

Akustische Gastemperaturmessung – eine neue Qualität der Feuerraumsteuerung –

Hans-Paul Drescher, Manfred Deuster und Steffen Wiebach

1.	Vorgeschichte.....	305
2.	Messtechnische Aufgaben.....	306
3.	Akustische Gastemperaturmesstechnik.....	306
4.	Trimmung von Schiefwegen.....	309
5.	Aktive Temperatursteuerung – Wirkungsgrad	313
6.	Aktive Temperatursteuerung – SNCR Betrieb.....	317
7.	Literatur.....	321

1. Vorgeschichte

Für die Nutzung präziser lokaler Temperaturinformationen beim Betrieb von Feuerungsanlagen hat die akustische Gastemperaturmessung (agam) seit ihrer Einführung in den 90-iger Jahren eine gewisse Pionierrolle gespielt.

Die Ergebnisse zeigen, dass Temperaturschiefwegen in Feuerungen sehr empfindlich mit den stöchiometrischen Verhältnissen im Feuerraum korrelieren. So bewirkt eine relativ kleine Änderung der lokalen Stöchiometrie um fünf Prozent – z.B. durch einzelne Brenner oder über dem Rost – bereits eine lokale Änderung am Feuerraumende von etwa 80 bis 120 K.

Alle Kessel mit festen Brennstoffen (Braunkohle, Kohle, Abfall) zeigen zeitweise Temperaturschiefwegen von 200 bis 300 K. Diese sind durch kleine Maßnahmen korrigierbar bzw. werden auch durch kleine Änderungen herbeigeführt oder verstärkt.

Eine aktive Ausregelung der Temperaturschiefwegen wurde in einer MVA erstmalig 2001 vollautomatisiert realisiert [7].

2. Messtechnische Aufgaben

Der Feuerraum (Kraftwerk, Verbrennungsanlage) ist gekennzeichnet durch *widrige* Arbeitsbedingungen bedingt durch:

- breitbandig variable Heizwertqualitäten,
- variable Zünd- und Verschlackungscharakteristika der Einsatzstoffe,
- bislang nicht spezifizierte, optisch *helle* Flugstäube,
- NO_x-arme Verbrennungsfahrweise,
- Wunsch nach niedrigen Luftzahlen.

Zusammen mit dem störenden Strahlungshintergrund der Feuerung sind optisch *helle* Flugstäube ein zusätzliches Problem. Aufgrund dieser *hellen* Stäube treten Übertemperaturen von 100 bis 150 K zusätzlich zu den Übertemperaturen aufgrund *normaler* Schieflagen von 200 K und mehr in der Feuerung auf.

Diese Übertemperaturen ergeben eine Verschiebung der thermischen Lasten in die weiter stromabwärts gelegenen Dampferzeugerbereiche mit Berührungsheizflächen.

Die gewünschte Messinformation betrifft die fühlbare, *wahre* Abgastemperatur ohne jeglichen Einfluss des Strahlungshintergrundes der Feuerung. Thermoelemente sind für diesen Einsatz ungeeignet, da der durch den Strahlungshintergrund bedingte Messfehler 200 K überschreiten kann – abgeschirmte Absaugepyrometer sind für den Dauerbetrieb ungeeignet.

Die Strahlungsthermometrie ist ein sehr altes Verfahren, deren Fehler aufgrund des Strahlungshintergrundes bekannt (VDI/VDE Richtlinie 3511) und vergleichbar mit denen von Thermoelementen sind [8].

Neben dem Strahlungsfehler müssen Einflüsse durch Verschmutzung, Verschlackung und Alterung der prozessnahen Komponenten berücksichtigt werden.

3. Akustische Gastemperaturmesstechnik

Die akustische Gastemperaturmesstechnik ist das jüngste Temperaturmessverfahren. Wesentlich ist die völlige Unempfindlichkeit gegen den Strahlungshintergrund. Der prinzipielle Aufbau des Systems ist in Bild 1 dargestellt. Die Messung beruht auf dem Prinzip, dass zwischen Sender-/Empfängereinheiten (Bild 2) die Schallgeschwindigkeit genau und strahlungsfrei ermittelt und anschließend in eine Temperatur umgerechnet wird.

