

# Brennernahe Tomografie in Großkraftwerken

Dr. rer. nat. **T. Merklein**, 3CONS GmbH, Erlangen;  
Dipl. Ing. **H. Hoffmann**, RWE-Power AG; Kraftwerk Neurath;

## Kurzfassung

In zwei Kraftwerken der rheinischen Braunkohle wurden kamerabasierte Analysesysteme installiert. Vier Kameras im Bereich der oberen Staubbrenner wurden für eine tomografische Berechnung der CN- und CO-Bildungsraten, sowie der Temperatur- und Ruß- bzw. Kohleverteilungen verwendet.

## Abstract

A camera based analysis system was installed in two Rhenish lignite fired power plants. Four cameras in the region of the upper pulverized coal burners were used for tomographic calculation of CN- and CO- generation rates, as well as the calculation of the temperature and of the soot respectively coal distributions.

## 1. Einleitung

Im Produktionsbereich der RWE Power wurde die tomografische Auswertung an zwei Braunkohlekesseln getestet, im Kraftwerk Weisweiler am Block G mit Strahlbrennern und in Neurath am Block A mit Rundstrahlbrennern und Luftverdrallung, d.h. mit für Steinkohle typischer Brennertechnik.

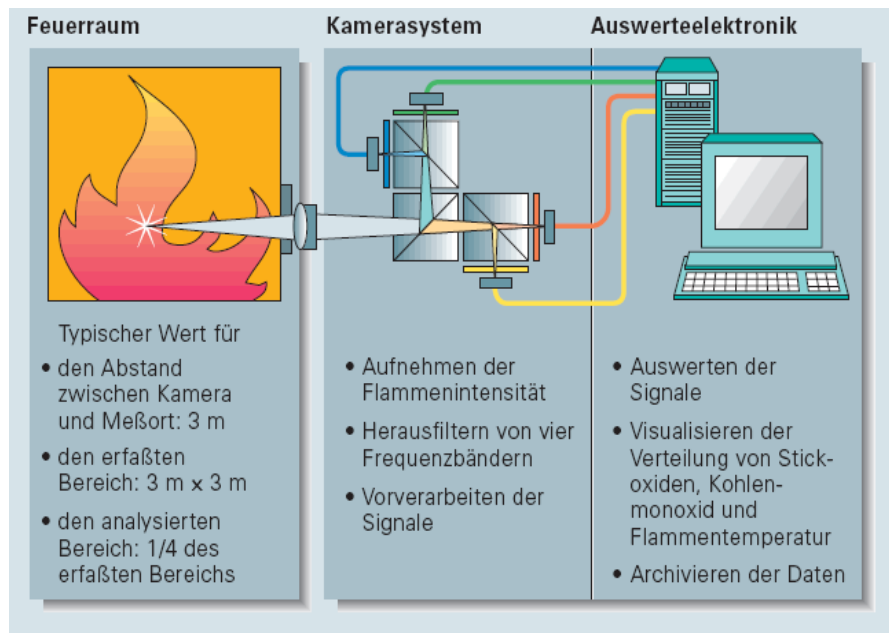
Die Versuche wurden durchgeführt, um das brennernahe Zünden der Braunkohle und die weitere Entwicklung der Verbrennungsprozesse und deren Stabilität im Brennkreis zu überwachen und um Schief lagen der Feuerung und wandnahe CO- Bildung erkennen zu können.

Das Flammenbild ist im wesentlichen durch die lokalen Einstellungen und die Gemischbildung des dazugehörigen Brenner- / Mühlesystems und den Brennstoff geprägt. Es wird vom optischen Analysesystem in verschiedenen Spektralbereichen erfasst.

## 2. Optische Messtechnik

Das System besteht aus einer optischen Messeinrichtung, die die Flammenbilder jeweils eines oder mehrerer Brenner erfasst. Die Optik und die Sensorelektronik des Systems wird durch Druckluft gekühlt und von Ablagerungen freigehalten. Die Daten werden an eine

Datenverarbeitungseinheit weitergegeben, welche die Rohdaten für die Feuerungsregelung aufbereitete.



**Bild 1:** Die Helligkeitsverteilung im Brennraum wird in verschiedenen Farbauszügen aufgenommen und die Bilder mit einem Auswertesystem zu Messwerten umgerechnet

Die gemessenen Intensitäten der von der Flamme ausgehenden Strahlung setzen sich aus der Temperaturstrahlung der Kohlepartikel (Planckstrahlung) und einem Anteil, der charakteristisch für die in der Verbrennung auftretenden chemischen Reaktionen (Chemilumineszenz) ist, zusammen.

