

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING
AND INFORMATION SCIENCE**



**INFORMATION TECHNOLOGY AND
ELECTRICAL ENGINEERING -
DEVICES AND SYSTEMS,
MATERIALS AND TECHNOLOGIES
FOR THE FUTURE**

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=12391>

Impressum

Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff

Redaktion: Referat Marketing und Studentische
Angelegenheiten
Andrea Schneider

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Susanne Jakob
Dipl.-Ing. Helge Drumm

Redaktionsschluss: 07. Juli 2006

Technische Realisierung (CD-Rom-Ausgabe):
Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau
Dipl.-Ing. Christian Weigel
Dipl.-Ing. Marco Albrecht
Dipl.-Ing. Helge Drumm

Technische Realisierung (Online-Ausgabe):
Universitätsbibliothek Ilmenau
[ilmedia](#)
Postfach 10 05 65
98684 Ilmenau

Verlag:  Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V.
Werner-von-Siemens-Str. 16
98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2006

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung der Redaktion strafbar.

ISBN (Druckausgabe): 3-938843-15-2
ISBN (CD-Rom-Ausgabe): 3-938843-16-0

Startseite / Index:
<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=12391>

E. Kulagina / V. Lunin / H.-U. Seidel / A. Bock

Analyse von Wirbelstrom-Signalen bei der Kontrolle von Dampferzeugerrohren

Modelling and simulation of electromagnetic field problems

Die Wirbelstrommethode wird bei der zerstörungsfreien Kontrolle von metallischen Erzeugnissen, insbesondere bei der Inspektion von Rohren bei Dampferzeugern in Atomkraftwerken, häufig verwendet.

Wegen der komplizierten Methodik der Kontrolle ist die Analyse der experimentellen Daten sehr zeitaufwändig. Die Kontrollergebnisse können wegen des Einflusses subjektiver Faktoren falsch sein. Rauschen in den Signalen und eine Reihe weiterer Störfaktoren, die insbesondere von den konstruktiven Elementen ausgehen, erschweren die Datenauswertung.

Ein typisches Atomkraftwerk hat mehrere Dampferzeuger. Der Dampferzeuger ist ein Wärmeübertrager mit einer großen Anzahl von Rohren (Abb.1). In der letzten Zeit ereignen sich die Ausfälle solcher Dampferzeugerrohre wegen der Degradationsprozesse im Metall immer häufiger. Deswegen wurde ein Großteil der Atomkraftwerke des Typs WWR (Wasser-Wasser-Reaktor) abgeschaltet und bis zu 20 % der Rohre stillgelegt. Die Gesamtzahl der jährlich stillgelegten Dampferzeugerrohre beträgt ca. 10.000 bis 12.000. Das bedeutet, dass die Anzahl der defekten Rohre in den meisten WWR-Kraftwerken nahe der zulässigen Grenze ist.

Die Häufigkeit und die Folgen des Abschaltens von Rohren der Dampfgeneratoren können durch entsprechende und termingemäße Inspektionen mittels zerstörungsfreier Kontrolle und durch den Ersatz der beschädigten Rohre bedeutend verringert werden. Die Mehrzahl der Dampferzeuger wird in der Regel bei ihrer Abschaltung und Abkühlung überwacht, wenn ihre inneren Strukturen zugänglich für die Inspektionsausrüstung sind.

