

Informationsbasierte Optimierung der Feuerung des Heizkraftwerks Tiefstack

Claus Rosner
Leiter Maschinen- und Anlagentechnik
Vattenfall Europe Wärme AG, Kraftwerk Tiefstack

Alexander C. Hanf
Sales Director
Powitec Intelligent Technologies GmbH

Abstract

Die Verbrennung thermischer Dampferzeuger ist aufgrund kontinuierlicher Veränderungen der Brennstoffeigenschaften und Brennstoffverteilung über die Brenner und über die Brenner-Ebenen oft suboptimal. Das Vattenfall Kraftwerk Tiefstack implementierte zur Optimierung des Brennstoff-/Luft-Verhältnisses einen selbst-organisierenden Regler. Dieser integriert Auswertungen von Hochgeschwindigkeits-Kameradaten. Die darauf aufsetzende adaptive und lernfähige Reglerstruktur ist mit dieser neuartigen Information in der Lage, sich automatisch an Veränderungen des Verbrennungsprozesses anzupassen. Der Vortrag präsentiert die Herausforderungen im Kraftwerk Tiefstack, informationsbasierte Prozessoptimierung im on-line-Betrieb bei zeitvarianten Prozessbedingungen sowie Optimierungsergebnisse zur Lambda-, NO_x- und CO-Reduktion, verbesserten Aschequalität und verlängerten Kesselstandzeit.

Folie 1



VATTENFALL 

Claus Rosner
Leiter Maschinenanlagen
Vattenfall Europe Wärme AG, Heizkraftwerk Tiefstack

powitec
process optimized, value delivered.

Alexander C. Hanf
Sales Director
Powitec Intelligent Technologies GmbH, Essen

Informationsbasierte Optimierung der Feuerung im Heizkraftwerk Tiefstack

- Heizkraftwerk Tiefstack
- Lösung von Powitec
- Ergebnisse
- Diskussion

Nach einer Vorstellung des Heizkraftwerks Tiefstack erfolgt die Präsentation der Powitec Lösung sowie der damit in den Jahren 2006 bis heute erzielten Ergebnisse.

Folie 2



Das SOFCOM-Projekt

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

- **Ziel:** Entwicklung eines selbstorganisierenden Optimierungssystems für den Einsatz in staubgefeuerten Kohlekraftwerken
- **Dauer:** Mai 2006 – Dezember 2009
- **Partner:**
 - Vattenfall Wärme AG
 - Vattenfall Research & Development Stockholm
 - Ilmenau Technische Universität
 - Powitec Intelligent Technologies GmbH
- **Ansatz:**
 - neue Sensoren zur Flammenbeobachtung
 - selbstorganisierende Verarbeitung von Bild- und Leittechnikdaten
 - selbstorganisierende Stellgrößenkonfiguration
 - selbstorganisierende Regelung / Prozessoptimierung

Das Heizkraftwerk Tiefstack arbeitet seit 10 Jahren mit der Optimierungslösung von Powitec, dem PiT Navigator. In den Jahren bis 2006 wurden sehr gute Ergebnisse erzielt, wenn das System eingeschaltet war. Das Vattenfall-Controlling drängte daher darauf die Online-Zeiten zu erhöhen. Offline-Zeiten waren insbesondere dadurch bedingt, dass das System Zustände erfuhr, die neu oder untypisch waren, wie z. B. starke Wechsel in den Kohleeigenschaften, Verschlackung etc. Durch manuelle Unterstützung konnte die Anpassung beschleunigt werden. Allerdings bedingte diese Anpassung Offline-Zeiten.

Im Mai 2006 startete das SOFCOM-Projekt zwischen den Partnern Vattenfall-Heat Hamburg, Vattenfall Research & Development, der Technischen Universität Ilmenau und der Firma Powitec GmbH. Gegenstand dieses über 3 Jahre laufenden gemeinsamen Forschungsprojektes war die Entwicklung eines allgemein einsetzbaren, weitestgehend selbstorganisierenden und sich selbst optimierenden adaptiven Optimierungssystems für den Verbrennungsprozess in staubgefeuerten Kohlekraftwerken. Mit einem derartigen System wird aktuellen Herausforderungen bei der Führung und Optimierung des Verbrennungsprozesses begegnet, die sich durch ständig wachsende Anforderungen des Umweltschutzes aber auch durch die Situation auf dem Kohlemarkt mit häufig wechselnden Kohlesorten und -qualitäten ergeben. Erklärtes Ziel des SOFCOM-Projektes war deshalb, das bislang nicht nutzbare Optimierungspotenzial durch folgende Ansätze zu erschließen:

- Einsatz neuer Sensoren zur unmittelbaren Flammenbeobachtung
- automatische Extraktion handlungsrelevanter Informationen aus der Flammenobservation und auch aus den konventionellen Daten des Leitsystems
- automatische Konfiguration der Stellgrößen

- automatische Entwicklung einer Optimierungsstrategie bezüglich der Zielvorgaben des Anlagenbetreibers.

Der Vortrag wird das System vorstellen und Ergebnisse diskutieren.

Folie 2:

VATTENFALL 
powitec

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

Vattenfall, Heizkraftwerk Tiefstack

- Standort: Hamburg, Innenstadtnähe
- Billwerder Bucht
- Erzeugung von 60% des Hamburger Fernwärmebedarfs
- Erfüllung strengster Umweltauflagen (Grenzwerte: 50% der TA Luft)
- 1 HD-Grundlastdoppelblock,
- 2 MD-Spitzenlastdampfkessel
- 1 GuD Doppelblockanlage
- ausschließlicher Einsatz von Weltmarktkohlen in den HD-Dampferzeugern



Informationsbasierte Optimierung der Feuerung im HKW Tiefstack, C. Rostler, A. Harf Seite 2

Das HKW Tiefstack befindet sich in Hamburg in Innenstadtnähe an der Billwerder Bucht, einem Seitenarm der Elbe im Hamburger Hafen. Es deckt knapp die Hälfte des Hamburger Fernwärmebedarfs. Aufgrund der Nahe zur Innenstadt wurde es 1993 nach dem neusten technischen Stand errichtet und erfüllt die strengsten Umweltauflagen in Europa. Die Anlage ist ausgestattet mit zwei HD-Dampferzeugern und zwei MD-Spitzenlastdampfkesseln, weiterhin wird das HKW Tiefstack durch eine GuD-Anlage ergänzt.

Folie 4:

Technische Daten

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

- HD-Dampferzeuger:
 - 2 x 252 MW (Bauart Benson)
 - Hersteller: L&C Steinmüller
 - Brennstoff: Steinkohle
 - 2 x 6 Kombi-Brenner (Kohle-Öl)
 - 2 x 3 Mühlen
 - Turbine: 1 x 205 MW
 - Hersteller: MAN
- Spitzenlastkessel:
 - 2 x 172 MW (Bauart: Eckrohrkessel)
 - Hersteller: Blohm + Voss
 - Brennstoff: öl- oder gasgefeuert
- GuD-Anlage:
 - 2 Gasturbinen
 - Hersteller: Rolls Royce
 - 2 Abhitzeessel
 - 1 Dampfturbine
 - Hersteller: Siemens
 - Strom: 125 MW
 - Fernwärme: 145 MW
 - 16 bar Prozessdampf: 40 MW

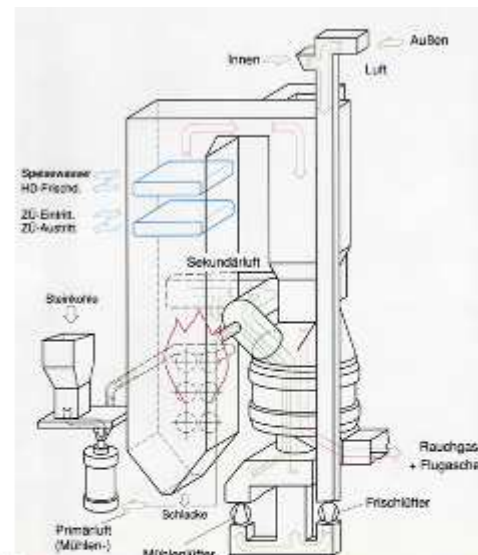
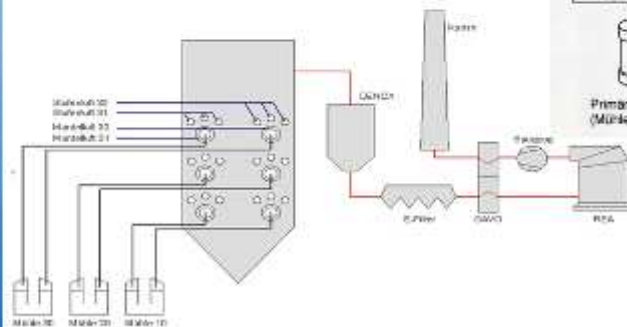


