

**Korrekturversion / Galley proof**

# Zustandserfassung des Zwischenüberhitzers 1 im Kraftwerk Schwarze Pumpe mittels innovativer und effizienter Messtechnik

Thomas Porsche, Andreas Mengel, Jens-Uwe Neumann, Patrick Kozlowski und Lars Barkowski

## Abstract

*Assessment of the condition of reheater 1 at Schwarze Pumpe power station with the use of innovative and efficient measuring equipment*

*This article discusses the use of a new non-destructive testing technology not previously applied in Europe in conventional lignite-fired power plants. The effects of erosion at the Schwarze Pumpe power station led to diminished strength and material fatigue on a large scale and resulted in damage to four boilers. The demand for high levels of plant safety and availability meant that it was necessary to conduct extensive non-destructive tests in order to assess the condition of heating surfaces. This involved examining about 23 km of pipes made of ferromagnetic materials. The work would have taken 44 days using conventional ultrasonic measuring equipment but, by using far-field technology, it was possible to reduce this time to just 14 days. At the same time, this enabled a decrease of around 90% in costs including incidentals. With the aid of the testing technology, 1,626 critical items were identified and then repaired as required in order to guarantee the safe operation of the steam boiler system. The process validation procedure showed that the method which was applied was more accurate in this specific case than the conventional ultrasonic measurement.*

## Autoren

**Dr.-Ing. Thomas Porsche**  
Lausitz Energie Kraftwerke AG  
Jänschwalde, Deutschland

**Dipl.-Ing. Andreas Mengel**  
Lausitz Energie Kraftwerke AG  
Boxberg, Deutschland

**Dipl.-Ing. (FH) Jens-Uwe Neumann**  
**Patrick Kozlowski, M.Eng.**  
Lausitz Energie Kraftwerke AG  
Schwarze Pumpe, Deutschland

**Dipl.-Ing. Lars Barkowski**  
contest GmbH  
Dortmund, Deutschland

## Einleitung

Das Kraftwerk Schwarze Pumpe wird von der Lausitz Energie Kraftwerke AG im Südosten Brandenburgs betrieben. 1998 wurde es in Betrieb genommen und weist einen Wirkungsgrad von mehr als 40 Prozent auf. Primär dient das Kraftwerk zur Bereitstellung von elektrischer Energie. Des Weiteren versorgt es rund 20.000 Haushalte in den Städten Hoyerswerda und Spremberg mit Fernwärme. Eine Brikett- und eine Papierfabrik beziehen ebenso Prozessdampf. Die installierte Leistung der Doppelblockanlage beträgt 1.600 MW. (Bild 1)

Die Dampferzeuger sind überkritisch für die Verbrennung von Lausitzer Braunkohle konzipiert und verfügen über Tangentialfeuerungen. Je 8 Nasskohleventilatormühlen und 16 Kohlestaubbrenner dienen der mechanischen und thermischen Brennstoffaufbereitung und -umsetzung. Je Kessel beträgt die nominelle Dampfleistung 2.420 t/h, mit Frischdampfparametern von 268 bar Druck und 547°C Temperatur. Die Zwischendampfparameter sind 55 bar und 565°C.

## Schadereignisse

Im Bereich der Zwischenüberhitzerheizflächen, speziell in der Zwischenüberhitzung 1, traten in den Jahren 2008 bis 2014 vier Schadereignisse ein. Rund 800 GWh elektrische Energie konnten nicht bereitgestellt werden. Der Zwischenüberhitzer 1 hat eine Fläche von rund 30.700 m<sup>2</sup>, dies entspricht einer Fläche von rund 4 Fußballfeldern. Die Gesamtröhrlänge in diesem Bereich liegt bei ca. 214 km, was der Entfernung zwischen Berlin und Dresden entspricht.

Der Dampf im Zwischenüberhitzer 1 strömt im Gegenstrom zum Rauchgas. Rauchgasseitig liegen sie am Ende der Nachschaltheizflächen und vor dem Economiser.