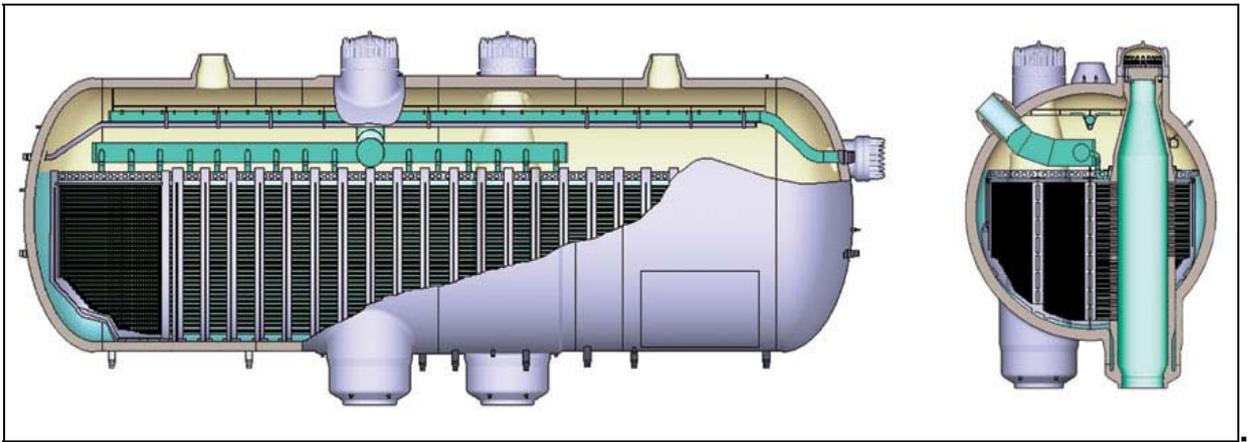


Abb. 1: Horizontaldampferzeuger

Dieser Zustand kann auch für die Reparatur der entdeckten defekten Rohre genutzt werden. Dabei besteht das Problem in der Richtigkeit der Kontrolle der Rohre und der Übermittlung des Befundes. Die Forderungen zur Kontrolle der Rohre und das Kriterium der Brauchbarkeit für die Nutzung ändern sich je nach Land und manchmal unterscheiden sie sich sogar für verschiedene Kraftwerke innerhalb eines Landes. Das ist von den unterschiedlichen Konstruktionen der Dampferzeuger abhängig. Infolge der Vielzahl eingesetzter Materialien sind bestimmte Sektoren eines Kraftwerkes für verschiedene Zerstörungsprozesse anfällig. Das entsprechende Niveau der Sicherheit des Dampferzeugers und des Kraftwerkes kann nur von einer bestimmten Kombination der Forderungen zur Kontrolle und der Brauchbarkeit für die Nutzung insgesamt erreicht werden.

Eine der perspektivreichsten Inspektionsmethoden ist die Wirbelstrom-Mehrfrequenzkontrolle. Diese Methode gewährleistet das sichere Entdecken von Schädstellen und die Informationsgewinnung bezüglich der konstruktiven Elemente der äußeren Seite des Rohres, z.B. der Dampferzeugergitter, der Schwingungsschutzgitter oder des Kollektors. Diese Elemente erzeugen bedeutende Veränderungen im Wirbelstromsignal und können das Signal des Defekts maskieren (Abb. 2). Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass sie verhältnismäßig schnell erlaubt, die Kontrolle des Rohres durchzuführen, die Defekte zu entdecken und die unerwünschten Faktoren zu unterdrücken.

Die realen Signale, die in der vorliegenden Arbeit verwendet werden, wurden bei der planmäßigen Kontrolle des Dampferzeugers eines Atomkraftwerkes gewonnen.

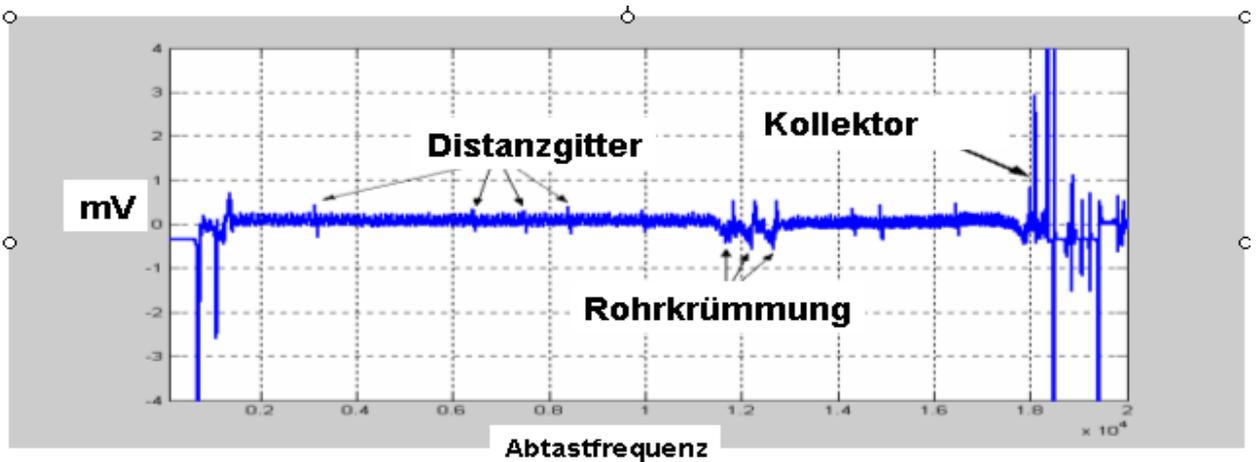


Abb. 2: Ein Signal von der Röhre des Dampferzeugers

Die Kontrolle wurde mit folgenden Frequenzen durchgeführt: 280 kHz, 130 kHz, 60 kHz. Es erfolgte auch die Verwendung kombinierter Signale - eine Mischung von Signalen zweier Frequenzen - die es erlauben, bestimmte Arten von Störungen auszuschließen.