Folie 5:

HD-Dampferzeuger

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

- Seitenwandfeuerung
- 3 Brennebenen mit je 2 Brennern

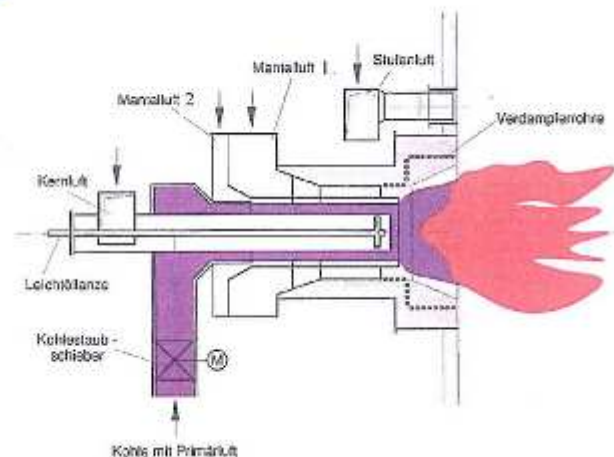


Die HD-Dampferzeuger des HKW Tiefstack sind mit einer Seitenwandfeuerung ausgestattet. Dabei befinden sich auf drei Brennebenen jeweils zwei Brenner. Jede Brennebene wird von einer eigenen Kohlemühle versorgt. Die Abbildung zeigt die beispielhafte Anordnung der Mühlen und der Brennebenen. Es lässt sich deutlich erkennen, dass aufgrund der ungleichmäßigen Rohrleitungsführung eine gleichmäßige Beschickung der einzelnen Brenner nicht gegeben ist. Dieses führt zu unterschiedlichen Flammenbildern an den Brennern. Sinngemäß gilt dieses auch für die Zuführung der Sekundärluft.

Folie 6:



- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion



- Variable Aufteilung der Primärluft und der Sekundärluft in Abhängigkeit der Mühlenlast.
- Unterschiedliche Flammenbilder an den Brennern
- Flamme ist wesentliche Informationsquelle

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Verbrennung ist die variable Aufteilung der Sekundärluft auf Mantelluft und Stufenluft. Bei den Brennern handelt es sich um Steinmüller SM2 Low-NOx Brenner.

Um den Verbrennungsprozess zu optimieren, ist es essentiell, die Flamme selbst als wesentliche Informationsquelle zu begreifen und zu erschließen. Deshalb werden alle 6 Brenner mit jeweils einem Powitec-CMOS-Sensor beobachtet, welche in der Seitenwand mit Blick auf die Flammenwurzel eingebaut wurden, um lokale Informationen zu erhalten.

Folie 7:

Herausforderungen und Lösungsansätze:

- Herausforderungen:
 - Ungleichmäßige Kohlenstaubverteilung in Abhängigkeit von Mühlenlast und Kohlensorte
 - Biomasse-Mitverbrennung führt zu neuen Herausforderungen
 - Kohletyp und –qualität sowie Ausmahlgrad (Mühlenstatus)
 - Kohlenstaubverteilung je Brenner (Trimmung)
 - Luftstufung
- Lösungsansätze:
 - Bessere Repräsentanz der Feuerung durch zusätzliche Signale
 - Permanente kontinuierliche Optimierung

Als Herausforderungen für eine vollständig automatische Optimierungen zeigten sich insbesondere die ungleichmäßige Kohlenstaubverteilung in Abhängigkeit von Mühlenlast und Kohlensorte. Dabei ist haupt-beeinflussend für die Qualität der Verbrennung die Korngröße und nicht unbedingt die Kornmenge.

Als Lösungsansatz wurde die Erhöhung der Repräsentanz der Feuerung durch die zusätzlichen Signale mit CMOS-Kameras in Kombination mit der permanenten kontinuierlichen Optimierung der Lüfte gewählt.

Folie 8:

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

Kamerabasierte Datengewinnung:

- Flamme als wesentliche Informationsquelle
- je Brenner einen Sensor
- Luftkühlung
- Spülluft
- CMOS-Kamera für räumlich und zeitlich hochaufgelöste Flammenbeobachtung



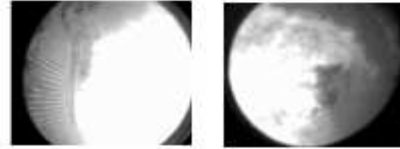
Die CMOS Kamera nutzen die Flammen als wesentliche Informationsquelle und sind in der Seitenwand mit Blick auf den Brenner eingebaut. Es sind keine empfindlichen Feldrechner verbaut und die Kameras befinden sich in einem dichten Gehäuse außerhalb des Kessels, so dass selbst bei einem Ausfall der Kühlluft die Kamera keinen Schaden nimmt. Ein solcher Ausfall würde lediglich dazu führen, dass die Schutzlinse an der Lanzenspitze ausgetauscht werden müsste. Durch die Verwendung von CMOS-Kameras wird eine räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Flammenbeobachtung möglich.

Folie 9:

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

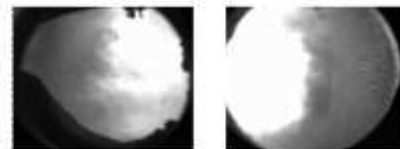
Bilder:

- Sensoren sitzen in Seitenwand
- Brennermund und Flammenwurzel gut erkennbar



Leitsystem:

- Erfassung und Nutzung konventioneller Prozessdaten wie Luftmengen, Emissionen, Temperaturen, ...

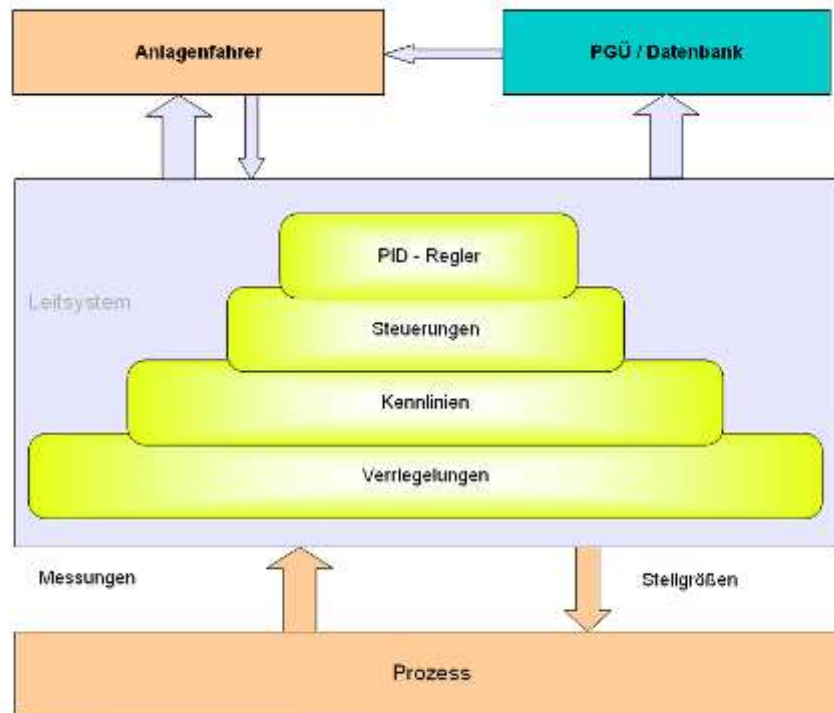


Durch die gute Einbausituation ist der Brennermund und die Flammenwurzel gut erkennbar.

Die Bilder der Sensoren werden nicht auf der Warte gezeigt aber sind auf einer Engineering-Arbeitsstation im Leittechnikraum einsehbar. Durch digitale Bildverarbeitung werden die Bilder ausgewertet und die Ergebnisse mit den konventionellen Daten des Leitsystems verglichen.