Bei einer größeren Anzahl von Messpfaden kann das zweidimensionale Temperaturprofil mittels tomographischer Methoden errechnet werden (Bild 3).

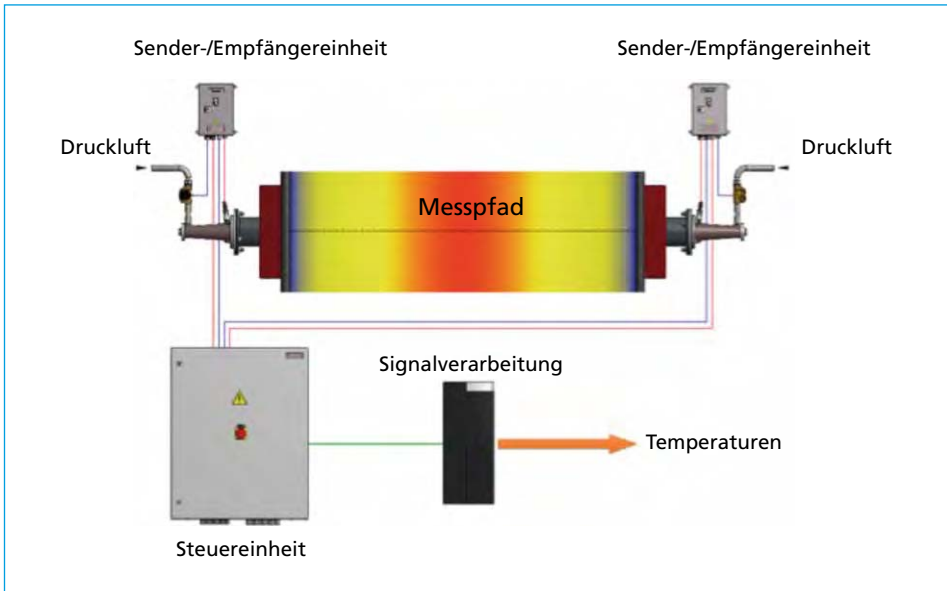


Bild 1: Akustisches Gastemperaturmesssystem (Einzelpfadsystem)



Bild 2:
Sender-/Empfängereinheit

Die Entwicklung in den letzten Jahren geht in eine bestimmte Richtung:

- höhere räumliche Auflösung des zweidimensionalen Temperaturfeldes (Faktor 5),
- Erhöhung der Messgeschwindigkeit (Faktor 10).

Ziel ist eine detailgenaue und schnelle Diagnose von Unregelmäßigkeiten im Feuerraum zum Zwecke der Gegensteuerung durch aktive Maßnahmen.

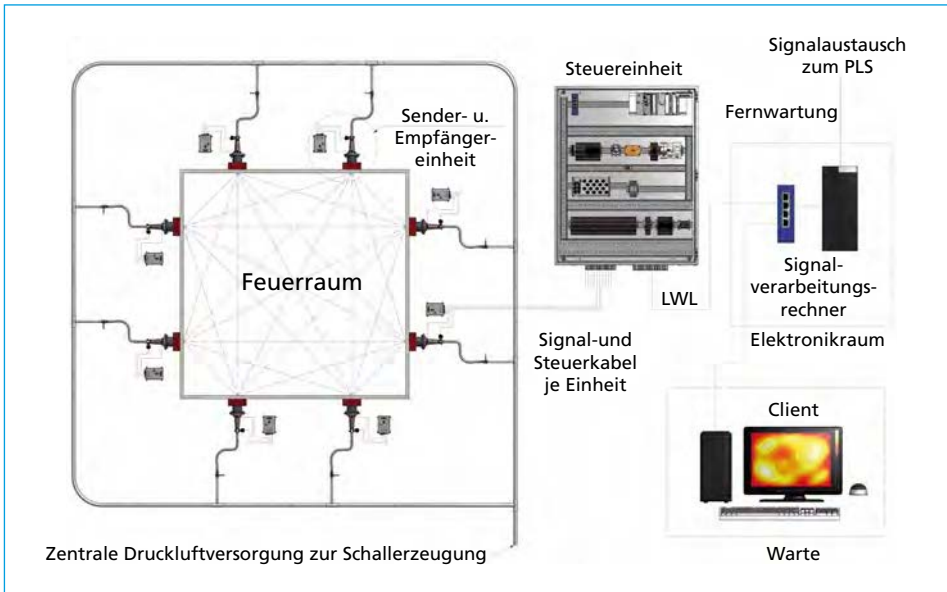


Bild 3: Akustisches Gastemperaturmesssystem (Mehrpfadkonfiguration mit 24 Pfaden)