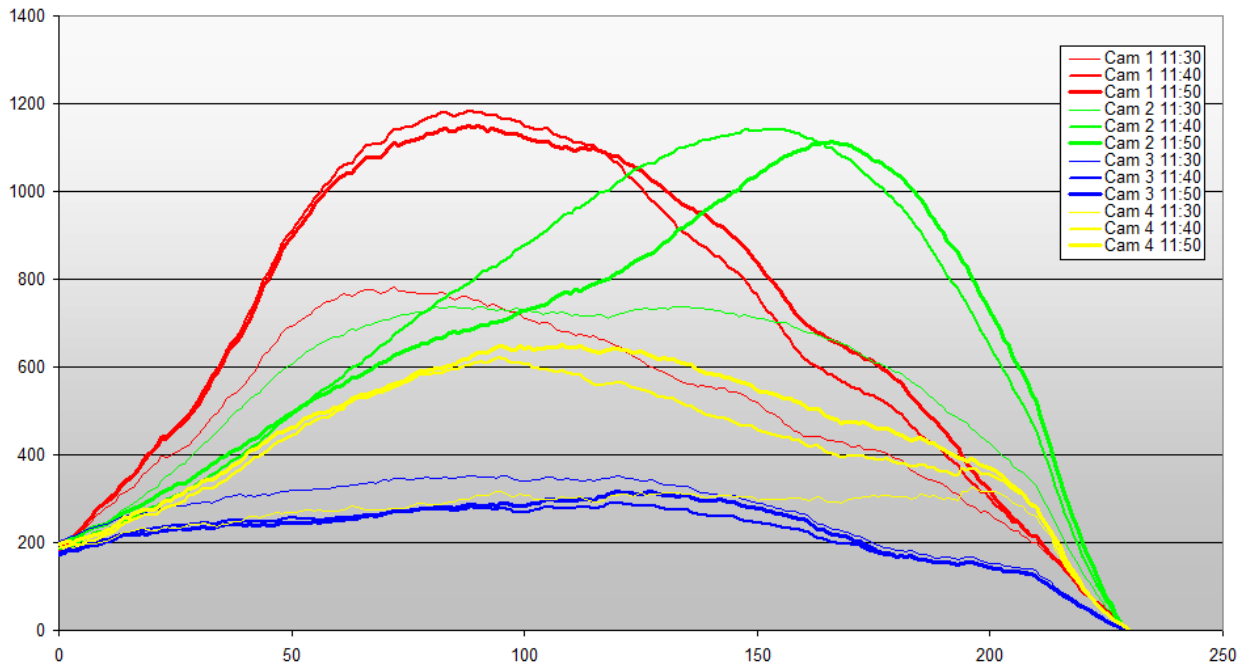
Die Planckstrahlung wird quantitativ bestimmt und aus den Messdaten herausgerechnet. Hierfür kommt die Zweiwellenlängenpyrometrie zum Einsatz. Mit ihr kann die Strahlungstemperatur mit der nötigen Genauigkeit von wenigen Grad Celsius bestimmt werden. Folgende physikalische Messgrößen zur Charakterisierung des Verbrennungsvorgangs stehen in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zur Verfügung:

- Temperatur
- CO-Bildungsrate
- CN-Bildungsrate
- CO/CN als Maß für den lokalen Luftüberschuss

Neben der quantitativen Bestimmung der chemischen Prozesse können geometrische Daten der Flamme, wie z.B. Lage der Verbrennungszone, Ausdehnung, Schwerpunkt, Zündbereich, berechnet werden [1].

### 3. Horizontale Verteilung der Verbrennungszonen

Das folgende Bild zeigt beispielhaft die horizontale Verteilung der CO-Bildung oberhalb der Staubbrenner für drei Zeitpunkte vor, während und nach einem Mühlenwechsel.



**Bild 2:** Horizontale Verlagerung der CO-Bildung im Brennkreis oberhalb der Staubbrenner während eines Mühlenwechsels von Mühle 3 auf Mühle 4.

Speziell bei Kamera 2 (Kesselecke links hinten = grün) ergab sich eine starke Verlagerung von 11:30 (= dünne Linie – die Verteilung lag zunächst mittig) bis 11:50 (= dicke Linie – die Verteilung liegt stark nach rechts verschoben).

Ohne Absorption erscheint ein Gegenstand (bzw. ein leuchtender Bereich im Kessel), je nach Abstand verschieden groß, aber immer gleich hell.