Folie 10:

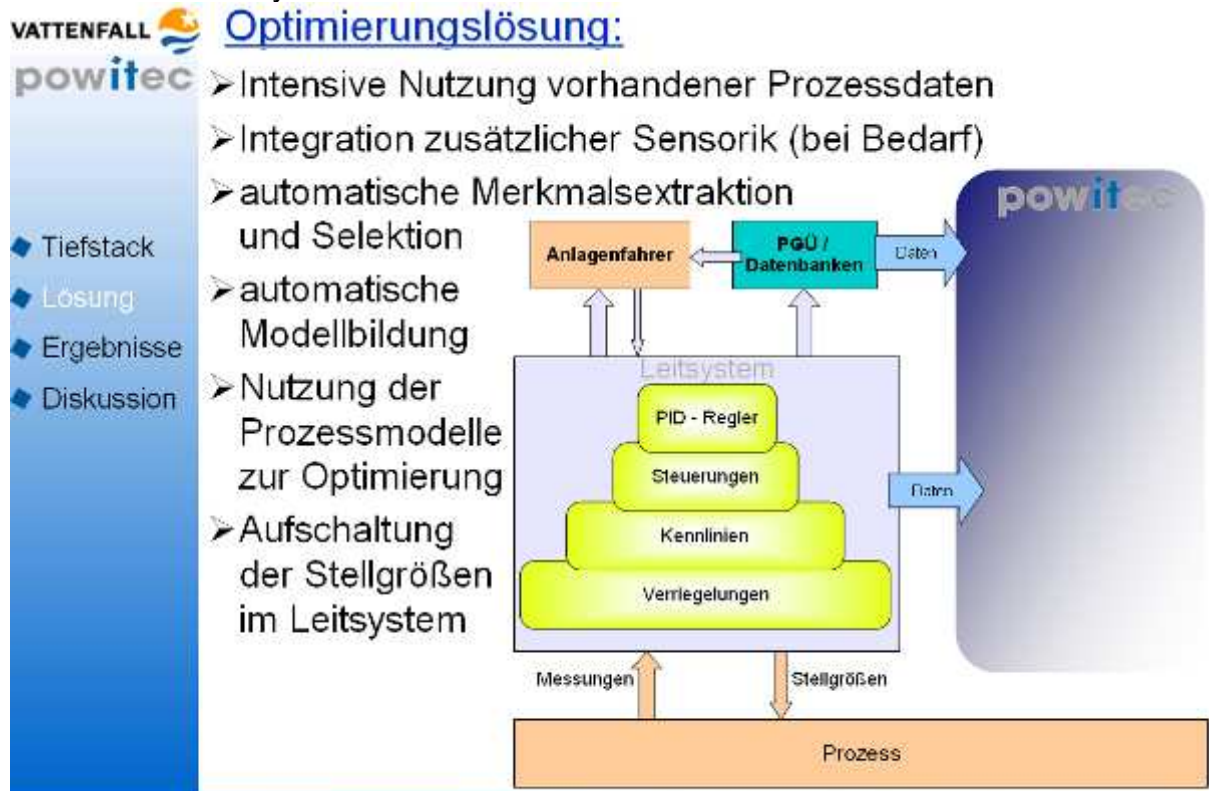
Status quo vor der Optimierung:



Dies zeigt den Status Quo vor der Optimierung. Der Anlagenfahrer beeinflusst das Leitsystem, welches aus verschiedenen Ebenen (PID-Reglern, Steuerungen, Kennlinien und der Verriegelungsebene) besteht. Das Leitsystem gibt Stellgrößen an den Prozess, der die Resultate per Messungen wieder an das Leitsystem meldet. Der Anlagenfahrer wird durch das Leitsystem und durch Datenbanken und Auswertesysteme über historische Daten informiert.

Folie 11:

Die Einbindung der Optimierungslösung von Powitec aus entsteht parallel zum bestehenden Leitsystem.

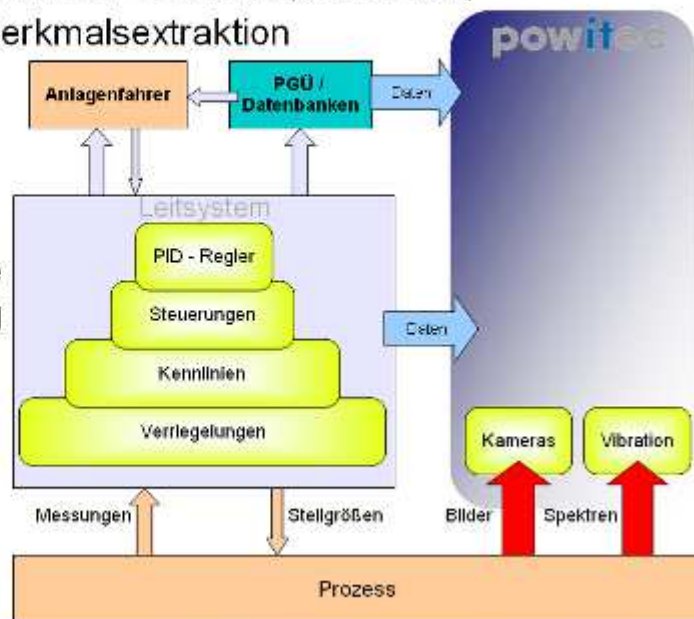


Powitec liest über eine Prozesskopplung sämtliche Daten die die Verbrennung betreffen aus dem Leitsystem und aus vorhandenen Datenbanken.

Optimierungslösung:

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

- Intensive Nutzung vorhandener Prozessdaten
- Integration zusätzlicher Sensorik (bei Bedarf)
- automatische Merkmalsextraktion und Selektion
- automatische Modellbildung
- Nutzung der Prozessmodelle zur Optimierung
- Aufschaltung der Stellgrößen im Leitsystem

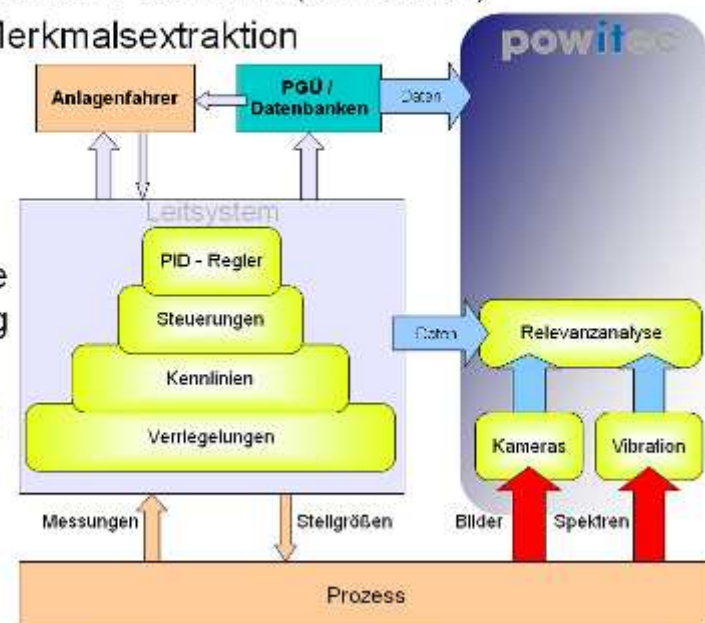


Powitec analysiert außerdem die Bilder der Kameras sowie Schwingungsspektren von Vibrationssensoren.

Optimierungslösung:

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

- Intensive Nutzung vorhandener Prozessdaten
- Integration zusätzlicher Sensorik (bei Bedarf)
- automatische Merkmalsextraktion und Selektion
- automatische Modellbildung
- Nutzung der Prozessmodelle zur Optimierung
- Aufschaltung der Stellgrößen im Leitsystem