Während bis vor zehn Jahren die maximale Zahl der Messpfade auf 24 begrenzt war und diese einzeln in vier Sekunden vermessen wurden, gibt es heute Anwendungen mit 100 bis 150 Messpfaden, die zeitgleich – sofern Sichtverbindung besteht – gemessen werden. Hierbei wird jeder Messpfad in beide Richtungen vermessen.

Bild 4 zeigt eine solche jetzt mögliche Anwendung im Kopf eines Hochofens. Die vier Abbildungen in Bild 5 zeigen die zeitliche und räumliche Entwicklung eines sogenannten *Durchbläasers* innerhalb von sechzig Sekunden. Die erste Abbildung zeigt eine noch relativ gleichmäßige Temperaturverteilung, die dritte und vierte Abbildung die Entwicklung von lokalen Heißstellen mit Übertemperaturen bis $> 400\text{ K}$ in einer Minute.



Bild 4:

Akustische Messung im Hochofenkopf

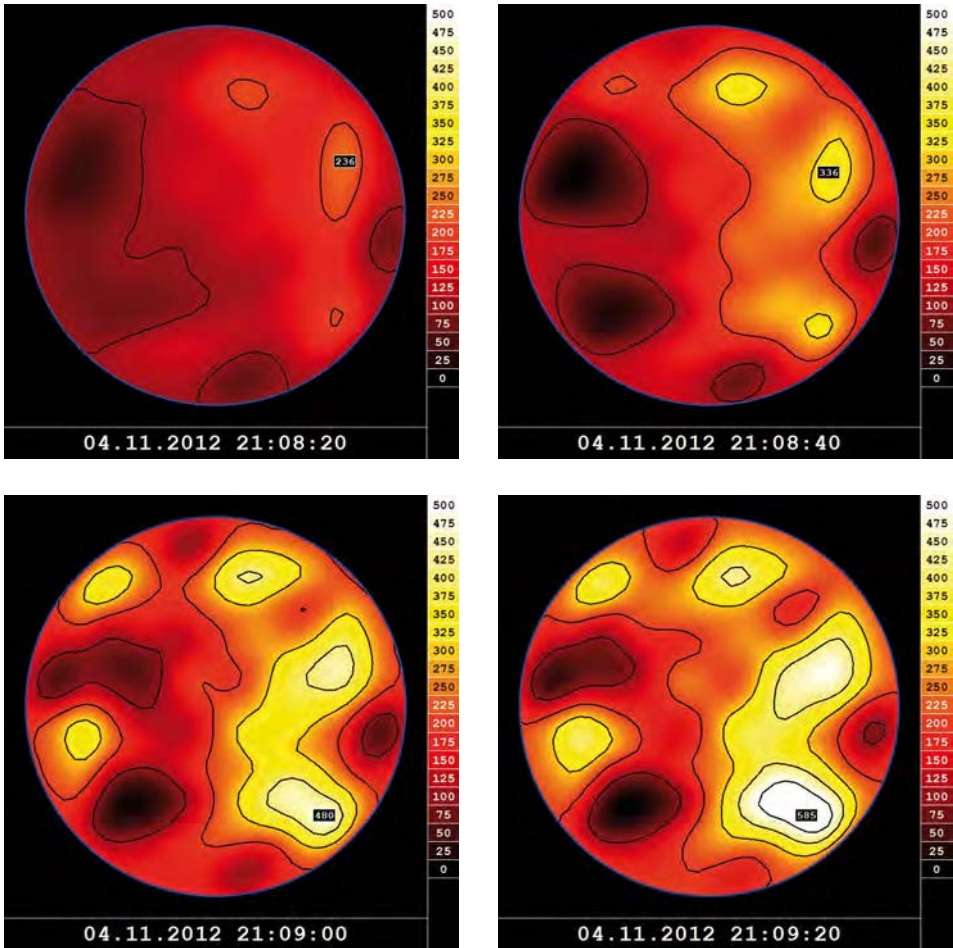


Bild 5: Entwicklung eines *Durchbläusers* in einem Hochofen

4. Trimmung von Schief lagen

Die Beseitigung oder Reduzierung von Temperaturschief lagen ist der Schlüssel zu einem Feuerungsbetrieb mit verbessertem Kesselwirkungsgrad und reduzierten Emissionen.

