Neu-System*

### 6.1. Veränderungen gegenüber dem *Alt-System*

#### 6.1.1. Luftführung

Die in Noell-Feuerungen übliche gestufte Verbrennung – d.h. zwischen Unterwind und Plattenluft wird bei konstanter Dampfleistung und z.B. sinkendem Heizwert des Brennstoffes Verbrennungsluft aus dem Plattenluftbereich in den Unterwind verschoben (bei steigendem Heizwert umgekehrt) – wurde modifiziert.

Die neue Regelung verschiebt Mengen innerhalb des Unterwind-Systems abhängig von der Energieentbindung von UW-Zone 2 zur UW-Zone 4 (Bild 18).

Gewichteter Regelung Unterwind										
	ZONE 1		ZONE 2		ZONE 3		ZONE 4		ZONE 5	
	Gewichtung / Korrekturfakt.		Gewichtung / Korrekturfakt.		Gewichtung / Korrekturfakt.		Gewichtung / Korrekturfakt.		Gewichtung / Korrekturfakt.	
Reichhöhe	+15,0	-0,04	+6,2	-0,23	+11,0	-0,14	+6,0	+6,22	+6,0	+0,00
70 Luft	+0,0	+0,00	+15,4	-0,11	+20,0	-0,01	-25,0	+4,01	+0,0	+0,00
77 Luft	+0,0	+0,00	+2,0	+0,00	+0,0	+0,00	-7,0	-0,00	+0,0	+0,00
Feuertemp. Z1	+15,0	-0,05	+6,0	+0,00	-9,0	+0,02	-2,0	+6,00	+5,0	+0,00
Feuertemp. Z2	+0,0	+0,00	+0,0	+0,00	+0,0	+0,00	+0,0	+0,00	+5,0	+0,00
Feuertemp. Z3	-5,0	+0,00	+10,0	+0,10	-4,0	+0,00	+15,0	+0,00	+0,0	+0,00

Bild 18: Einfluss Temperatur Kessel-Eintritt und Temperaturen über Rostlänge auf Unterwindverteilung

Die Aufschaltungen der Temperaturen entlang der Roste (UW-Zone 1 bis 3) auf die Luftverteilung ist berücksichtigt. Allerdings ist an der Ausführung der bestehenden Messstellen noch Optimierungsbedarf vorhanden, da sich die Messfenster der IR-Messungen zu schnell durch Schlackenschmelzfluss bzw. Staubablagerungen zusetzen können.

Im System Plattenluft erfolgt nur noch eine Verschiebung innerhalb des Systems bei Überschreitungen von Konstruktionstemperaturen. Somit wird mit beiden Maßnahmen eine Reduzierung der Plattenluftmengen insbesondere in der ersten Zone erreicht. Dieses hat den positiven Effekt, dass aufgrund der geringeren Luftmengen in diesem Bereich die freigesetzten Flüchtigen aus dem Brennstoff nicht sofort durchzünden und zu einem Anstieg der Temperaturen in diesem Bereich führen.

### 6.1.2. Schichthöhenregelung

Bei der *alten* Feuerungsregelung wurde versucht über eine Mittelwertbildung der Hydraulikdrücke im Vor- und Rückhub auf die Schichthöhe des Müllbettes zu schließen. Da sich die Druckverläufe über die Reisezeit verändern und mechanische Einflüsse wie Buntmetallaufschweißungen auf dem Roststabbrücken wesentlich deutlicher bemerkbar machen als die Schichthöhe, war diese Einflussgröße nahezu zu Null gewichtet.

Bei der *neuen* Regelung wurden im Unterwindbereich zusätzliche Druckmessungen installiert, um über diesen Wert auf die Schichthöhe des Müllbettes zu schließen. Auch dieses System zeigt bei unseren Rosten nicht das gewünschte Ergebnis. Der Druck in Unterwindzonen lässt keinen reproduzierbaren Rückschluss auf die Schichthöhe zu. Somit ist der Schichthöhen-Regelkreis auch bei der neuen Feuerungsregelung nicht aktiv.

### 6.1.3. Sauerstoffregelung

Der Sauerstoffgehalt konnte bei der alten Regelung über verschiedene Module geregelt werden. Neben einer anfänglichen Polygonzug-Regelung (Veränderung Gesamtluft über  $O_2$ ) war eine über Gradienten bewertete Regelung des Sauerstoffwertes aktiv.