Die vorliegenden Schäden waren in Brüchen durch Wandstärkenschwächungen begründet. Es zeigten sich großflächige Schädigungen, welche aus dem notwendigen Dampfbläserbetrieb resultierten. Die Dampfbläser dienen der diskontinuierlichen Reinigung, um einen optimalen Wärmeübergang zwischen Rauchgas und überhitzendem Dampf zu gewährleisten.

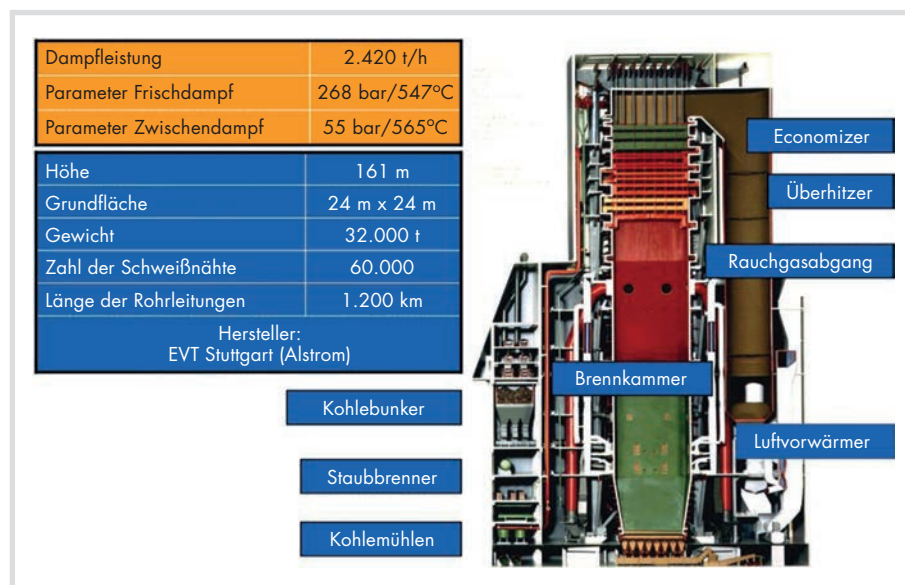


Bild 1. Dampferzeuger im Kraftwerk Schwarze Pumpe.

## Korrekturversion / Galley proof



Bild 2. Geschädigte Wärmetauscherrohre im Zwischenüberhitzer 1.



Bild 3. Geschädigte Wärmetauscherrohre im Zwischenüberhitzer 1 mit Medienwegen.

Durch eine ausführliche Schadensuntersuchung wurde festgestellt, dass die vorliegende Verschleißart Erosion darstellte. Aschepartikel wurden im Dampfstrom der Dampfbläser während des Reinigungsbetriebes transportiert und führten zu Materialabtrag an den Rohrleitungen. (Bild 2 und Bild 3)

### Schadensprävention und Zustandsbewertung

Als Sofortmaßnahme nach dem letzten Schaden im Jahr 2014 wurden die Einsatzzyklen der Dampfbläser reduziert um weitere erosive Schädigungen zu minimieren. Zur Sicherstellung einer hohen Anlagenverfügbarkeit und der Vermeidung weiterer Schäden wurden eine Zustandserfassung der primären Schadbereiche und die Festlegung weiterer Maßnahmen notwendig. Die primären Schädigungen lagen an den Rohren 2 bis 6 vor. Prägnante Schädigungen an den Rohren 1 konnten nicht ermittelt werden, da diese über eine gesonderte Panzerung verfügen. Es ergab sich eine zu bewertende Rohrlänge von rund 23 km. Die baulichen und örtlichen Gegebenheiten erschwerten die Messungen in der Art, dass zwischen den Rohrscheiben lediglich eine lichte Weite von 70 mm vorlag, sowie Ascheanhaftungen lokal vorhanden waren.