In der Arbeit wurden die Spektralcharakteristiken von experimentellen Signalen erforscht und als Ergebnis die Parameter des Filters für die Vorverarbeitung der Signale ausgewählt. Die Verwendung eines Niederfrequenz-Butterworth-Filter zeigt Abb.3. Die relative Grenzfrequenz wurde unter Berücksichtigung des Scanschrittes und der minimalen Signaldauer von detektierbaren Defekten dreimal so groß wie die theoretisch ausreichende gewählt.

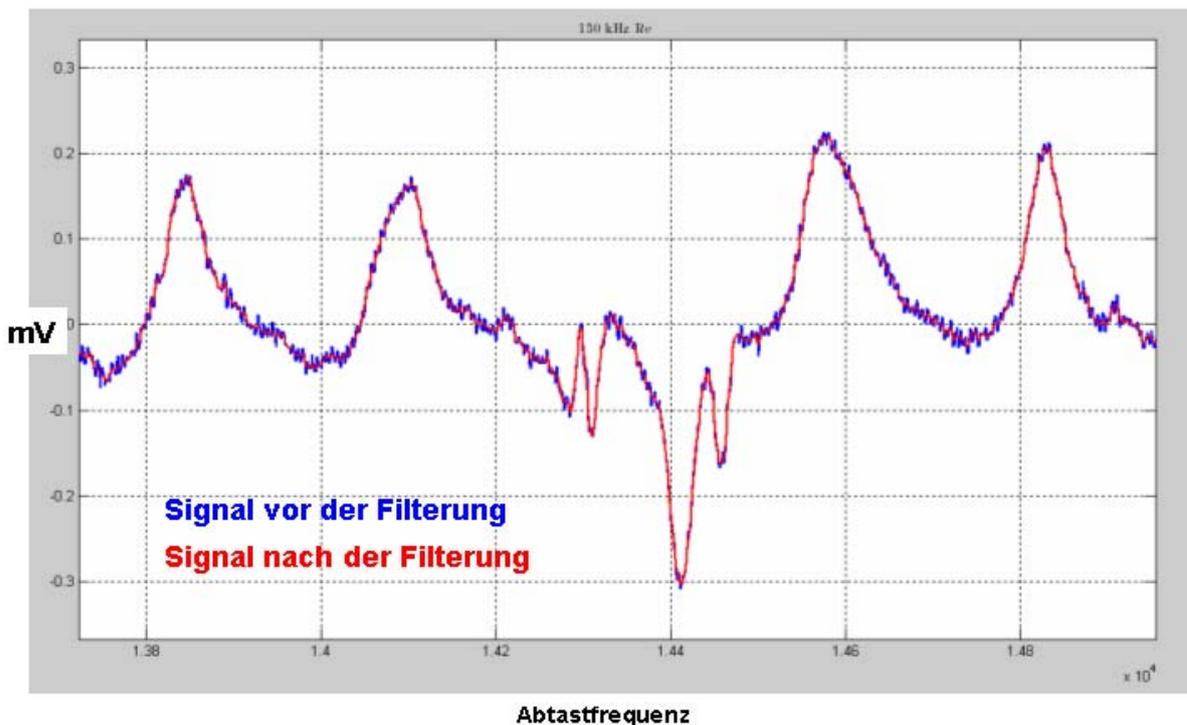


Abb. 3: Resultate der Butterworth-Filterung

Desweiteren wurde für die Vorverarbeitung ein Wiener-Filter verwendet, dessen einer Parameter die Länge des Fensters ist. Für die Glättung ohne Veränderung der Signalamplituden wird ein Fenster der Länge von 5 Einheiten verwendet. Die Separierung der konstruktiven Elemente wird in einem Fenster der Länge größer als 30 Einheiten durchgeführt.