Die neue  $O_2$ -Regelung basiert auf Basistabellen mit entsprechenden Stützpunkten über der Kessellast. Während der Inbetriebnahme wurde auch versucht, den  $O_2$ -Sollwert als gleitenden Mittelwert zu fahren, jedoch hat sich ein lastabhängiger Fest-Sollwert als bessere Alternative erwiesen.

## 6.2. Regelgüten

Nachstehend werden rein informativ verschiedene relevante Parameter der alten Feuerungsregelung mit der neuen verglichen. Als Betrachtungszeitraum werden der Monat April im Jahr 2006 und der Monat April im Jahr 2007 herangezogen. Die Daten werden als Zehn-Minuten-Mittelwerte aus der Leittechnik abgefragt. Die Zykluszeit der Datenerfassung liegt bei zehn Sekunden.

Die Anlage wurde in 2006 am 23. Februar nach der Jahresrevision angefahren. In 2007 erfolgte der Einbau der neuen Regelung im Zeitraum der Jahresrevision. Die Linie 11 wurde am 26.02.2007 mit der neuen Feuerungsregelung in Betrieb genommen und entsprechend optimiert. Der Probebetrieb wurde am 03.04.2007 erfolgreich abgeschlossen. Somit sind saisonale Einflüsse auf Müllzusammensetzung und Anlagenbetriebszeit nach Revision vernachlässigbar.

### 6.2.1. Regelgüte der Dampfproduktion

Die dargestellte Häufigkeitsverteilung zeigt die prozentuale Abweichung des Istwertes-Dampf vom vorgegebenen Sollwert (Bild 19). Auf der Ordinate ist die Anzahl der Werte in Prozent in der jeweiligen Klasse dargestellt. Die Standardabweichung für 2006 beträgt  $\sigma = 0,83$  t/h bzw. 3,79 %. In 2007 beträgt die Standardabweichung  $\sigma = 0,56$  t/h bzw. 1,30 %.

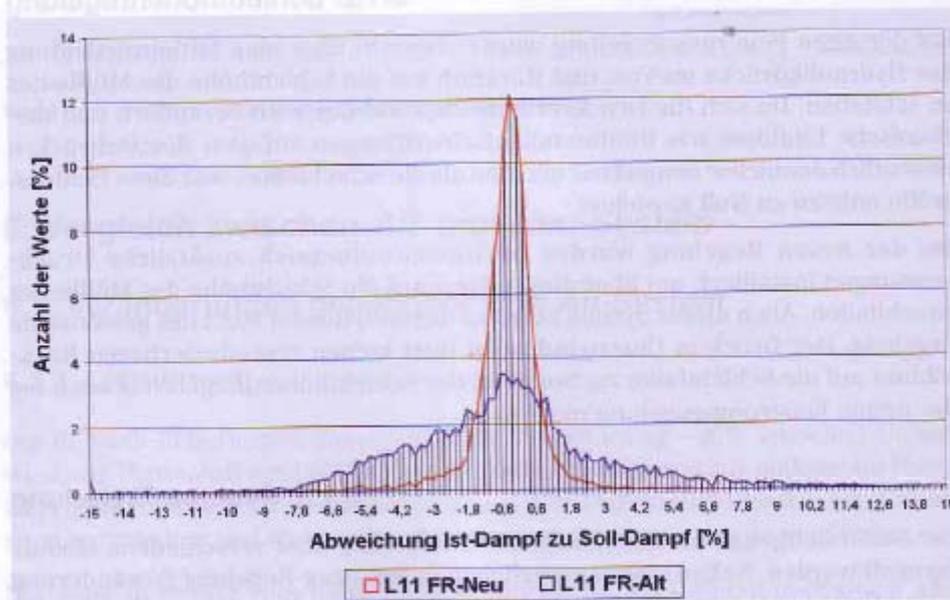


Bild 19: Regelgüte Dampfproduktion April 2006/April 2007

Somit lagen mit der alten Feuerungsregelung 95 % aller Dampfwerte innerhalb einer Schwankungsbreite von  $\pm 1,66$  t/h bzw.  $\pm 7,58$  % um den Mittelwert.

Bei der neuen Feuerungsregelung lagen 95 % aller Dampfwerte innerhalb einer Schwankungsbreite von  $\pm 1,12$  t/h bzw.  $\pm 2,60$  % um den Mittelwert.

Zum Vergleich ist in Bild 20 die Häufigkeitsverteilung für die Monate Mai 2006 und Mai 2007 dargestellt. Es ist deutlich, dass in diesem Zeitraum ebenfalls eine Verbesserung der Regelgüte erreicht wurde.