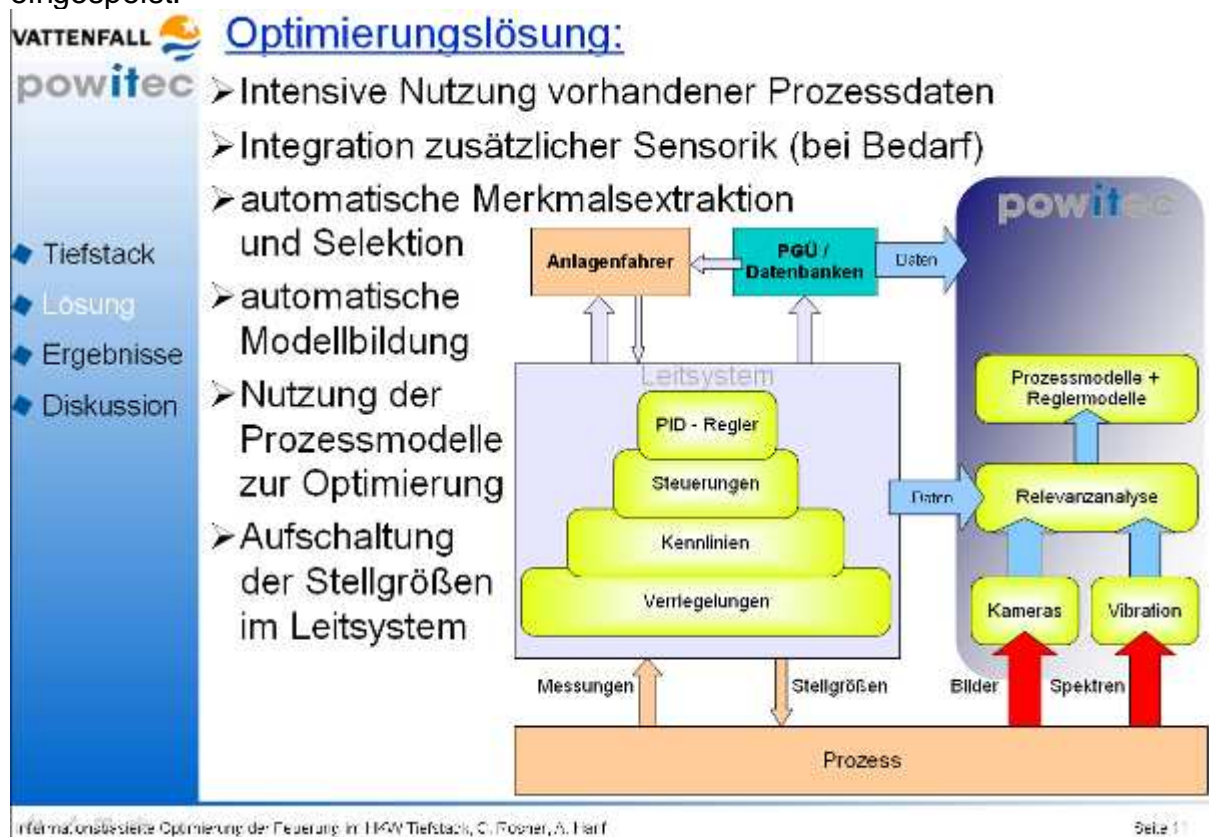


Die Leitsystem-Daten, werden mit den Bildern und Spetra in einer Signifikanz- und Relevanzanalyse miteinander korreliert. Es werden also alle Daten mit allen anderen Daten korreliert und es wird geprüft welche Relevanzen die stärksten

Zusammenhänge abbilden. Diese Merkmals-Extraktion und -Selektion läuft vollautomatisch und permanent ab. Somit finden also auch Veränderungen im Prozess wie z. B. andere Mühlenzustände oder Brennstoffeigenschaften Berücksichtigung.

Bei dem Powitec System handelt sich um einen selbstlernenden adaptiven Optimierer, der sich selbständig an veränderte Prozessbedingungen anpasst. So selektiert das System selbständig Bereiche (Größe, Position und Form) in den Flammenbildern, die die stärkste Korrelation zu Prozessdaten (wie CO und NOx) aufweisen. So sind auch Veränderungen des Flammzündpunkts, verursacht durch Änderungen im Brennstoffband (Biomasse, Kohletypen), klar analysierbar, da das System selbständig z. B. die Flammzündlinie findet.

Die stärksten Korrelationen werden dann in die automatische Modellierung eingespeist.



Daraus entstehen Prozess-Modelle und Regler-Modelle. Die Reglermodelle beschreiben, wie das Leitsystem im Zusammenspiel mit dem Anlagenfahrer den Prozess beeinflusst und die Prozessmodelle beschreiben wie der Prozess auf veränderte Stelleingriffe reagiert.

Diese Modelle werden nicht einmalig erzeugt sondern passen sich permanent veränderten Zuständen an.

Innerhalb dieses erlernten Wissens startet der PiT Navigator nun Simulationen. Es werden „was-wäre-wenn-Analysen“ durchgeführt, um eine optimierte Prozessregelung zu erhalten.

Optimierungslösung:

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

- Intensive Nutzung vorhandener Prozessdaten
- Integration zusätzlicher Sensorik (bei Bedarf)
- automatische Merkmalsextraktion und Selektion
- automatische Modellbildung
- Nutzung der Prozessmodelle zur Optimierung
- Aufschaltung der Stellgrößen im Leitsystem



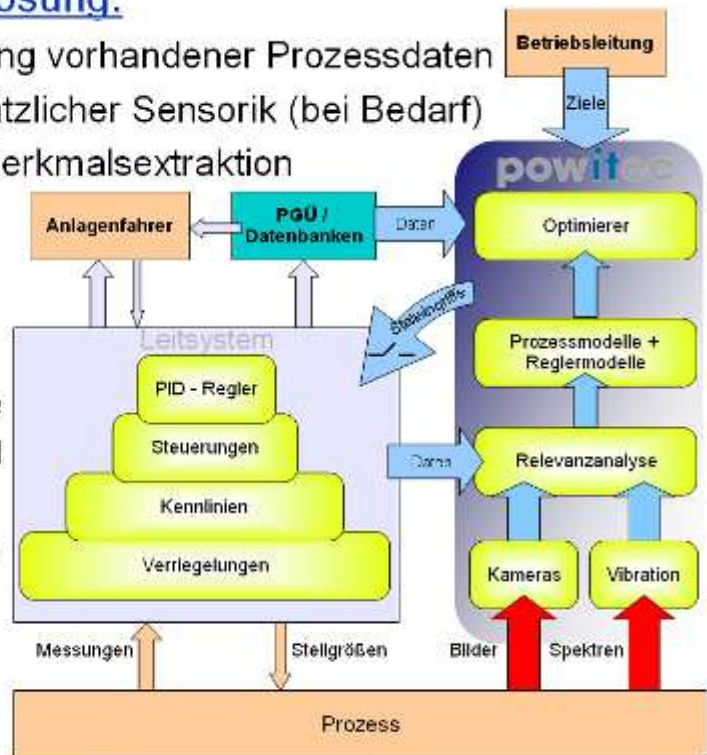
Dieses System ist also mit einer Gruppe menschlicher Experten zu vergleichen. Einige stehen an den Mühlen, einige an den Staubleitungen, und analysieren die Schwingungen. An jedem Brenner steht ein Experte der die Flamme beobachtet und auf der Warte stehen einige, die das Prozessleitsystem beobachten. Diese Experten sind miteinander Vernetzt und tauschen sich permanent darüber aus, was sich ändern würde, wenn der Prozess im Einklang mit den Zielvorgaben des Managements anders geregelt werden würde. Sind die Ergebnisse besser oder schlechter? So nutzt das Powitec Optimierungstool umfangreicher Informationen (wie z. B. Informationen zur Flamme und Kohlenstaubmassenstromverteilung) führt diese Analyse 24 Stunden am Tag durch.

Wie die Expertengruppe nutzt das System evolutionäre Strategien um nicht-lineare Modelle zu erzeugen. Gute Modelle werden verwendet und schlechte eliminiert. Durch Mutation und Rekombination von brauchbaren Lösungen werden bessere Lösungen entwickelt. Dadurch ist das System in der Lage Totzeiten, sowie Zusammenhänge die sich in bestimmten Zeiträumen diametral entgegengesetzt darstellen, zu erkennen und zu berücksichtigen.

Optimierungslösung:

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

- Intensive Nutzung vorhandener Prozessdaten
- Integration zusätzlicher Sensorik (bei Bedarf)
- automatische Merkmalsextraktion und Selektion
- automatische Modellbildung
- Nutzung der Prozessmodelle zur Optimierung
- Aufschaltung der Stellgrößen im Leitsystem