Die Abb.4 zeigt das Ergebnis der Anwendung des Wiener-Filters mit einer Fensterlänge von 60 Einheiten. Das Signal-Rausch-Verhältnis nimmt zu und gleichzeitig ändert sich die Form des Signals und die Größe „peak-to-peak“, was zu Fehlern bei der Bestimmung der Parameter der Defekte führt. Die Anwendung eines Filters mit einer Fensterlänge größer als 30 Einheiten ist für die Glättung des Signals und für die visuelle Kontrolle empfehlenswert.

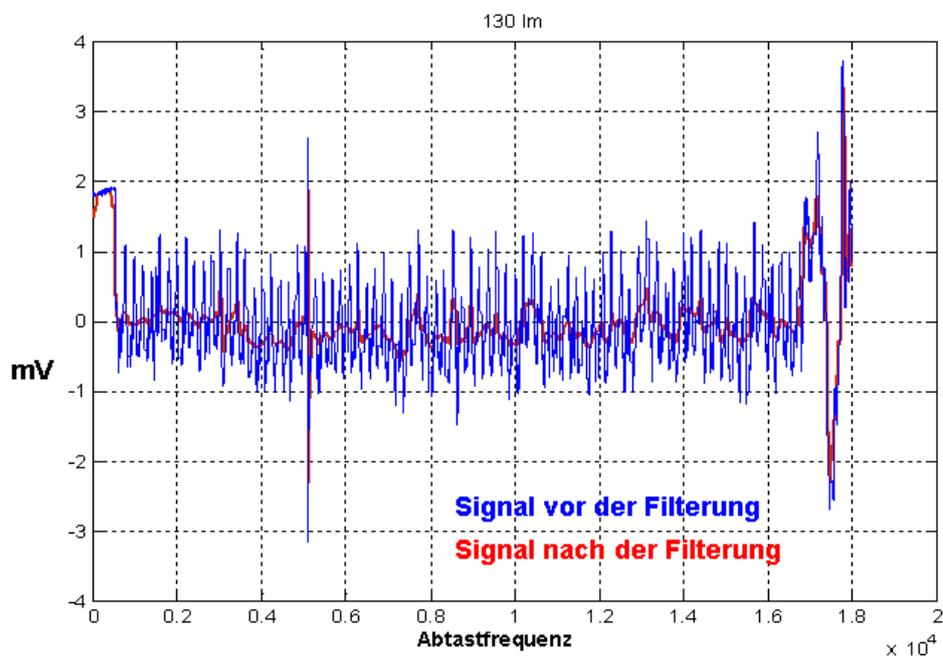


Abb. 4: Wiener-Filter

Nach der Markierung der Bereiche im Signal entsprechend der konstruktiven Elemente ist die automatische Teilung der Signale von Gittern und Rohrkrümmungen verwirklicht. Dafür wurden 9 Merkmale erprobt: der mittlere Wert des Signals im Rahmen (mean, std), der Wert des positiven Extremums, der Wert des negativen Extremums, die Entfernung zwischen den globalen Extrema, die Phase, die Energie des Signals, die Breite des positiven Bereichs des Signals und die Breite des negativen Bereichs des Signals. Wie in Abb.5 dargestellt, funktioniert die Teilung am besten nach der Phase, wobei die Schwelle der Teilung gleich Null ist.