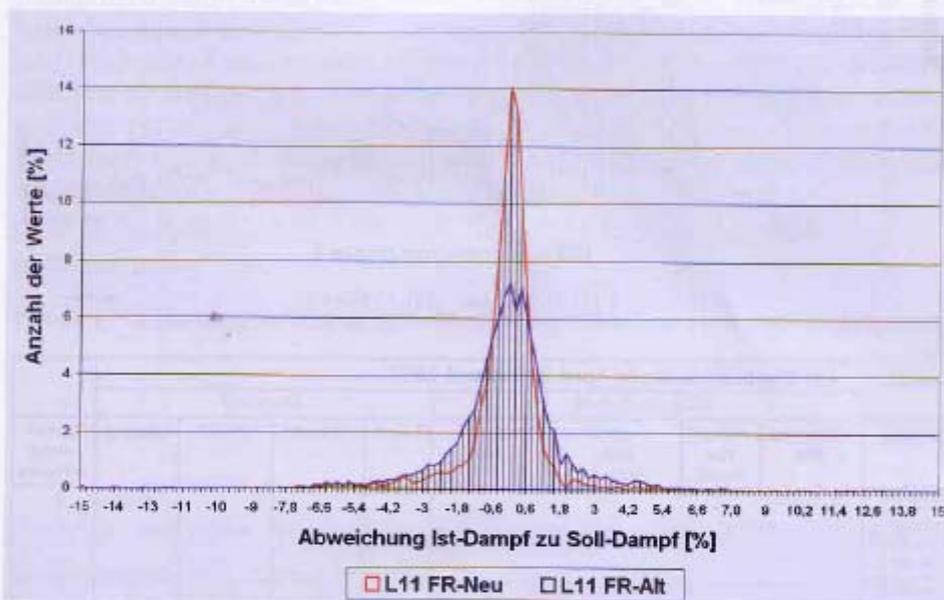


Bild 20: Regelgüte Dampfproduktion Mai 2006/Mai 2007

### 6.2.2. CO- und Sauerstoff-Werte am Kesselende

Als weiterer relevanter Parameter wird die CO-Konzentration (Angaben in  $\text{mg}/\text{m}^3$  (i.N., tr.) am Kesselende über den gleichen Auswertzeitraum betrachtet (Bild 21).

Bei dem Vergleich der beiden Zeiträume zeigt sich, dass die Verteilung der CO-Werte für die neue Feuerungsregelung deutlich besser gelagert ist. Der Mittelwert der CO-Konzentrationen ( $7,7 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) liegt nahe am Maximum der Verteilungskurve. Bei der alten Feuerungsregelung (Mittelwert CO  $9,0 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) ist aufgrund der breiteren Streuung der Werte dieses nicht zu erkennen.

Der Sauerstoffanteil im Abgas hat sich gegenüber der bisherigen Regelung unwesentlich verändert (Bild 22). Die Zielvorgabe von 7,2 Vol.-% ist mit einem mittleren  $\text{O}_2$ -Gehalt von 7,06 Vol.-% gut eingehalten. Die Standardabweichung beträgt  $\sigma = 0,63$  Vol.-%; somit liegen 95 % aller  $\text{O}_2$ -Werte innerhalb einer Schwankungsbreite von  $\pm 1,26$  Vol.-%.