Für die Prüfung und Reparatur stand eine Kraftwerksrevision mit maximal 67 Tagen zur Verfügung. (Bild 4)

### Messtechnik

In der ersten Prüfung der anzuwendenden Methodik ergab sich, aufgrund der großen zu bewertenden Umfänge, dass 44 Arbeitstage für die geforderte Zustandsbewertung erforderlich sind. Betrachtet wurden konventionelle Ultraschallmessungen bei 40 Messpunkten pro Meter Rohrleitung. Festzustellen waren Wanddicken mit einem Wert von kleiner 3 mm. Weiterhin hätte sich die Notwendigkeit ergeben rund 4.000

Rohrsicherungen zu lösen, um bestimmte Rohrbereiche messtechnisch zu erfassen. Dieses konventionelle Messverfahren kam somit für die Anwendung nicht in Betracht.

### Fernfeldtechnik

Die contest engineering GmbH stellte im Kraftwerk Boxberg ein Verfahren zur teilautomatisierten Wanddickenmessung von Kesselwänden vor. Es handelt sich hierbei um eine Wirbelstromprüfung, speziell um eine Anwendung der Fernfeldtechnik (RFT, engl. remote field technology). Der Einsatz der Messmethodik erfolgte anfänglich bei der Prüfung von Rohren zum Transport von Erdgas und Erdöl. Die Rohr-

leitungen unterliegen hierbei einer Schädigung durch korrosiven Abtrag auf der Rohrrinnen- und Rohraußenseite. Ziel bei der Verfahrensentwicklung war die Bereitstellung einer Messtechnologie zum Nachweis der beidseitigen Schädigungen, bei Zugänglichkeit auf der Rohrinneinnenseite. Die Fernfeldtechnik zur Bestimmung von Wanddicken im Bereich der Energieerzeugung, der Petrochemie, der Chemie- und Gasindustrie ist im nordamerikanischen Raum seit den Neunzigerjahren des 20. Jahrhunderts recht weit verbreitet. Die American Society for Testing and Materials hat für das Messverfahren im Bereich von Wärmetauscherrohren erstmalig im