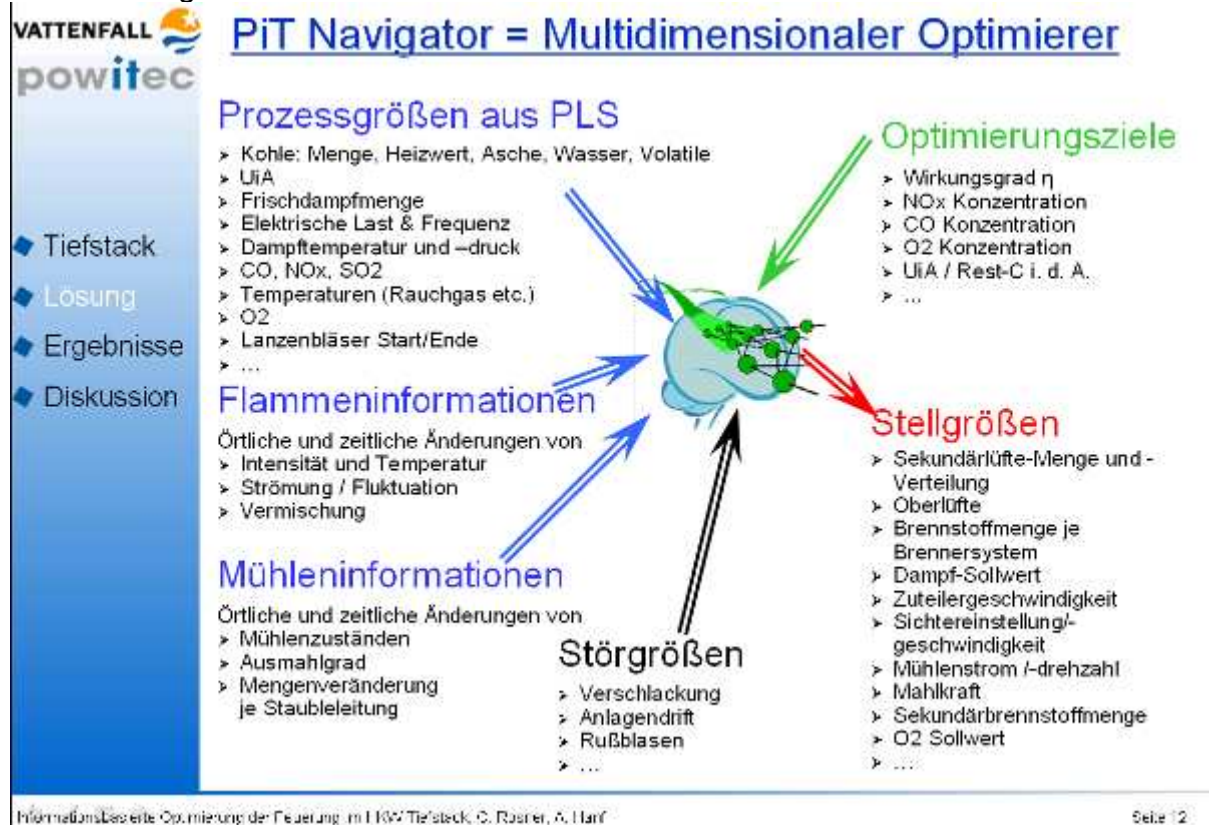


Die berechneten und verbesserten Stelleingriffe werden durch Sollwert-Korrektur an das Leitsystem ausgegeben. Die daraus resultierenden Messungen und Bilder werden erneut eingelesen und wiederum für die weitere Optimierung verwendet. Somit erhält man eine Closed-Loop-Optimierung.

Ein Vorteil dieses Ansatzes ist, dass es ein Add-on ist und das Prozessleitsystem unverändert bleibt. Der Optimierer kann jederzeit ausgeschaltet werden und der Prozess kann in herkömmlicher Weise gesteuert werden. Im Kraftwerk Tiefstack (und bei den anderen Verwendern) wird der Optimierer im gesamten Lastbereich zu 100% zugeschaltet.

Folie 12

Dies gibt einen Überblick über die verschiedenen Dimensionen, die der PiT Navigator berücksichtigt.



Aus dem **Prozessleitsystem** werden alle Daten, beginnend mit der Kohle über Mühlenstati, Kesseldaten bis zu Emissionsdaten ausgelesen.

Aus den **Flammeninformationen** werden Informationen gewonnen zu örtlichen und zeitlichen Änderungen von

- Intensität und Temperatur
- Strömung / Fluktuation
- Vermischung

Aus der **Vibrationsanalyse** von Mühlen und Staubleitungen resultieren Informationen zur örtlichen und zeitlichen Änderung von

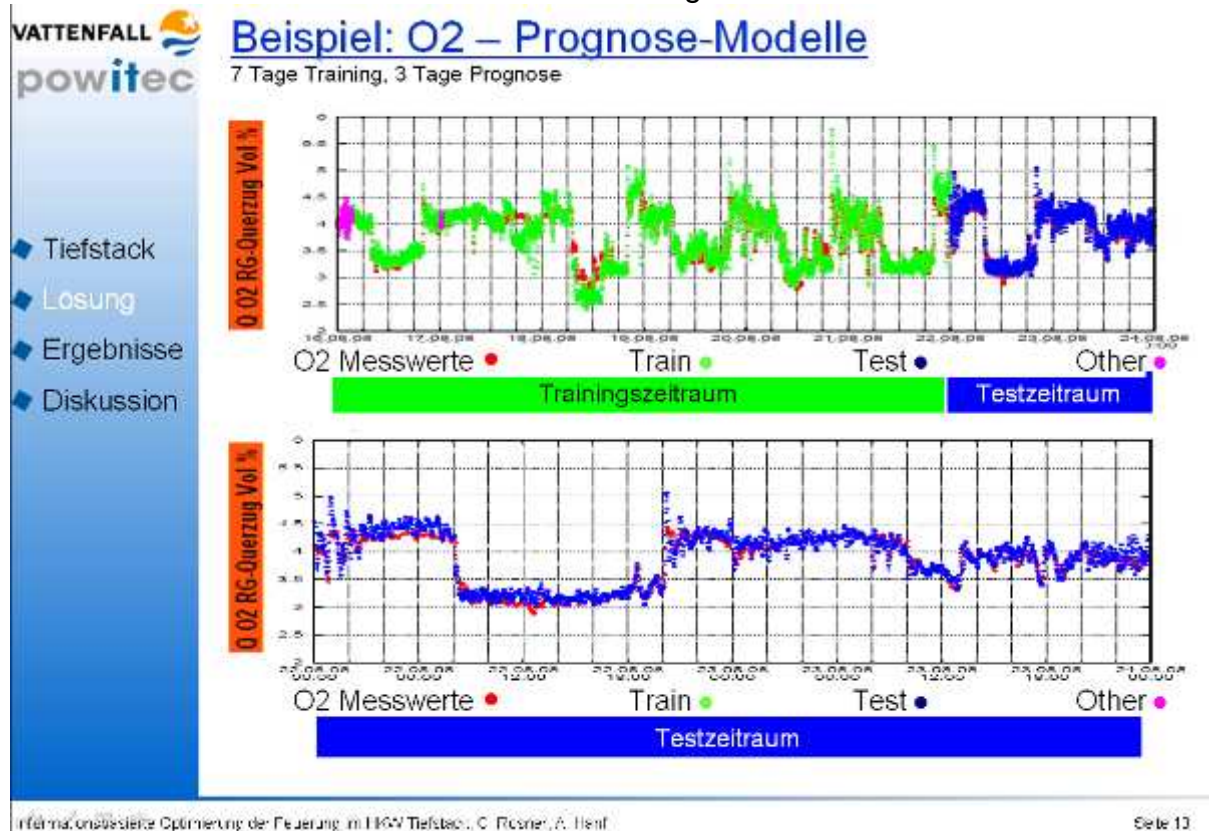
- Mühlenzuständen
- Ausmahlgrad
- Mengenveränderung je Staubleitung

Die Optimierungsziele werden gemeinsam mit dem Betreiber festgelegt. Diese werden priorisiert und können jederzeit verändert werden. Dies hat den Vorteil, dass das System nicht aufwendig umprogrammiert werden muss, falls einzelne Ziele z. B. durch veränderte Behördliche Vorgaben mehr in den Vordergrund rücken.

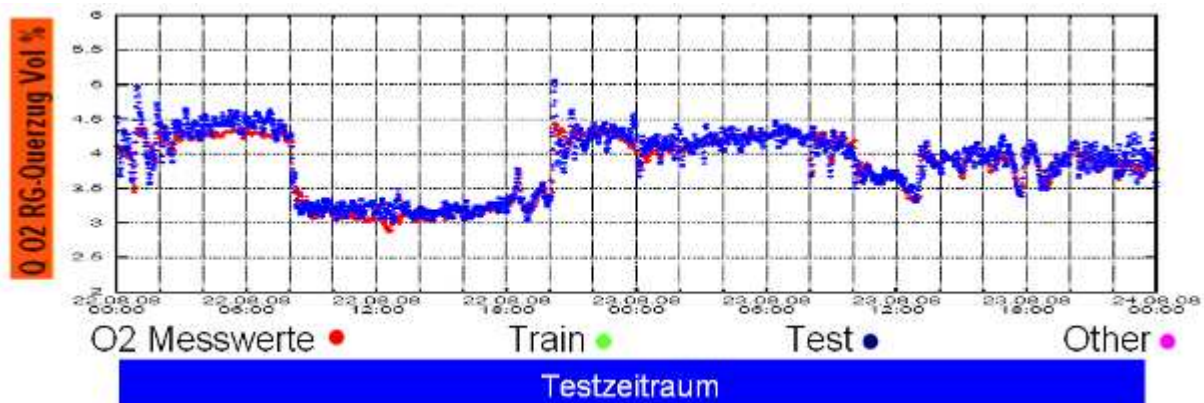
Als **Stellgrößen** nutzt der PiT Navigator die vorhandene Aktorik. Die Mindestanforderung für den Optimierer ist eine Möglichkeit der Beeinflussung des Brennstoff-/Luftverhältnisses.