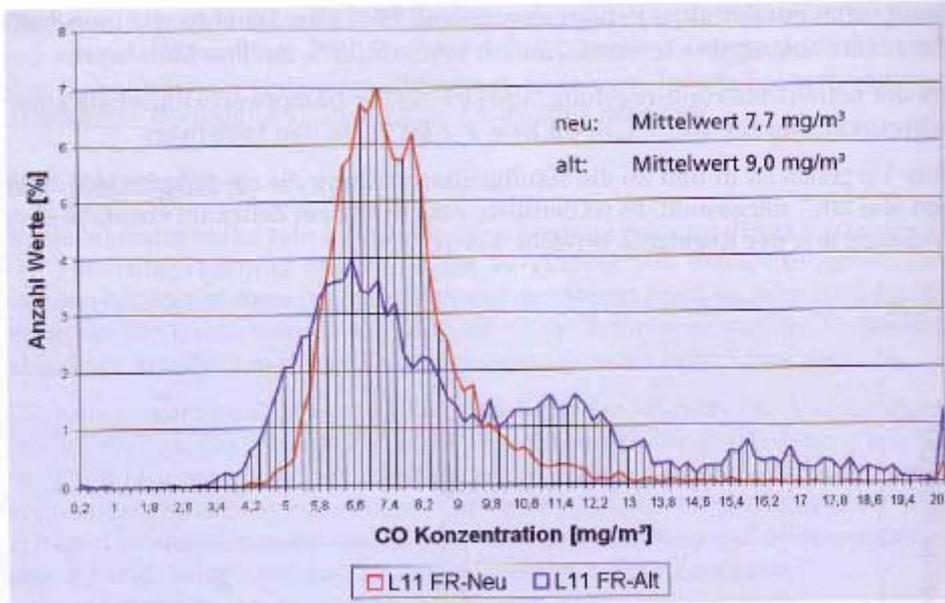


Bild 21: CO-Werte Kesselende April 2006/April 2007

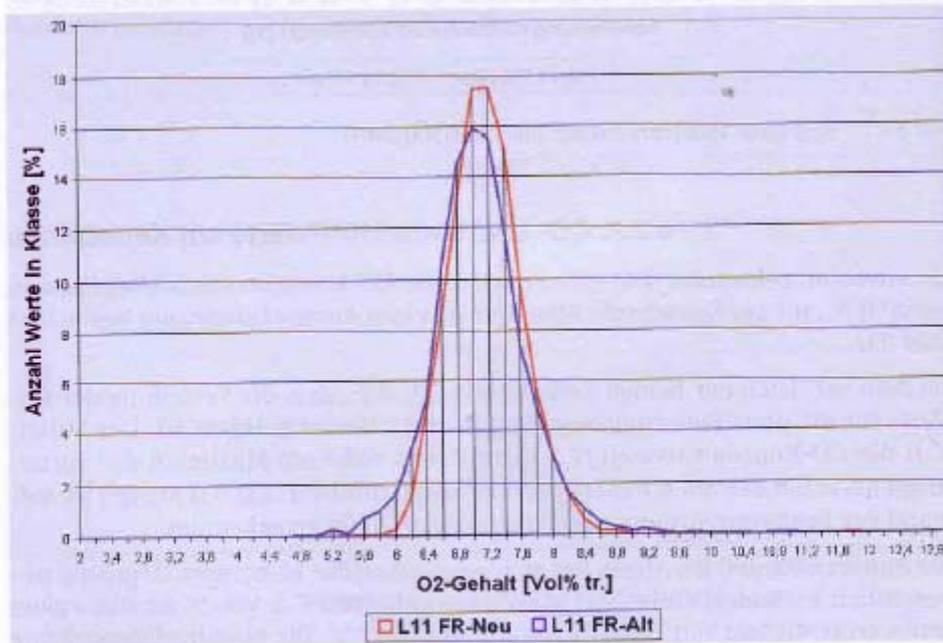


Bild 22: Sauerstoffgehalt Kesselende April 2006/April 2007

### 6.2.3. Ausbrand- und Schlackequalität

Die Anlage wurde während des Probetriebes und im Mai 2007 umfangreich beprobt. Die Glühverluste (ermittelt über das GKS-eigene Labor) liegen im üblichen Schwankungsbereich zwischen < 1 Gew.-% bis zu 2,5 Gew.-%.

### 6.3. Handeingriffe durch das Fahrpersonal

Ein weiteres Indiz für die Qualität eines Regelungssystems ist die Anzahl der Handeingriffe durch das Fahrpersonal. Wenn die Regelung optimal auf die Anlage abgestimmt ist und alles *geradeaus* läuft sollten keine Vertrimmungen erforderlich sein. Kommen jedoch *besondere* Betriebsbedingungen – zum Beispiel *Blumenerde* auf dem Rost oder Monochargen – zustande, dann sind Vertrimmungen oder ggf. sogar Handbetrieb einzelner Systeme notwendig. Bereits bei der ursprünglichen Feuerungsregelung war die Häufigkeit dieser Maßnahmen selten notwendig.

Über einen Zeitraum von 57 Tagen stellten sich die durchgeführten Handeingriffe wie in der nachstehenden Tabelle 1 dar.

Tabelle 1: Aufstellung der Handeingriffe über 57 Tage (Zeitraum: 01.04.2007 bis 27.05.2007)

Anzahl Handeingriffe	Aufgabe	System							Ursache
		Transport			Verbrennungsluft				
		Rost 1	Rost 2	Rost 3	Primärluft	Unterwind Zonen	Plattenluft Zonen	Sekundärluft	
6	Hand								Blockade Aufgabe (brennstoffbedingt)
3		Hand-sollwert							Feuerlage
2		vertrimmt							Feuerlage
5			vertrimmt						Feuerlage
1								vertrimmt (+)	CO-Konzentration
22					vertrimmt (+)				Feuerlage
34						vertrimmt (+)			Feuerlage
6						Profil (-)			Feuerlage
6						Profil (+)			Feuerlage
16						Handsollwert Z1			Feuerlage
4						Handsollwert Z2			Feuerlage