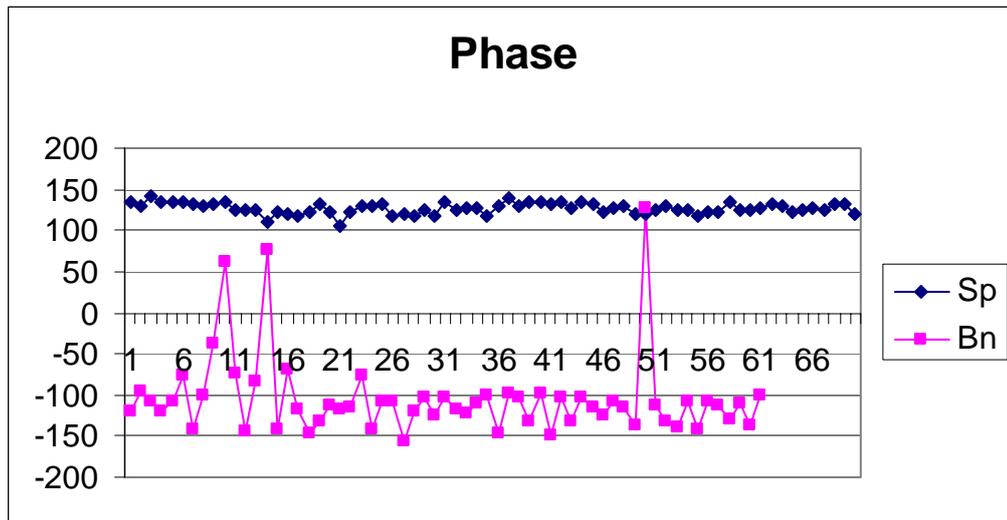


Abb. 5: Der Wert der Phase des Signals mit der Frequenz S1
(Sp - Gitter, Bn – Rohrkrümmung)

Es wurde ein Algorithmus zur Gewinnung von wichtigen Diagnosesignalen auf Basis der Diskreten Wavelet-Transformation (DWT) entwickelt. Für die Markierung der konstruktionsbedingten Besonderheiten ist ein Daubechies-Wavelet der ersten Ordnung gewählt worden, da die Form des Mutter-Wavelets der Form des absoluten Gittersignals mit der Frequenz 60kHz sehr ähnlich ist. Das Beispiel der Signalzerlegung mit Hilfe des Daubechies-Wavelets ist in Abb.6 dargestellt.

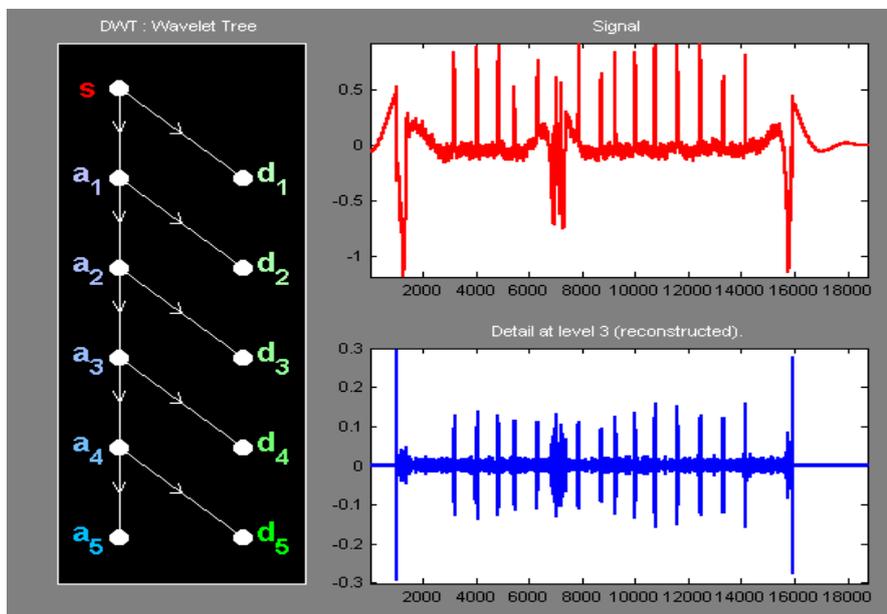


Abb. 6: Dekomposition des Signals (Signal und Waveletkoeffizient d3)

Das Signal wurde auf fünf Niveaus zerlegt, die weitere Zerlegung ist nicht wirksam. Der 3. Waveletkoeffizient wird durch die kleinste Streuung des lokalen Extremums charakterisiert und die Peaks heben sich aus dem Rauschniveau gut heraus.

Deshalb wurde für die Extraktion der konstruktionsmäßigen Besonderheiten das Signal des 3-er Waveletkoeffizienten gewählt. Für die Signalverarbeitung kommt die Operation „Thresholding“ (Abb. 7) zur Anwendung. Die verbleibenden Bereiche des Signales entsprechen den Signalen von den konstruktiven Elementen.