Folie 13

Auf Basis dieser Daten werden Prozess und Reglermodelle voll automatisch erstellt.



Dies ist ein Beispiel für ein O₂ (im Rauchgas) Modell. Der grüne Zeitraum stellt Daten von 7 Tagen als Trainingsdaten zur Verfügung. Darauf basierend wird ein Modell erzeugt, das dann mit darauf folgenden Daten getestet wird.



Unten sieht man diesen Testzeitraum in einer höheren Auflösung und es ist unschwer zu erkennen, dass das Modell die roten Messwerte mit den blauen Testwerten sehr gut abbildet.

So werden Modelle für alle zentralen Kenngrößen des Prozesses gebildet und können dann bei einer hinreichend hohen Korrelation zur Regelung benutzt werden

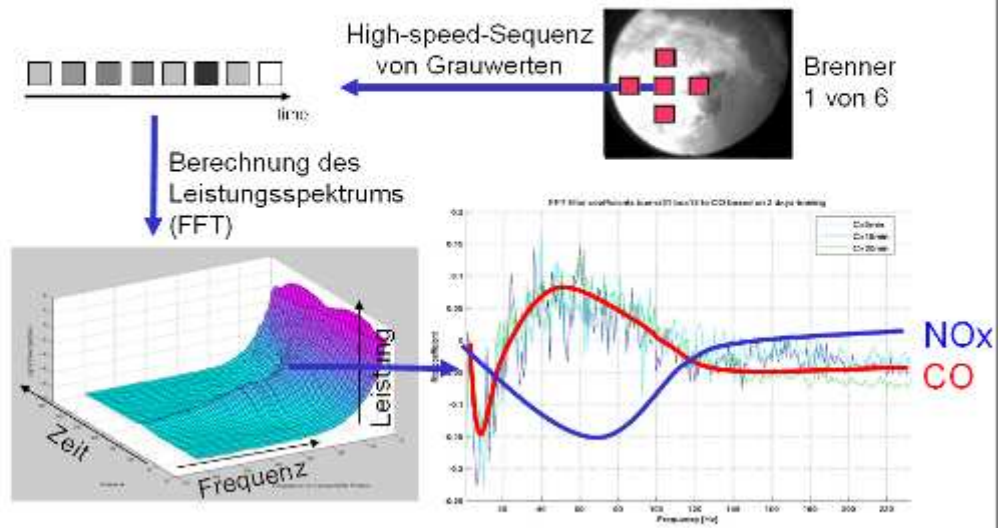
Folie 14



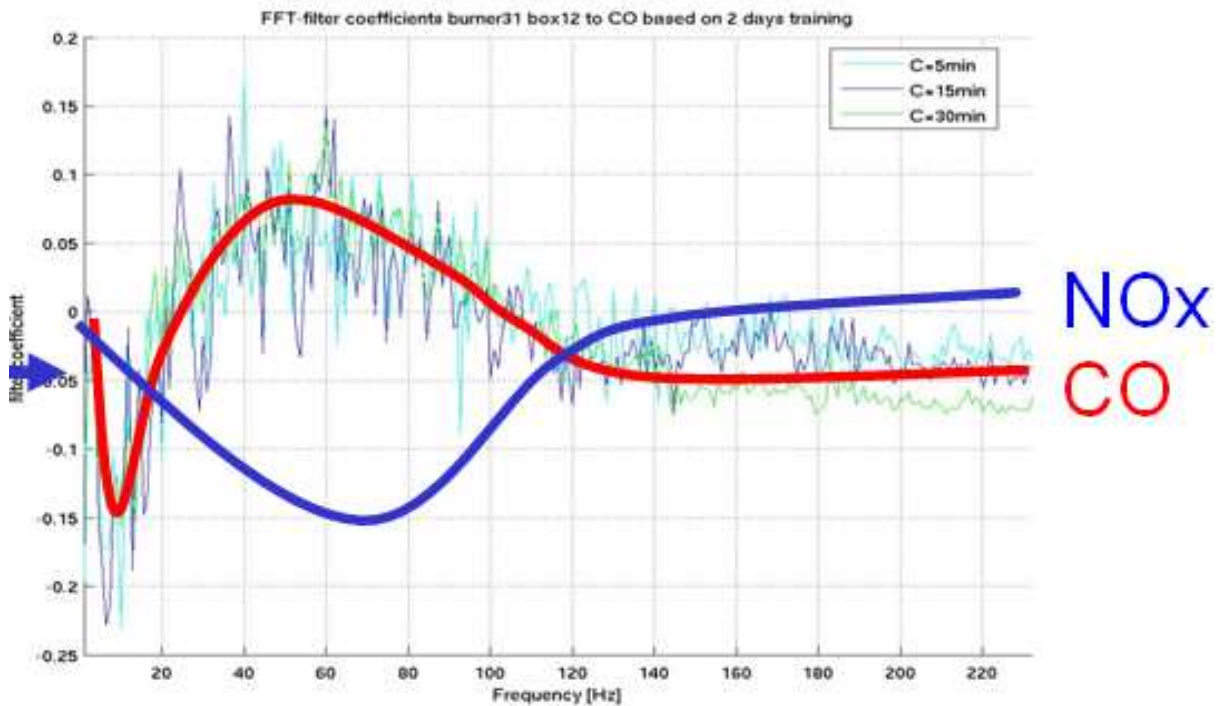
Flammen-Informationen korrelieren mit DCS-Daten

System „Zuteiler, Mühle, Sichter, Brenner“ = Steuerung
 Detektion von Störgrößen (z. B. Kohlequalitätsänderungen, Mühlenzustand, Kohlenstaub-Mengenverteilung, Brenner, Anlagendrift etc.) zur direkten Bewertung und Optimierung der Verbrennung

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion



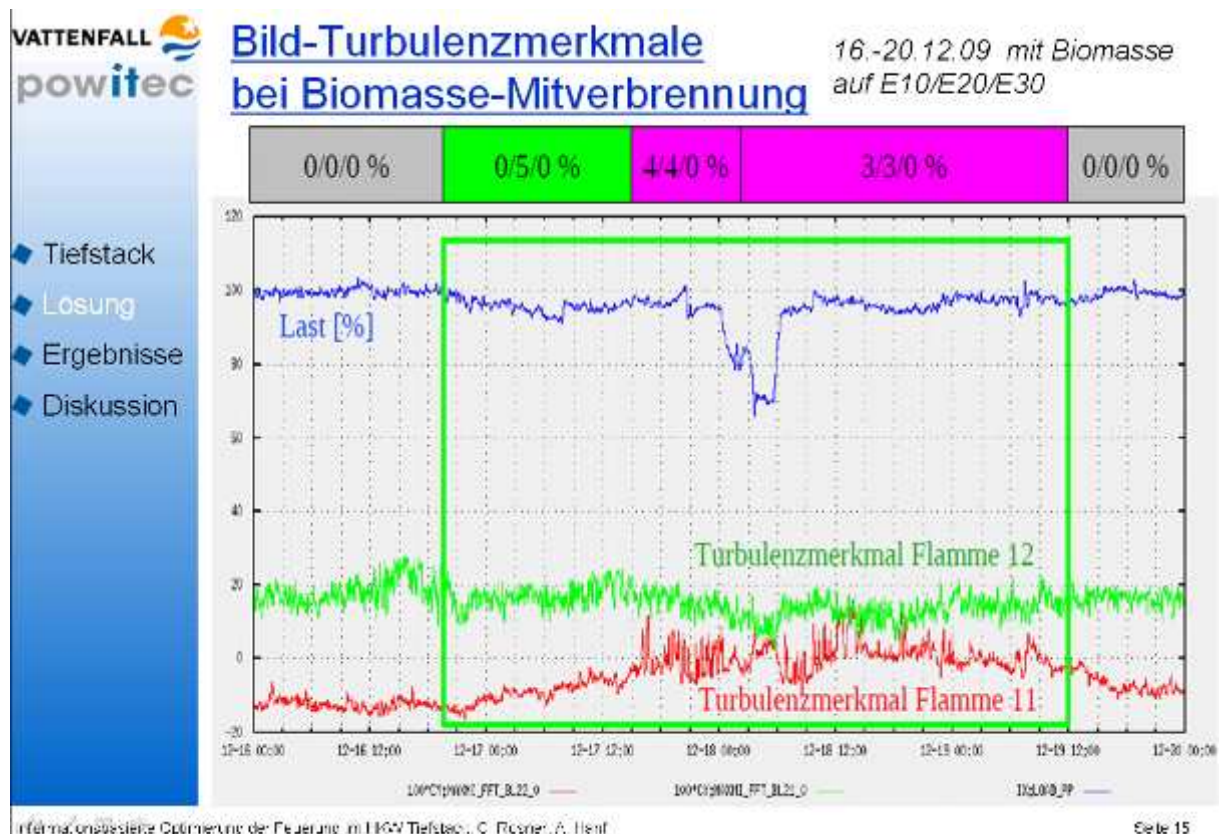
Flammen-Informationen sind bei der Modellbildung von entscheidender Wichtigkeit. Das Powitec System analysiert also selbständig festgelegte Bereiche der Flammen und analysiert aus diesen mit Hilfe einer Fast-Fourier-Transformation über die Veränderungen von Frequenz und Leistung über der Zeit. Diese Daten lassen sich dann mit den Daten des Leitsystems korrelieren und so überprüfen. Dargestellt (hellblaue und türkise Graphen) ist die Analyse des CO-Wertes, gemittelt über 5, 15 und 30 Minuten von Powitec.