Summe: 105 Handeingriffe innerhalb 57 Tagen  
 Durchschnitt: 1,84 Handeingriffe pro Tag

Die als Durchschnittswerte angegebenen Handeingriffe sind nur als Richtwert zu sehen, da sich die Erfordernisse der Maßnahmen nicht gleichmäßig über die Zeitachse verteilt, sondern frei nach *Murphys Law* gebündelt auftreten. Es zeigt sich jedoch, dass das System in weiten Zeitbereichen das tut, was von ihm erwartet wird. Die Anlage wird derart ausgeregelt, dass zum einen die Betriebsparameter und die erforderlichen Grenzwerte sicher eingehalten werden. Das Fahrpersonal erreicht durch die geringe Anzahl von Handeingriffen zusätzliche Ressourcen, die für weitere Tätigkeiten genutzt werden können.

## 6.4. Weitere Ansätze für Optimierung

Die MVA-Linien beim GKS Schweinfurt sind einbahnige Rostsysteme mit 2,9 m wirksamer Rostbreite (Bild 23). Auf zusätzliche Messgrößen z.B. akustische Temperaturmessungen im ersten Kesselzug (AGAM) oder Auswertungen von Video- und IR-Kamera-Technologie konnte daher verzichtet werden. Es ist bei Einbahnern unter Umständen zwar auch interessant zu wissen ob auf der linken oder rechten Rosthälfte mehr oder weniger starke Energiefreisetzung erfolgt, jedoch kann mit dieser Information kein Einfluss genommen werden, da die Freiheitsgrade bzw. Stellorgane nicht vorhanden sind.

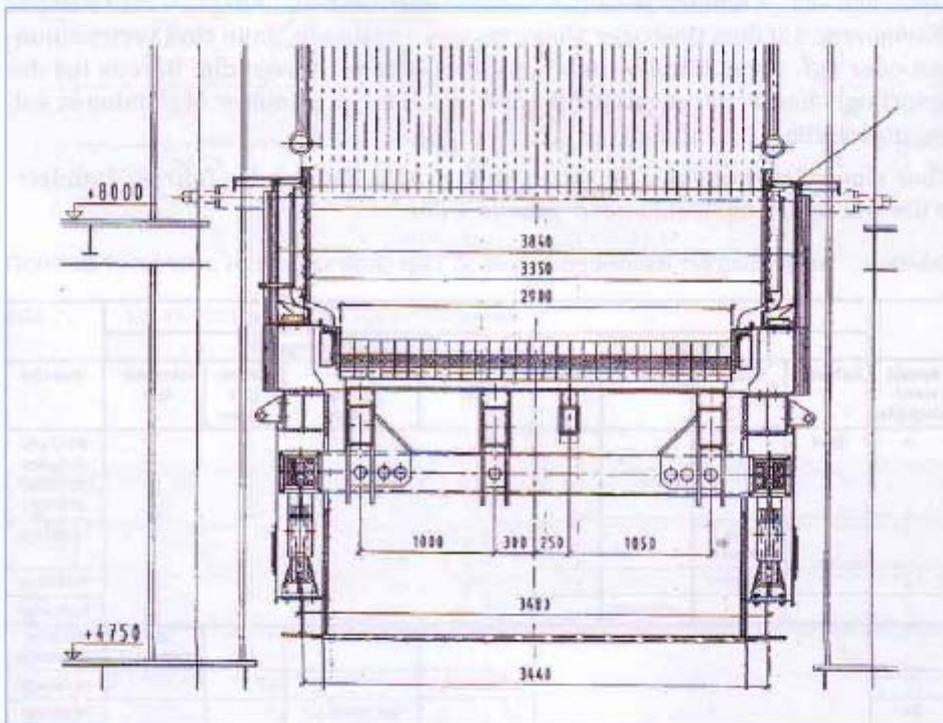


Bild 23: Feuerungsquerschnitt

Interessanter ist es, zu einem späteren Zeitpunkt – nach entsprechender Anpassung der Feuerraumgeometrie, Luftführung (insbesondere Sekundärluft) – im Bereich des Kesseleintrittes zusätzliche Temperaturmessungen auf IR-Basis zu installieren, um z.B. die Lageregelung des Sekundärluftstromes innerhalb der effektiven Grenzen zu ermöglichen (Bild 24).