Mit der von Kamera 3 (Kesselecke rechts hinten = blau) gemessenen geringen Intensität wird klar, dass sich vor der Kamera Absorber (Ruß oder Kohle) befunden haben müssen.

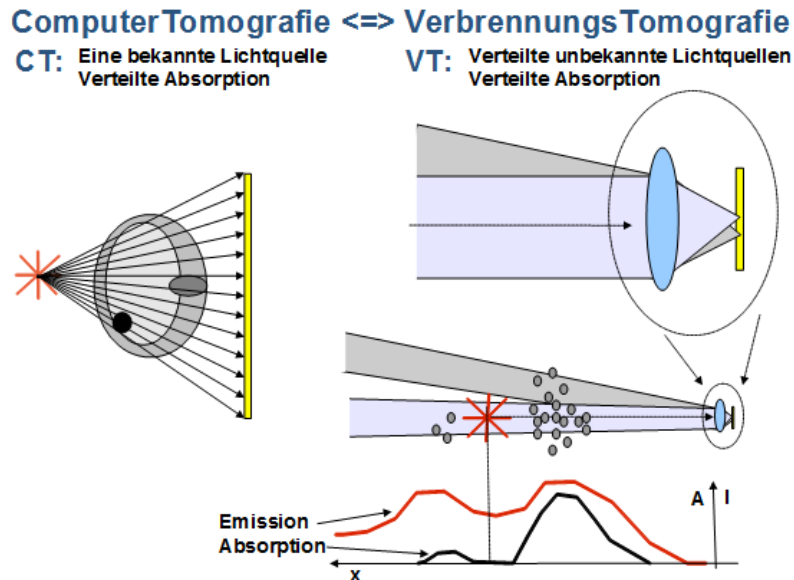
Die Verteilungen im Bild 2 wurden zusätzlich tomografisch ausgewertet und die Verteilung im Kessel berechnet.

### 4. Brennernahe Tomografie

Von den Kameras (Weisweiler Block G 4 Kameras; Neurath Block A 12 Kameras - jeweils 4 in einer Ebene) werden zweidimensionale Intensitätsverteilungen im Bereich der Staubbrenner gemessen.

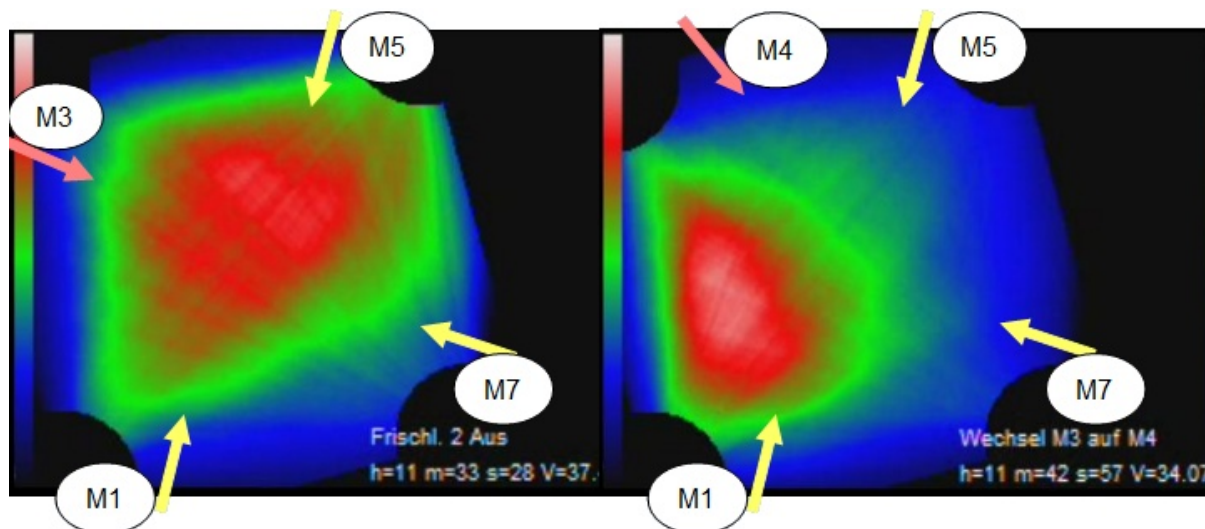
Für die tomografischen Auswertungen wurde jeweils 1 Teilbereich der 4 Kameras einer Ebene wenige Meter (2-3m) oberhalb der oberen Staub Brenner gewählt.

Die Berechnung der Tomogramme ist für alle gemessenen Verteilungen (für die CO- und CN- Bildung, die Absorption, die Temperatur und für das CN/CO-Verhältnis - ein Maß für den lokalen Luftüberschuss) im Sekundentakt möglich.