Der CO-Wert, gemessen im Rauchgas und aus dem Leitsystem zeitkorrigiert als rote Funktion eingetragen zeigt rein visuell eine hohe Korrelation zu den Powitec Daten.

Somit wird in Tiefstack jeder Brenner, jede Flamme permanent auf den aktuellen Verbrennungszustand hin untersucht und das Brennstoff-/Luft-Verhältnis optimiert. Analysewerte über 5, 15, 30 Minuten


Folie 15:



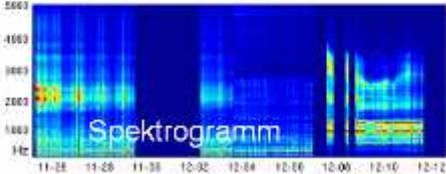
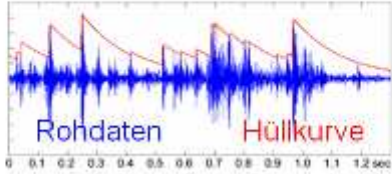

Es wurden ebenfalls Untersuchungen zur Biomasse-Mitverbrennung durchgeführt. Insbesondere Zündpunkt und Turbulenzmerkmale ändern sich signifikant. Dargestellt ist der Anteil der Biomassezuführung (in die Mühlen) auf den Ebenen 10/20/30. Zunächst dargestellt die Turbulenzmerkmale der Flammen auf der Ebene 10 ohne Biomasse. Im grünfarbigen Bereich wurde auf Ebene 20 fünf Prozent Biomasse mitverbrannt und die Turbulenzmerkmale ändern sich nur leicht. Im mangentafarbenen Bereich wurden 4% auf Ebene 10 und 4% auf Ebene 20 bzw. 3% auf Ebene 10 und 3% auf Ebene 20 zugeführt. Die Turbulenzmerkmale ändern sich signifikant.

Dies zeigt, dass die Ergebnisse der Powitec Analysen sehr gut bei der Biomassemitverbrennung verwendbar sind und dabei unterstützen die Auswirkungen zu kompensieren.

Folie 16

VATTENFALL 
powitec

Mahlprozess-Informationen



- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

Örtliche und zeitliche Änderungen von

- Mühlenzuständen
- Ausmahlgrad
- Kohleschlüssel
- Mengen je Kohlenstaubleitung

Informationsbasierte Optimierung der Feuerung im HGW Tiefstack | C. Rosner, A. Henf

Seite 13

Powitec nutzt ebenfalls – wie erwähnt – Informationen des Mahlprozesses. So wird das Mühler-Sichter-Staubleitungssystem mit Vibrationssensoren nicht-invasiv bestückt. In der Regel befinden sich ein bis zwei Sensoren an der Mühle, einer am Sichter und einer je Kohlenstaubleitung an einer Biegung (möglichst der letzten vor dem Brenner). Diese Sensoren können mit Magnet- oder Schweißsockeln angebracht werden und liefern durch verschiedene komplexe statistische Auswertungen Informationen zu

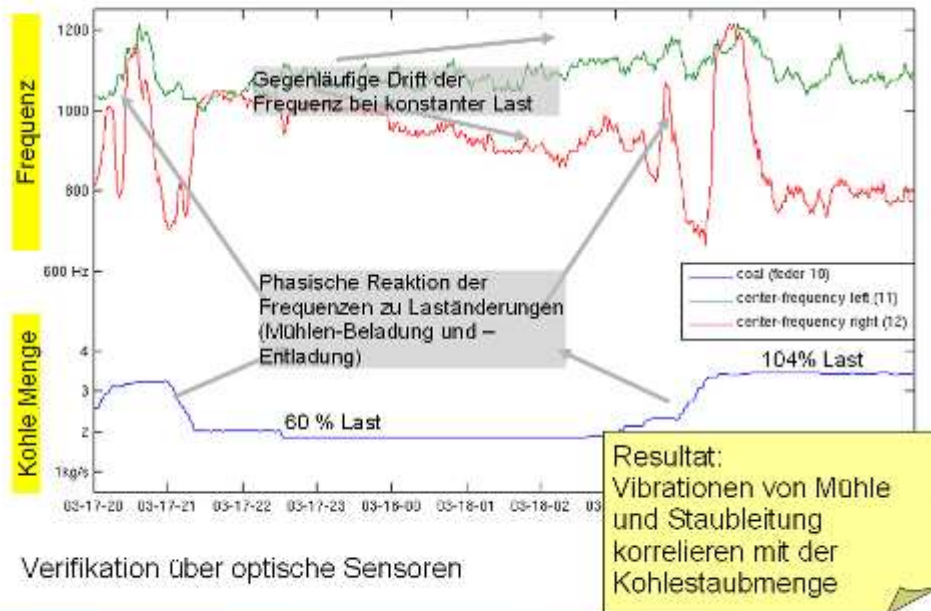
- Mühlenzuständen (wird zur zustandsorientierten Instandhaltung genutzt)
- Ausmahlgrad (da die Korngröße nicht nur die Flamme gravierend beeinflusst sondern auch Korngrößenabhängig unterschiedliche Vibrationen verursacht)
- Kohleschlüssel (der aus den Laborwerten mit den Vibrationssignalen korreliert und daraus erkannt werden kann)
- Kohlenstaub-Mengen je Kohlenstaubleitung

Folie 17

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

Monitoring der Staubleitungen in Tiefstack

Frequenzband-Vergleich bei zwei Staubleitungen über 11 Stunden. Charakteristika der **linken** und **rechten** Leitung (beide aus der Mühle kommend) zeigen die kurzfristige Laständerung und eine langfristige Drift.



Dabei ist diese Ausmahlgrad- und Mengen-Analyse nicht mit einer Messung zu vergleichen, da diese nur Veränderungen und keine Absolutwerte anzeigt.

Dargestellt ist ein Frequenzbandvergleich von linker (grün) und rechter (rot) Staubleitung. Beide Staubleitungen kommen aus einem Mühlen-Sichter-System und zeigen ohne Veränderung der Zuteilergeschwindigkeit oder Sichterzahl eine deutliche Drift, welche impliziert, dass der Kohlenstaubmassenstrom von links nach rechts verlagert hat. Dies verifiziert sich in den Flammenbildern. In Tiefstack war dieses System nur testweise installiert und wird nicht dauerhaft benötigt, da die Brenner einzeln zu beobachten sind.

In anderen Applikationen werden diese Vibrationssensoren eingesetzt, um die optische Analyse zu unterstützen, wenn eine Einzelbrennerbeobachtung nicht möglich ist, oder diese nur aus suboptimaler Position (z. B. E.On Scholven, Frontfeuerung mit 6 bzw. 4 Brennern je Ebene) möglich ist.