Temperaturschief lagen sind gleichbedeutend mit Schief lagen im O_2 . Hierbei korrelieren hohe Temperaturen mit niedrigem O_2 (ggf. mit Sauerstoffmangel und CO), niedrige Temperaturen bedeuten Sauerstoffüberschuss und ggf. kaltes CO.

Niedriges O_2 (ggf. Sauerstoffmangel und CO) bedeutet die Gefahr von Korrosion und Anbackungen. Eine reduzierende Atmosphäre hat aber auch Einfluss auf bestimmte Emissionen und deren chemisches Verhalten, wie z.B. die NO_x -Bildung und die Wirksamkeit von SNCR Maßnahmen.

Die Zusammenhänge zwischen lokalen O₂-Konzentrationen, lokalen Temperaturen, CO und der Entstehung von Korrosion und Verschlackung sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Zusammenhänge zwischen O₂, Temperatur, Verschlackung und Korrosion

<ul style="list-style-type: none"> • Lokale Temperaturänderungen korrelieren mit lokalen O₂-Änderungen, dies wesentlich schärfer als die Mittelwerte für O₂ und Temperatur. • Die Messstellen für O₂ und CO erfassen nur begrenzte Zonen des Feuerraumquerschnitts und liefern damit nur eine qualitative Information über Schieflagen. • CO-Spitzen sind immer ein örtliches Problem (lokale Temperaturspitzen, lokaler O₂-Mangel). • Eine Vergleichmäßigung der Temperatur reduziert immer den lokalen O₂-Mangel und damit CO-Spitzen. • Eine Erhöhung der Luftmenge ist als Gegenmaßnahme wenig geeignet. Sie reduziert nur die gemessenen CO-Spitzen, für die Temperaturspitze ist sie nahezu unwirksam.
Chemische Zusammensetzung der Asche, Temperaturniveau sowie das Vorhandensein reduzierender Atmosphäre sind für Verschlackung und Korrosion maßgeblich.
Die genannten Zusammenhänge zwischen Temperatur, O ₂ -Überschuss oder O ₂ -Mangel und CO-Spitzen erklären das nicht gleichmäßige, gelegentlich schlagartige Auftreten massiver Verschlackung. Dabei sind die heißesten Temperaturen zeitlich und örtlich nicht konstant.

Hierbei lässt sich die Größe von örtlichen Temperaturschiefagen und zeitlichen Schwankungen mit der Stöchiometrie (O₂-Überschuss) der Verbrennung wie folgt in Beziehung setzen.

$$\Delta O_2\text{-lokal} \pm 1 \% \quad \Leftrightarrow \quad \Delta T\text{-lokal} \sim \pm 100 \text{ K.}$$

Damit folgt:

$$\begin{aligned}
 1 \% O_2 &\sim 0,05 \lambda \\
 &\sim 5 \% \text{ Heizwertänderung} \\
 &\sim 5 \% \text{ Luftmengenänderung} \\
 &\sim 100 \text{ K Temperaturänderung (lokal)}
 \end{aligned}$$

Dieses bedeutet für den Feuerungsbetrieb, dass kleine Änderungen der Eingangsgrößen große Änderungen der Temperaturen bewirken.

In Bild 6 ist das Ergebnis einer Trimmung an einem 800 MW Dampferzeuger dargestellt. Im Bild oben sind die Temperaturen für 4 Quadranten dargestellt. In der 1. Hälfte liegt eine Schieflage von etwa 100 K zwischen dem Quadranten hinten-rechts (grün) und vorne-links (rot) vor. Nach einer Mühlen/Brennertrimmung ist die Schieflage halbiert. Die Abbildung unten zeigt die Effekte, die Anlage fährt danach ohne CO-Peaks.