Die bestehenden IR-Messungen (Bild 24) auf Basis von Infrarot-Strahlungspyrometern entlang des Rostverlaufes (Zone 1 bis 3) werden modifiziert, um ein Zusetzen der Messöffnungen mit Schlackeschmelzfluss zu vermeiden. Somit soll eine höhere Verfügbarkeit der Messungen erzielt werden.

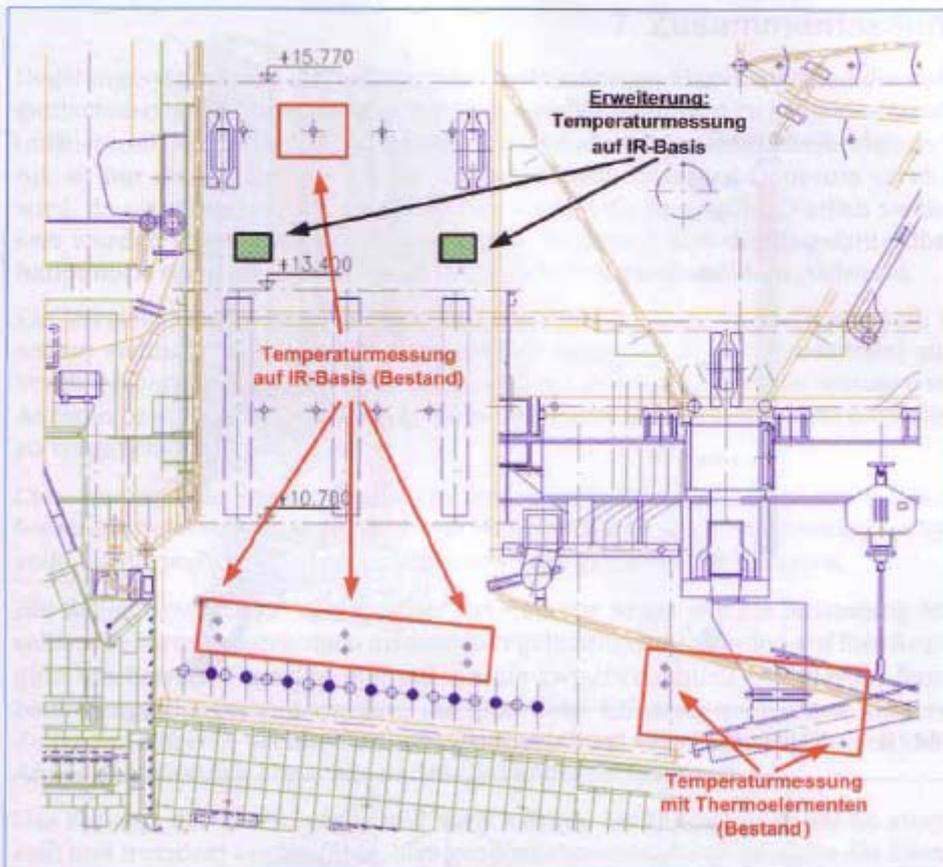


Bild 24: Temperaturmessungen Feuerung und Eintritt erster Zug

Andere Messprinzipien bei der Sauerstoffmessung z.B. Zirkonoxid-Sonden erzeugen bei richtiger Anordnung im Kessel ein deutlich schnelleres  $O_2$ -Signal als die bisher installierte Messung. Die Totzeit über die Kesselzüge liegt bei etwa fünfzehn Sekunden. Zuzüglich der Totzeit der Gasentnahmestrecke und Aufbereitung (zwanzig Sekunden) sind über dreißig Sekunden vergangen bis das Signal als Störgröße auf die Regelung aufgeschaltet werden kann. Die Frage ist, ob eine deutliche Verkürzung dieser Totzeit durch den Einsatz einer schnelleren  $O_2$ -Messung deutliche Verbesserungen bei der Regelgüte bietet. Die Zirkonoxid-Sonden halten einer Dauertemperatur von etwa  $600\text{ }^\circ\text{C}$  stand. Die Anordnung würde am Ende des dritten Kesselzuges sinnvoll erscheinen, da hier auf Grund des Konvektionsteils bereits eine Vergleichmäßigung des  $O_2$ -Profils statt gefunden hat; erkennbar an den (gleichmäßig blauen) Konzentrationsverteilungen in Bild 26. Grundsätzlich bietet die Zirkonoxid-Sonde den Vorteil, dass bei Beibehaltung der bestehenden  $O_2$ -Messung und Korrektur der Totzeit durch Differenzbildung zwischen  $O_2$ -feucht und  $O_2$ -trocken der Feuchteanteil des Rauchgases ermittelt werden kann.