**Bild 3: Vergleich:** Computertomografie (links) mit der Verbrennungstomografie (rechts)

Der wesentliche Unterschied zur Tomografie in der Medizin ist, dass dort eine bekannte punktuelle Intensität bzw. Röntgenquelle (rot) vorhanden ist. Im Brennraum ist die Verteilung der Emission (rot) und der Absorption (schwarz) zunächst unbekannt.

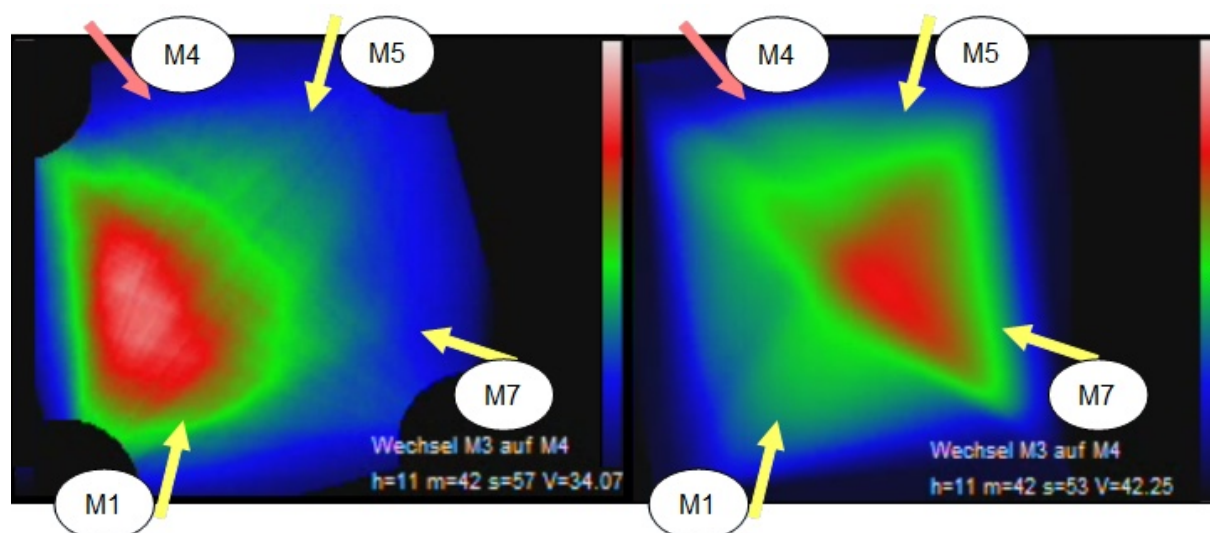


**Bild 4: Tomografie:** Links: Zunächst symmetrischer Betrieb der Mühlen 1 3 5 7; Rechts: Schieflage der Feuerung bei asymmetrischem Mühlenbetrieb

Die starke Verlagerung der CO-Bildung zur linken Kesselwand hin ergab sich durch einen Mühlenwechsel von Mühle 3 auf Mühle 4.

**5. Tomografie in Bereichen mit Absorption**

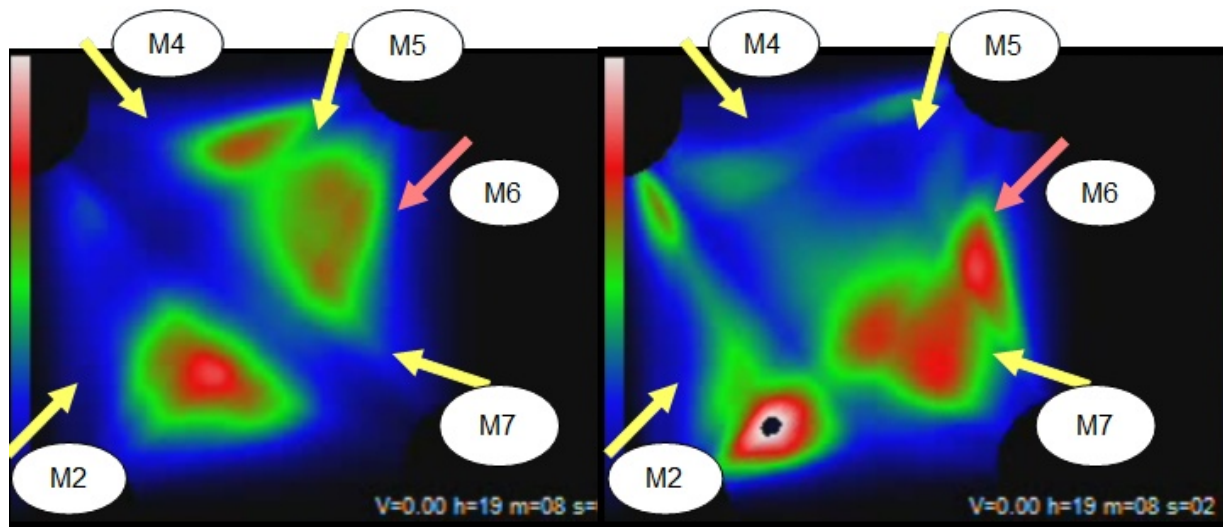
Die Intensitätsunterschiede der Verteilungen (zum Beispiel zwischen den grünen und den blauen Verteilungen im Bild 2) deuten, wie in Kapitel 3 erwähnt, auf Absorber (Kohle oder Ruß) im Brennraum hin. Deshalb wurde die Tomografie Software so erweitert, dass sie auch Bereiche mit Absorption berechnen kann.