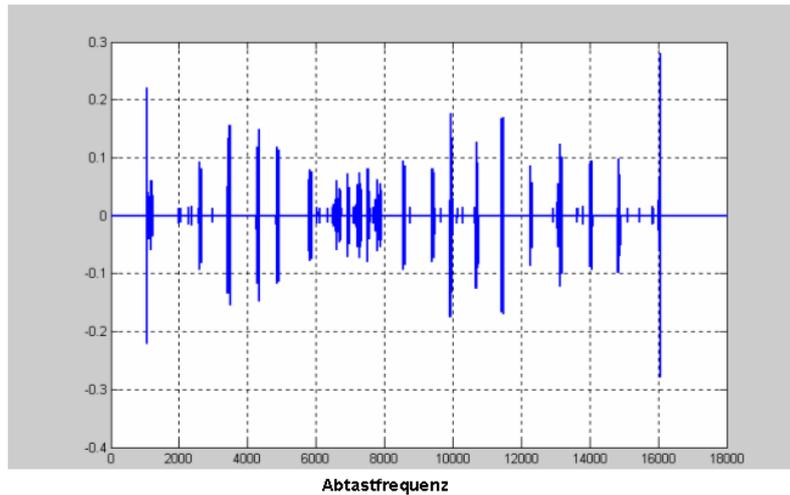


Abb.7: Waveletkoeffizient d3 (Thresholding)

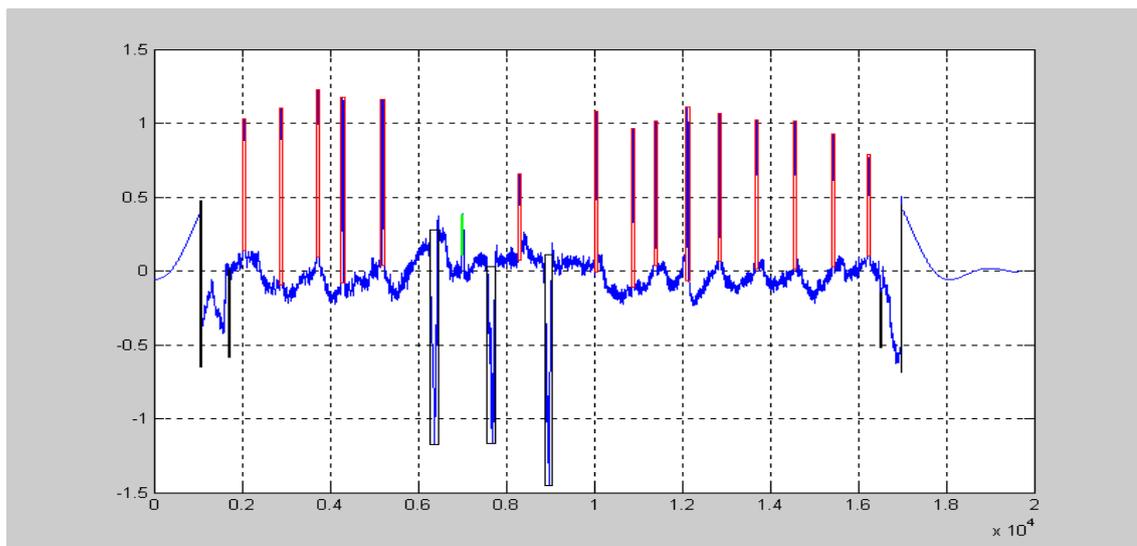
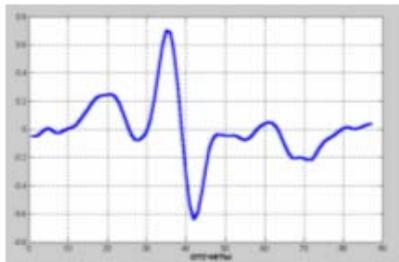


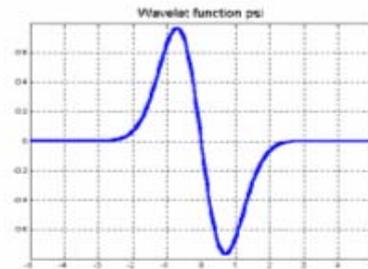
Abb. 8: Das Signal von der zweiten Röhre mit den gewählten konstruktiven Elementen
(Die schwarzen Rahmen wurden über die Signale von der Rohrkrümmung, die roten Rahmen über die Signale der Gitter und der antivibrierenden Gitter gelegt.)

Die Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Algorithmus an experimentellen Signalen lieferte ein gutes Ergebnis - die Bewertungsfenster legen sich automatisch über alle entsprechenden Bereiche der Signale des Dampferzeugergitters (Abb. 8).

Für die Berechnung der diagnostischen Parameter (Signalenergie, Amplitudenmaximum) wurden kontinuierliche und diskrete Wavelet-Transformationen verwendet.