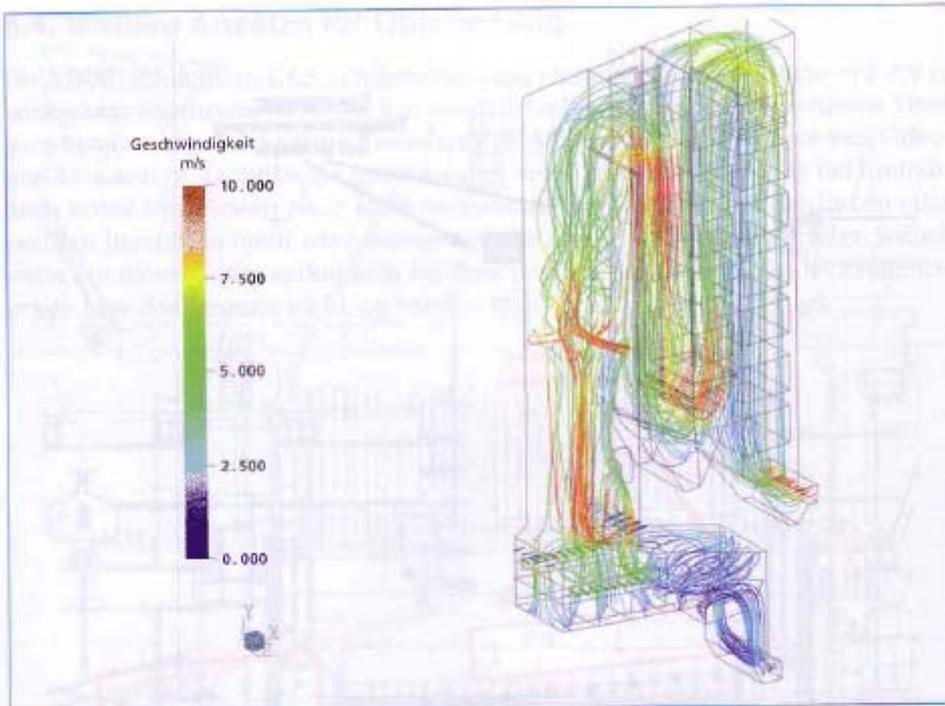


Bild 25: CFD-Simulation der Partikelströmung (mit SNCR)

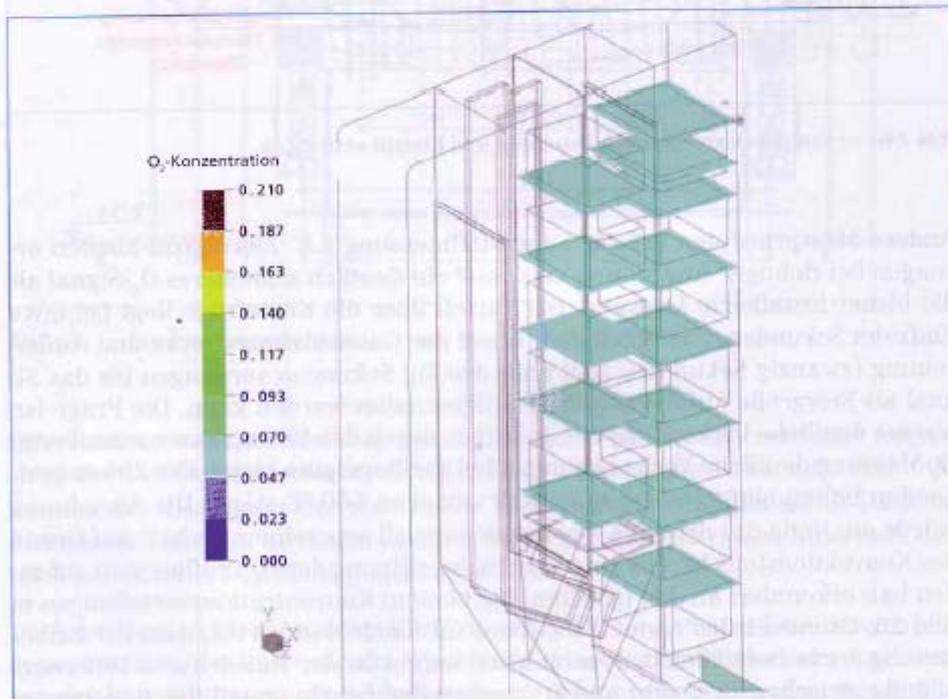


Bild 26: CFD-Simulation der O<sub>2</sub>-Konzentrationsverteilung im dritten/vierten Zug

## 7. Zusammenfassung

Regelungssysteme für thermische Abfallbehandlungsanlagen sind auf die anlagentechnischen Belange und die weiteren Randbedingungen zu projektieren und umzusetzen. Maximierung des Informationsgehaltes durch zusätzliche Messtechnik ist nur da sinnvoll, wo damit ein regelungstechnisches Optimum erreicht wird, da nicht mit jeder zusätzlichen Messgröße die Regelgüte deutlich verbessert werden kann. Vielmehr ist zu prüfen, inwieweit sich die Regelgüte überhaupt noch verbessern lässt – und mit welchem wirtschaftlichen Aufwand.