Diesen Zusammenhang findet man praktisch immer. Bild 7 zeigt den Einfluss einer automatisierten Vorne-Hinten-Schiefagentrimmung auf die CO-Spitzen in der EBS Anlage Weener [6].

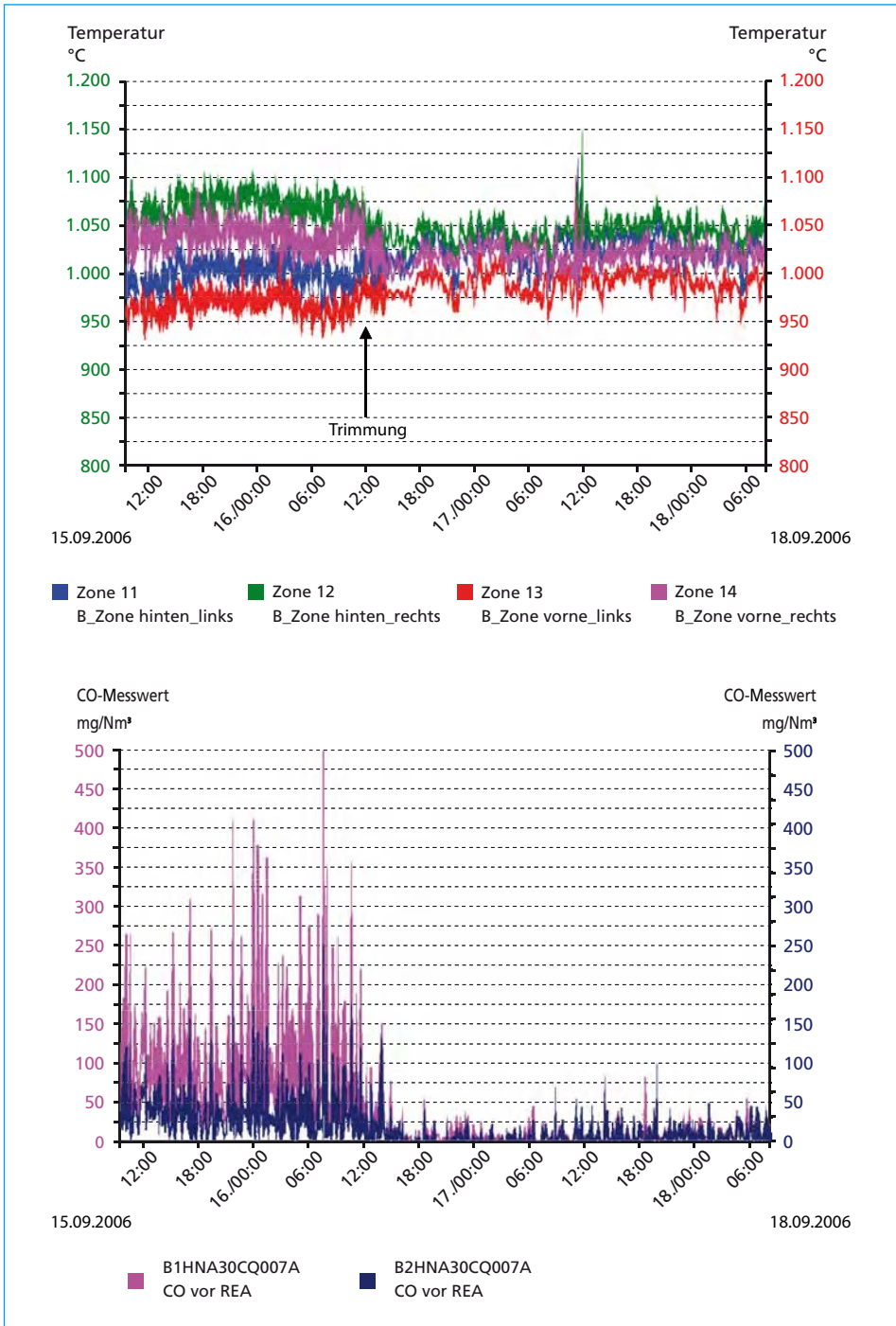


Bild 6: Ergebnisse einer Feuerlagertimmung in einem 800 MW Dampferzeuger (KSP), oben: Temperaturen in 4 Quadranten, unten: CO-Messwerte