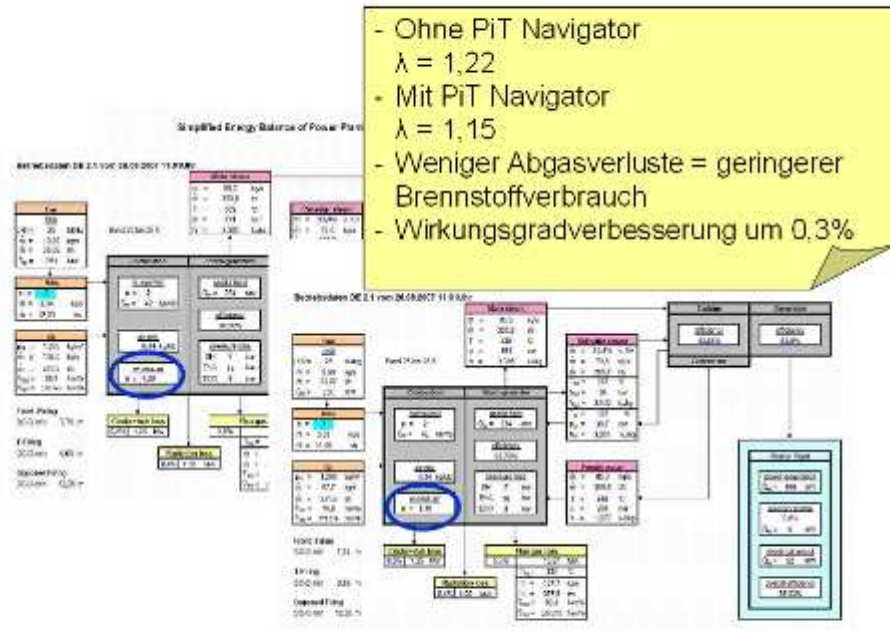
Außerdem wird die Vibrationsanalyse der Mühlen-Vibrations-Sensoren (z. B. bei E.On Schkopau) zur zustandsorientierten Instandhaltung von Mühlen eingesetzt, ohne dort außerdem direkt die Feuerung zu beeinflussen.

Folie 18



Ergebnisse: Energie Bilanz vorher/nachher

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

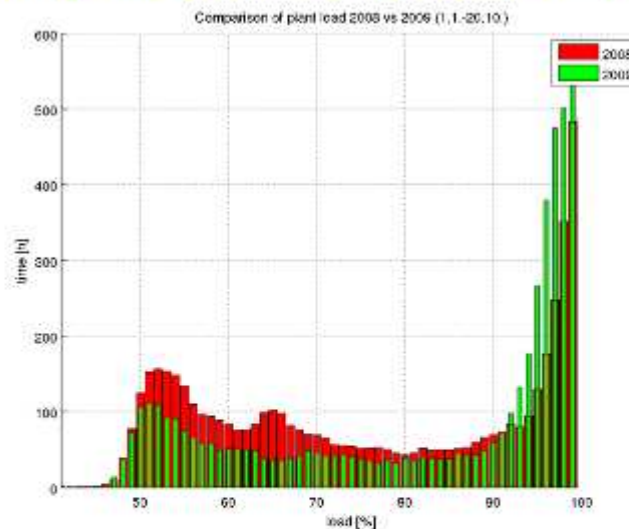


Mit Hilfe eines Berechnungsprogramms wurde eine Energiebilanz vorher/nachher aufgestellt. Diese belegt, dass der PiT Navigator durch eine Lambda-Absenkung von 0,07 eine Wirkungsgradsteigerung von 0,3% erzielt hat. Durch die reduzierten Abgasverluste wurde ein geringerer Brennstoffverbrauch realisiert.

Folie 19

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

Erhöhung der Volllastbetriebsstunden




Durch reduzierte Gesamtluftmenge werden die Gebläse entlastet.

Folge:

- größere Leistungsreserve der Frischluft- und Saugzuggebläse
- Volllastbetrieb auch bei verstärkter Verschmutzung der Gebläse möglich

Insbesondere wichtig und profitabel für Tiefstack ist die Entlastung der Gebläse, die auf den 100% Punkt, also eigentlich zu klein, ausgelegt sind. Durch die reduzierte Gesamtluftmenge werden die Gebläse entlastet. Daraus resultiert eine größere Leistungsreserve der Frischluft- und Saugzuggebläse und der Volllastbetrieb ist auch bei verstärkter Verschmutzung der Gebläse möglich. Die Kurven zeigen die Häufigkeit der Lastzustände in 2008 (rot) und 2009 (grün). Es ist deutlich erkennbar, dass in 2009 mit dem verbesserten PiT Navigator mehr Volllastbetriebsstunden erreicht werden konnten.

Folie 20:

VATTENFALL 
powitec

Resultate Vattenfall Tiefstack

- Dampferzeuger-Wirkungsgrad + 0,3%
durch λ von 1,22 auf 1,15 ≈ 835 t Kohle /a
- Reduzierter Verbrauch Lüfter, Saugzug ≈ 507 t Kohle /a
- Reduzierung Einspritzwasser ≈ 456 t Kohle /a
- CO_2 – Emissionszertifikate ≈ 1.800 t Kohle/a
≈ 180.000 €/a
- CO -12%, NOx -29 mg/Nm³, U_{iA} -14% ≈ 90.000 €/a

Summe > ca. 270.000 € / a (je Kessel)

Einsparungen
> 270.000 € pro
Jahr und Kessel
plus weitere
positive Effekte

- + Signifikant verlängerte Reisezeit
- + Verlängerter Vollast-Betrieb
- + Verbesserte Kesselwandatmosphäre

Informationsbasierte Optimierung der Feuerung im IKW/Tiefstack, C. Rösner, A. Harl

Seite 20

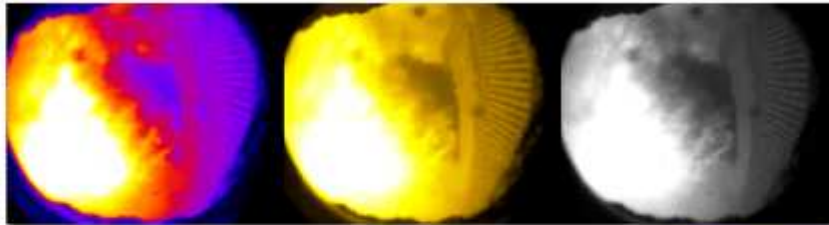
Die Umrechnung der Wirkungsgraderhöhung und die Eigenbedarfsreduktion an Lüfter und Saugzug wurden in Tonnen Kohle pro Jahr umgerechnet. Durch die Vergleichmäßigung der Verbrennung wird die Einspritzwassermenge deutlich verringert. Bei einem Kohlepreis (2009) von 100 € ergaben sich Einsparungen von 180.000 € pro Jahr pro Kessel. Zusätzlich werden Einsparungen durch CO₂-Emissionszertifikate erwirtschaftet.

Nicht monetär bewertet wurden die signifikant verlängerte Reisezeit, der verlängerte Vollast-Betrieb und die verbesserte Kesselwandatmosphäre, die durch den PiT Navigator erzielt werden konnte.

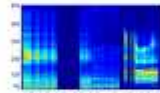
Folie 21:

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

b) Online-Flammen-Merkmale durch Bildverarbeitung



b) Online Mühlen- und Kohle- und Verteilungs-Charakteristik durch Frequenzanalyse



c) Selbstlernende adaptive Feuerungsoptimierung im geschlossenen Regelkreis durch innovative Neuronale Netze



⇒ Aktives Lernen zur permanenten Optimierung des Brennstoff - / Luftverhältnisses führt zu Verringerung der Abgasverluste


Zusammenfassend ermittelt der PiT Navigator permanent online Flammen-Merkmale durch Bildverarbeitung sowie Mühlen-, Kohle- und Kohlenstaubverteilungs-Charakteristika durch Frequenzanalyse. Diese Daten werden mit den konventionellen Daten des Leitsystems in eine hoch-entwickelte Software eingespeist, die sich dadurch auszeichnet, dass sie selbstlernend und adaptiv ist. Die permanente Feuerungsoptimierung erfolgt durch Stellwertkorrekturen. Somit führt aktives Lernen zur permanenten Optimierung der lokalen Brennstoff-/Luft-Verhältnisse, was wiederum zur Verringerung der Abgasverluste führt.

Folie 22:

VATTENFALL
powitec

- ◆ Tiefstack
- ◆ Lösung
- ◆ Ergebnisse
- ◆ Diskussion

- Gegr. 2001
- Ca. 45 Mitarbeiter
- Erfahrung in Kraftwerken seit 30 Jahren
- Mehr als 100 Referenzen
- 16 Kraftwerke mit Powitec ausgerüstet
- 8 Kraftwerksanlagen im closed loop Betrieb
- 38 closed loop Optimierungen insgesamt



IKU
Der Innovationspreis für
Klima und Umwelt

2010: **Innovationspreis für Klima und Umwelt** vom Bundesumweltministerium und dem Bundesverband der deutschen Industrie (BDI). Wissenschaftliche Bewertung durch Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung (ISI).