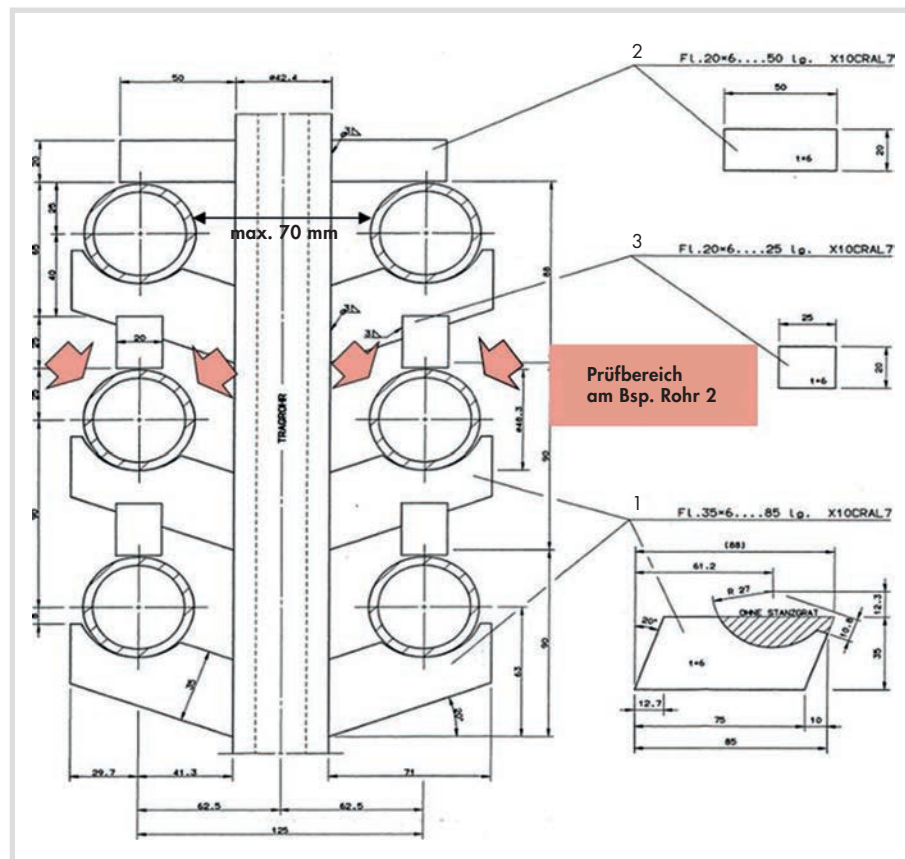


Bild 4. Zeichnungsauszug der Rohraufhängung.

## Korrekturversion / Galley proof

Jahr 2000 eine Norm erlassen, welche inzwischen mit der dritten Überarbeitung vorliegt und die Anwendung für installierte Rohrleitungen in Wärmetauschern reglementiert. Die Verfahrensgrenzen liegen hier, gemäß E2096M-10, bei ferromagnetischen Rohrleitungen mit einem Außendurchmesser kleiner als 12,7 mm bzw. größer als 50,8 mm. Die zulässigen Wandstärken werden zwischen 0,71 mm und 3,4 mm definiert. Das vorgestellte Verfahren ist eine Adaption der Niederfrequenzwechselstromtechnik mit Messfrequenzen zwischen 10 Hz bis 500 Hz, welches berührungslos arbeitet. Anwendbar ist es für ferromagnetische Werkstoffe, bei einer maximalen axialen Messgeschwindigkeit von 7 m/min und für Rohrleitungen mit einem Außendurchmesser von 48 mm bis 200 mm bei einer maximalen Wandstärke von 9,5 mm. Eine Sonde induziert hierbei in die Rohrwandung einen Strom, dieser bildet ein Magnetfeld aus, welches detektiert wird. In Abhängigkeit von vorliegenden Strukturen, beispielsweise Bauteilgeometrie, Wandstärke, Materialfehler, etc., bildet sich das durch die Induktionsströme verursachte Magnetfeld aus und lässt Rückschlüsse auf den IST-Zustand zu. Im mitteleuropäischen Raum war die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mittels Fernfeldtechnik nicht in den gängigen Regelwerken vertreten. Speziell im Kraftwerksbereich lagen keine fundierten, industriellen und öffentlich zugängliche Erfahrungen vor. Für den europäischen, speziell dem deutschen Raum, stellte die Anwendung dieser Technologie eine Innovation dar. Weiterhin ist hervorzuheben, dass die Risiken der Messstellenvorbereitung weitestgehend entfallen, da das Messverfahren berührungslos arbeitet.

### Anwendung im Kraftwerk Schwarze Pumpe

Das vorgestellte Verfahren wurde für die Anwendung in Betracht gezogen, da die Rohrleitungen im Zwischenüberhitzer 1 einen nominellen Außendurchmesser von 48,3 mm und eine nominelle Wandstärke von 4 mm aufweisen. Die Werkstoffgüte ist 13CrMo44 (1.7335). In Zusammenarbeit zwischen der Lausitz Energie Kraftwerke AG, der contest engineering GmbH und der TÜV Rheinland AG wurde ein Prüfkonzept erstellt. Zur Qualifizierung wurde eine Validierung des Messverfahrens in Anlehnung an die Richtlinie VGB-R 516 (Methodik für das Vorgehen bei der Qualifizierung von zerstörungsfreien

Prüfungen) durchgeführt. Hierzu wurden demontierte Rohrabschnitte in der Wandstärke mittels einem kalibrierten Messschieber und dem anzuwendenden Verfahren beurteilt. Als maximaler Messfehler wurden 13 Prozent ermittelt und als mittlerer Fehler 4 Prozent. Gleichzeitig wurden vergleichende Ultraschallmessungen