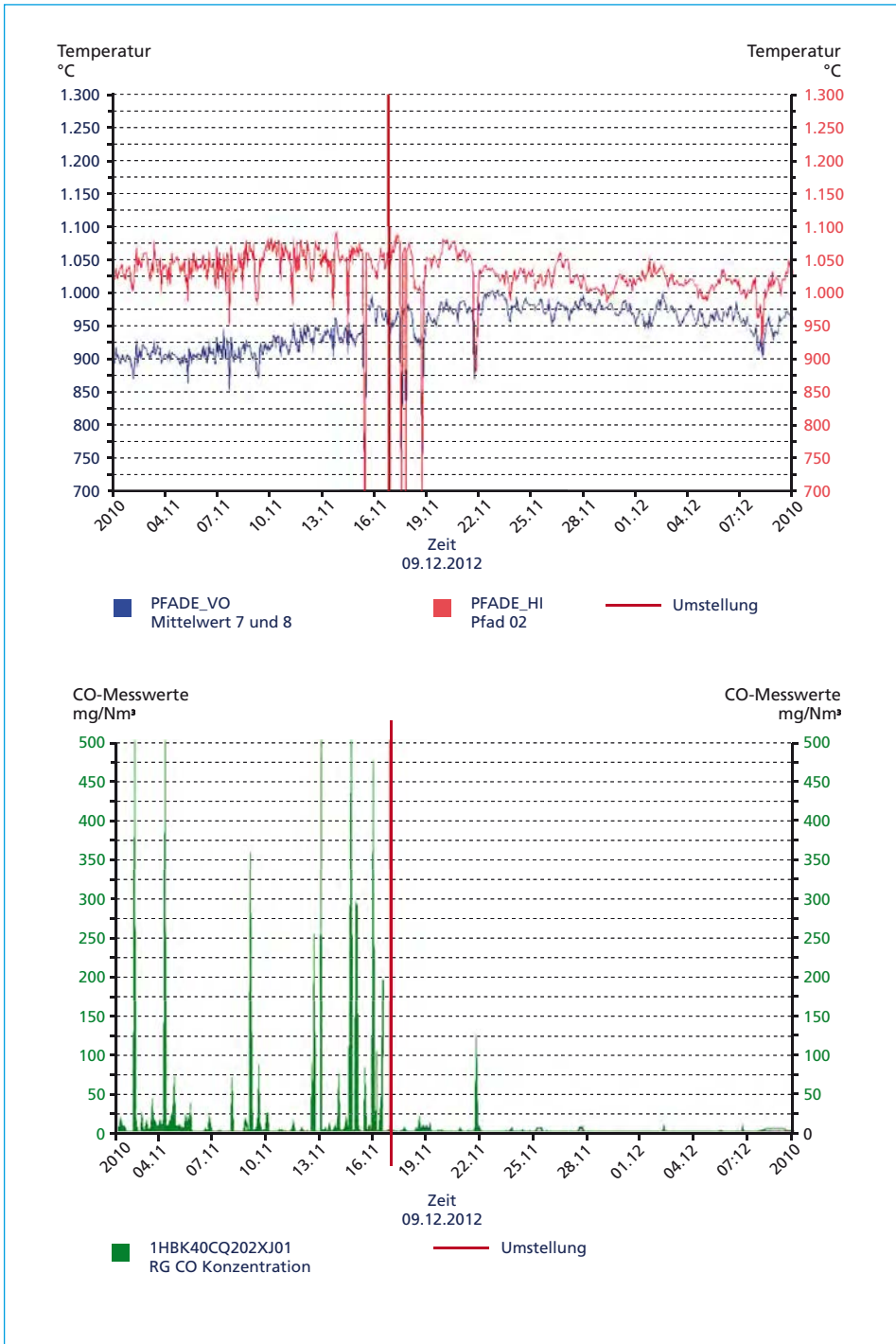


Bild 7: Ergebnisse einer Feuerlageregelung in einer EBS Anlage (Weener Energie, oben: Temperaturen vorne (blau) und hinten (rot), unten: CO-Messwerte)