Ein Vergleich von *Dampf-Schrieben* mit dem bloßen Auge ist nicht sinnvoll. Es sollten vielmehr statistisch aussagekräftige Kurven (z.B. *Glockenkurven*) zum Vergleich herangezogen werden. Diese sind mit gleichartigen Auswertungen von Anlagen bzw. Regelungen die eine hohe Regelgüte (dem Machbaren) darstellen zu vergleichen.

Die – immer öfter angetroffene – Forderung nach einer Regelgüte von  $\leq 3\%$  ist bei einem heterogenen Brennstoff wie Müll von Seiten des Betreibers keine sinnvolle Forderung und für einen Anbieter schon gar nicht, da unseriös.

Ein Regelungssystem – egal welcher Art – ist nur so gut wie die Betreuung desselben. Feuerungsregelungen müssen in regelmäßigen Abständen auf ihre Regelgüte hin bewertet werden und ggf. an die zwischenzeitlich geänderten Randbedingungen angepasst werden, um eine hohe Effizienz über einen längeren Zeitraum aufrecht erhalten zu können. Bei einem PID-Regler stellt sich diese Anpassung deutlich einfacher dar als bei anderen Systemen.

Das Konzept der Verknüpfung und Verarbeitung der Eingangssignale ist ausgereift und trotzdem ausbaufähig; hier genügt beispielsweise nicht allein die Kenntnis der Funktionsweise eines allgemeinen PID-Reglers. Schon zwischen den PID-Regelsystemen gibt es erhebliche Unterschiede.

Für GKS war nach heutigem Stand die Entscheidung wieder einen konventionellen PID-Regler einzusetzen richtig. Inwieweit weitere Entwicklungen in den Bereichen Modellprädiktiver oder Modellbasierter Regler für MVAs einen Vorteil für den sicheren Betrieb ergeben bleibt abzuwarten. Vorstellbar ist es in der Tat, zusätzliche Informationen über diese Systeme zu erhalten und in die schon sehr guten konventionellen PID-Regler zu integrieren. Ziel dabei ist vielleicht weniger die Verbesserung der Regelgüte, als vielmehr, das erweiterte Verständnis in die Feuerungsregelung zu integrieren und hieraus weiteres Know-how zu erhalten.

## 8. Anwendungen in anderen Anlagen

Das vorgestellte System wurde von der Firma SAR Elektronik GmbH entwickelt und im Laufe vieler Jahre immer wieder optimiert und verbessert.

Ursprünglich eingesetzt auf Anlagen mit – teilweise wassergekühlten – Vorschubrosten wie z.B. der MVA Bielefeld (3 Linien), MVA Ingolstadt (VL3), MVA Hameln (MK4), KVA Luzern (3 Linien), AVBKG Pinneberg (2 Linien) hat sich das Konzept

auch in Anlagen mit Rückschubrosten (MHKW München-Nord; 4 Linien) sowie in Biomasse- und Ersatzbrennstoffkraftwerken bewährt (HHKW Berlin-Neukölln, TVS Schwarzta).  
Die neueste Generation dieser Feuerungsregelung kommt auch auf Walzenrosten wie z.B. im AEZ Asdonkshof zum Einsatz.

### 3. Anwendungen in großen Anlagen

Die Anwendung der Feuerungsregelung in großen Anlagen ist durch die hohen Leistungsanforderungen an die Feuerungsregelung bedingt. In großen Anlagen sind die Leistungsanforderungen an die Feuerungsregelung höher als in kleineren Anlagen. Die Feuerungsregelung muss in der Lage sein, die Leistungsanforderungen an die Feuerungsregelung zu erfüllen. Die Feuerungsregelung muss in der Lage sein, die Leistungsanforderungen an die Feuerungsregelung zu erfüllen. Die Feuerungsregelung muss in der Lage sein, die Leistungsanforderungen an die Feuerungsregelung zu erfüllen.