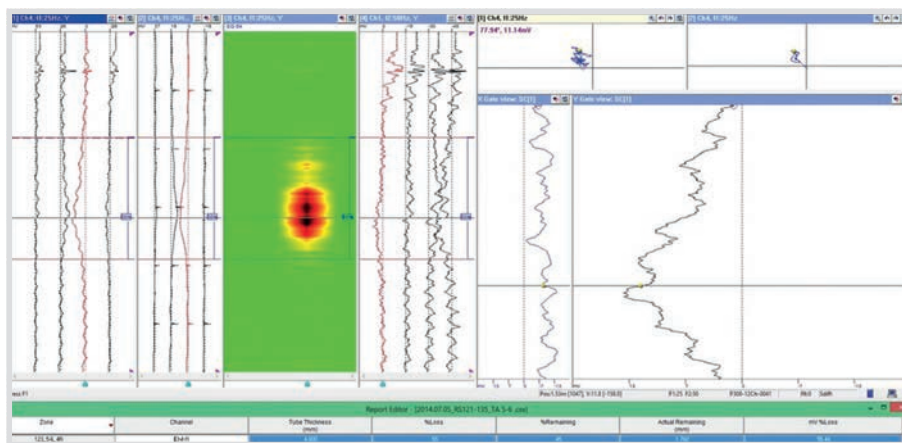


Bild 5. Darstellung einer Validierungsmessung.

durchgeführt. Hierbei ergaben sich maximale Fehler von 22 Prozent und ein mittlerer Fehler von 9 Prozent. (Bild 5) Aus den erzielten Erkenntnissen wurde gefolgert, dass das Fernfeldmessverfahren angewendet werden kann, unter der Einschränkung, dass flächige Wanddickenminderungen mit einer Länge von mehr als 2 cm nachweisbar sind. Im expliziten Einsatzfall zeigte die Fernfeldtechnik, wie aus den Daten ersichtlich, geringere Messfehler, als die im Validierverfahren applizierte konventionelle Ultraschallmesstechnik. Standardmesstechnik konnte durch die örtlichen Gegebenheiten nicht verwendet werden. Die contest engineering GmbH stellte für den speziellen Einsatzfall anwendungsorientiert Messköpfe her. Es kam eine Messsonde zum Einsatz, welche prismatisch geführt und automatisiert die Prüfumfänge abfährt. Gleichzeitig fand eine eigenständige Wegmessung statt, eine Umsetzung der Messwerte in Wanddicken und eine automatische Messwertaufzeichnung. Durch die erzielte geringe Baugröße war es nicht notwendig Rohrsicherungen zu demontieren, um sogenannte Gassen zu ziehen. Das Ziehen von Gassen ist hierbei ein Aufspreizen der Rohrscheiben gegeneinander, um die Zugänglichkeit zu erhöhen. (Bild 6) Zur Anwendung kam ein Fern-

feldgerät in Verbindung mit angepasster Auswertesoftware. Die axiale Auflösung der Messung betrug hierbei rund 2,5 mm in der Rohrlänge. Innerhalb von 14 Tagen wurden alle geforderten Prüfumfänge umgesetzt. Regelmäßige Kalibrierungen der Messtechnik sicherten zuverlässige Ergebnisse. Insgesamt konnten 1.626 kritische Positionen ermittelt werden. Nachfolgend wurden 847 Positionen, durch Passstückwechsel, instandgesetzt, um einen sicheren Betrieb der Kesselanlage zu gewährleisten. Im Rahmen der Instandsetzung erfolgten Durchstrahlungsprüfungen an allen Schweißnähten, welche im Rahmen der Rohrwechsellumfänge gefertigt wurden. Die ausstehenden 779 Positionen werden im Jahr 2018 gewechselt, um eine langfristige Anlagensicherheit und Anlagenverfügbarkeit zu gewährleisten. (Bild 7)