**Bild 5: Tomografie:** Schieflage der Feuerung am 7.11.2010

Links: CO-Bildung (= Verbrennung)

Rechts: Absorption durch Ruß oder Kohlepartikel



**Bild 6: Tomografie: Mühle 6 geht in Betrieb**

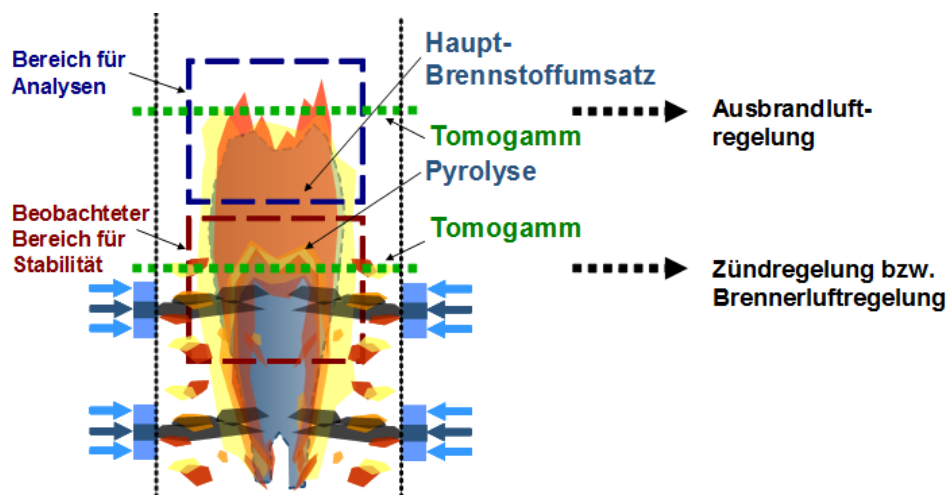
Links: CO-Bildung (= Verbrennung)

Rechts: Absorption durch Ruß oder Kohlepartikel

Die Berechnung für Absorption liefert nur dann Werte, wenn sich der Bereich mit Absorption zwischen einem leuchtenden Bereich und einer Kamera befindet und mindestens eine andere Kamera den leuchtenden Bereich möglichst ungeschwächt erfassen kann.

## 6. Ausblick

Die Tomografie ermöglicht die Beurteilung der Verteilungen von Temperatur, Brennstoff und Verbrennung im Kessel. Eine Zuordnung zu den jeweiligen Brenner- bzw. Luftsystemen ist mit der brennernahe Tomografie direkt möglich. Durch die Kombination der Tomografie mit einem Optimierungssystem zur Effizienzsteigerung und Emissionsminderung kann, den lokalen Gegebenheiten entsprechend, die Brennstoff- und Luftverteilung optimiert werden. Dies ist im folgenden Bild beispielhaft skizziert:



**Bild 7:** Brennerluft- und ABL- Regelung

In einer Ebene kurz oberhalb der Brenner kann die Verteilung und das Zünden des Brennstoffs im Brennkreis überwacht und optimiert werden. Um die Ausbrandluft gezielt einzusetzen, wird ein Tomogramm in einer Ebene unterhalb der Einlässe für die Ausbrandluft ausgewertet.

#### Literatur:

- [1] T. M. Merklein, N. Passmann, F. Wessel: Verbrennungsdiagnosesysteme zur Optimierung von Kohlenstaubfeuerungen. VDI-Fachtagung "24. Deutscher Flammentag Verbrennung und Feuerung", 16./17. September 2009