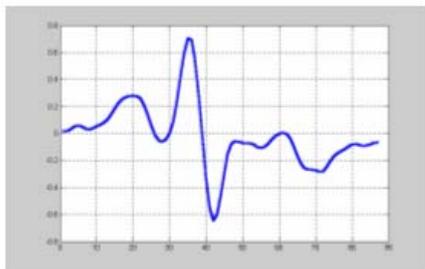


Signal von einem Gitter mit Defekten, S2,Re

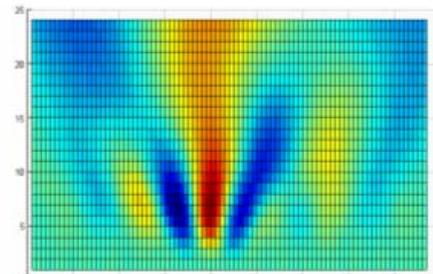


Gauss-Wavelet dritter Ordnung

Abb. 9: Gauss-Wavelet dritter Ordnung



Signal vom Gitter mit dem Defekt von der Tiefe 73 %



Spektrogramm des Gauss-Wavelet 1. Ordnung für das Signal vom Gitter mit dem Defekt

Abb. 10: Die kontinuierliche Wavelet-Transformation

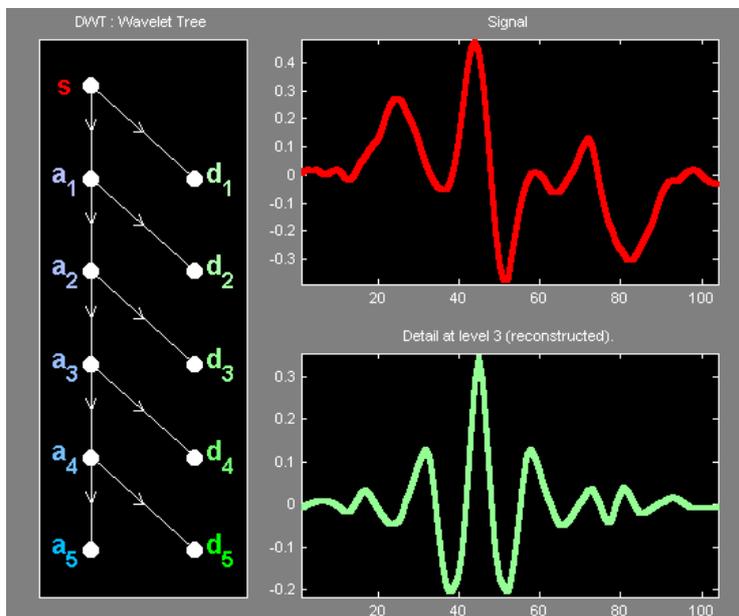


Abb. 11: Diskrete Wavelet-Transformation für die Berechnung der diagnostischen Parameter (Signal von einem Gitter mit Defekt und Waveletkoeffizient d_3)

Aufgrund der Berechnungen lassen sich die defekten Gitter feststellen. Für die kontinuierliche Wavelet-Transformation wurde ein Gauss-Wavelet dritter Ordnung gewählt (Abb.9).

Die Form des Wavelets stimmt mit der Form des Signals vom Defekt überein. Für die diskrete WLT wurde das Biorthogonal-Spline rbio 6.8 verwendet (Abb. 11).

Die Testläufe des Algorithmus haben gezeigt, dass sich Defekte mit einer Tiefe von mehr als 50% der Wanddicke finden lassen, was den festgelegten Normen entspricht.

References:

1. P.E.Macdonald, V.N.Shah,L.W.Ward, P.G.Ellison "Steam generator tubes failures".
2. Die Verfügbarkeit der Röhren der Dampferzeuger: Materialien des regionalen Seminars/ (unter der allgemeinen Redaktion von Antonova B.V.s, Davidenko N.N., Kornienko K.A. -, 2001.)

Authors:

Author(s):

PhD stud. E. Kulagina

Prof. V. Lunin,

Moskauer Energetisches Institut

Krasnokazarmennaja 14

111250 Moscow Russia

E-mail: KulaginaEG@yandex.ru Lunin@eti.mpei.ac.ru

Prof. Dr.-Ing. habil. H.-U. Seidel

Dr.-Ing. A. Bock

Technische Universität Ilmenau

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

PF 100565

D-98684 Ilmenau, Deutschland

E-mail: mailto:Andreas.Bock@tu-ilmenau.de