### Fazit

Durch die Anwendung von Fernfeldtechnik konnten die Kosten zur Prüfung auf rund 10 Prozent, verglichen mit konventioneller Ultraschalltechnik, gesenkt werden. Die Zeit zur Prüfung der Umfänge reduzierte sich von ursprünglich 44 geplanten Tagen auf 14 Tage. Eine Behinderung von ande-

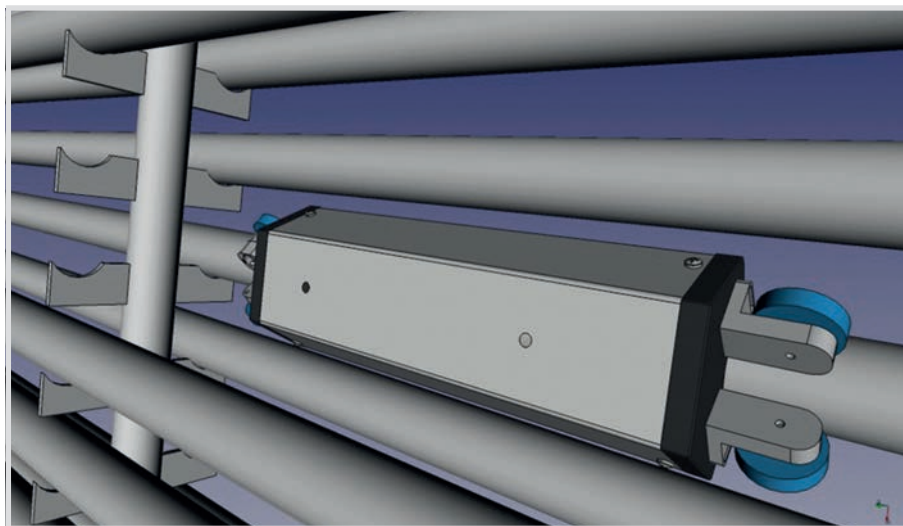


Bild 6. CAD-Darstellung des Messtechnikeinsatzes.

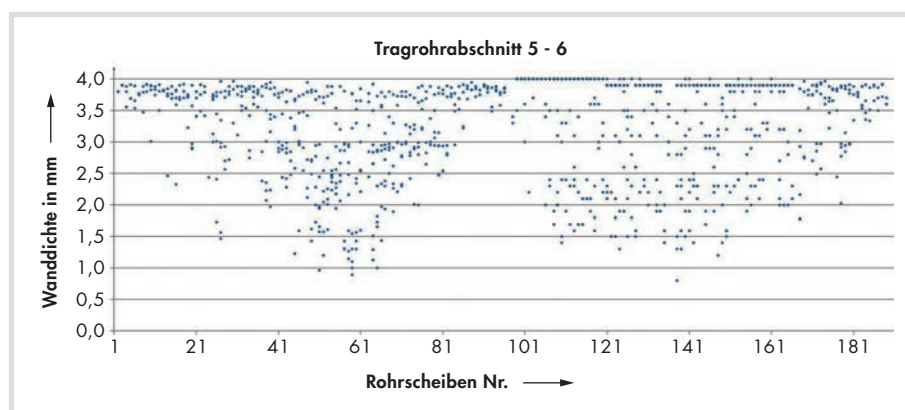
***Korrekturversion / Galley proof***

Bild 7. Darstellung der Wanddickenverteilungen.

ren Gewerken in der Revision fand nicht statt, da vorbereitende Maßnahmen minimiert werden konnten und keine sogenannten Gassen gezogen werden mussten. Es konnte weiterhin ein deutlich kleineres Messraster, verglichen mit Ultraschallmessungen, umgesetzt werden. Es ist somit der Fall, dass die Aussagefähigkeit der Mess- und Prüfergebnisse qualitativ als höherwertiger anzusehen sind und eine Zustandsbewertung mit einer besseren Güte vorliegt. Die Anwendung des Messverfahrens kann nicht nur als effektiv, sondern, im Vergleich zur konventionellen Ultraschallmessmethodik, als effizient betrachtet werden.