

Korrelationstechniken zur Bewertung kontinuierlicher Emissionen und zur Detektion von Ereignissen mit geringer Amplitude

Horst KÜHNICKE, Eberhard SCHULZE

Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Institutsteil Dresden

Kurzfassung: In der Forschung spielt heute die Signalformanalyse eine wichtige Rolle bei der Auswertung von Schallemissionsmessungen. Moderne Messgeräte sind in der Lage, die ursprünglichen Signalformen mehrkanalig über die gesamte Messzeit zu speichern.

Das hat den Vorteil, dass im Anschluss an die Messung auf die Messdaten auch komplizierte Bewertungsalgorithmen angewendet werden können, die wegen ihres hohen Rechenaufwands für den Online-Einsatz nicht in Frage kommen. Hier soll auf zwei Anwendungen, die Bewertung von kontinuierlichen Emissionen und das sichere Auffinden von Ereignissen mit sehr geringer Amplitude, eingegangen werden.

Korrelationstechniken erlauben z.B. die Ortung von kontinuierlichen Emissionen und die übliche Schallemissionsparameterbildung für sonst nicht zugängliche Ereignisse mit Amplituden auf Rauschniveau.

Als erste Anwendungen werden Messungen zur Bewertung des Korrosionsfortschritts und die Ortung an Zugproben vorgestellt.

0 Einführung



Abb. 1 SINUS.AE.net (rechts AE.switch, links AE.engine)

- ◆ Exponentialfilter $\frac{1}{2-z^{-1}}$
- ◆ **Modified Differential Square Root Compression (MDSRC)**
- ◆ Speichern der Summe von zwei benachbarten Messwerten
- ◆ Speicherrate 0.5 MByte * AE-Kanalzahl

Die Langzeitoffsetkorrektur ist eine wichtige Voraussetzung für die richtige Betragsbildung. Die beiden Exponentialfilter 1. Ordnung dienen in erster Linie der Rauschminderung. Da keine Momententensoranalyse und keine genaue Bestimmung von Frequenzspektren geplant sind, genügt die Aufzeichnung des Betrages. Diese Maßnahme verbessert die Genauigkeit der Datenkompression und ermöglicht im Zusammenwirken mit den Filtern eine Dezimierung des Datenvolumens um den Faktor 4. Bei allen bisherigen Untersuchungen hat sich diese Form der Datenreduzierung bewährt.

1 Möglichkeiten der Verbesserung der Tankbodenprüfung

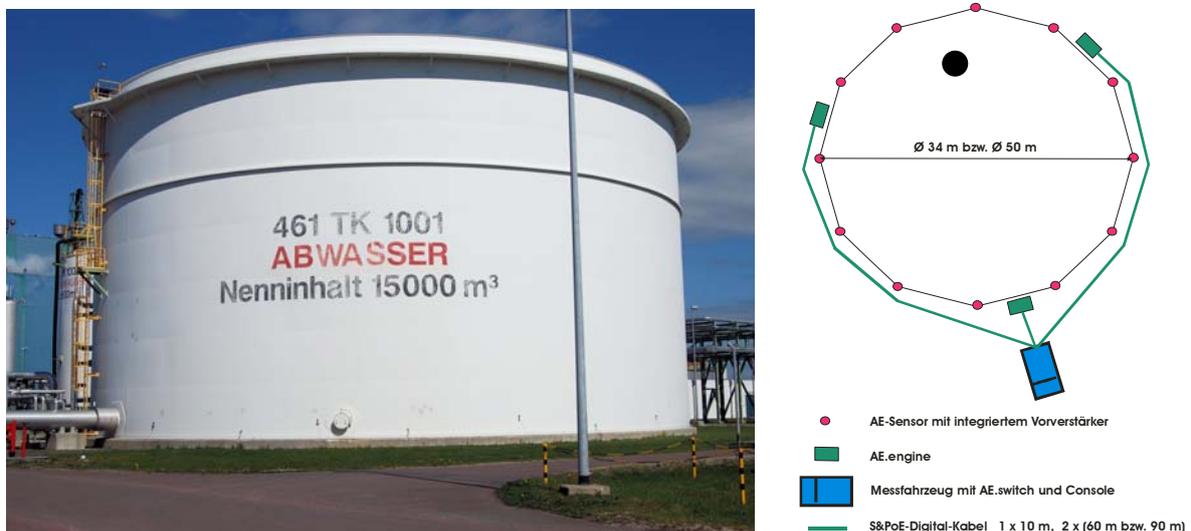


Abb. 3 Brauchwassertank und schematische Anordnung des Messsystems

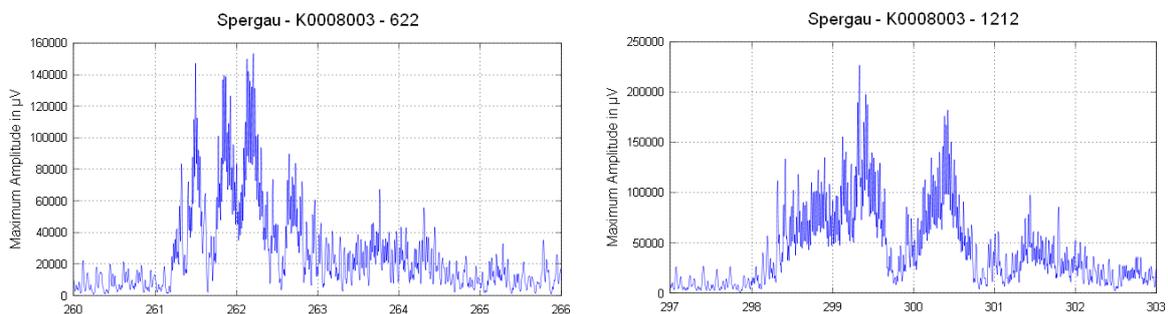


Abb. 4 Beispielsignalformen der künstlichen Korrosionsquelle

Gemeinsam mit den Firmen Vallen und TÜV NORD MPA wurden Messungen an dem in Abbildung 3 gezeigten Abwasserbehälter durchgeführt. Zielsetzung war, die Korrosionssignale eines im Abwasser positionierten kleinen Stahlbehälters mit Essiglösung zu detektieren. Wir hatten bei diesem Vorversuch nur die vier Sensoren in unmittelbarer Nähe des Messwagens montiert.

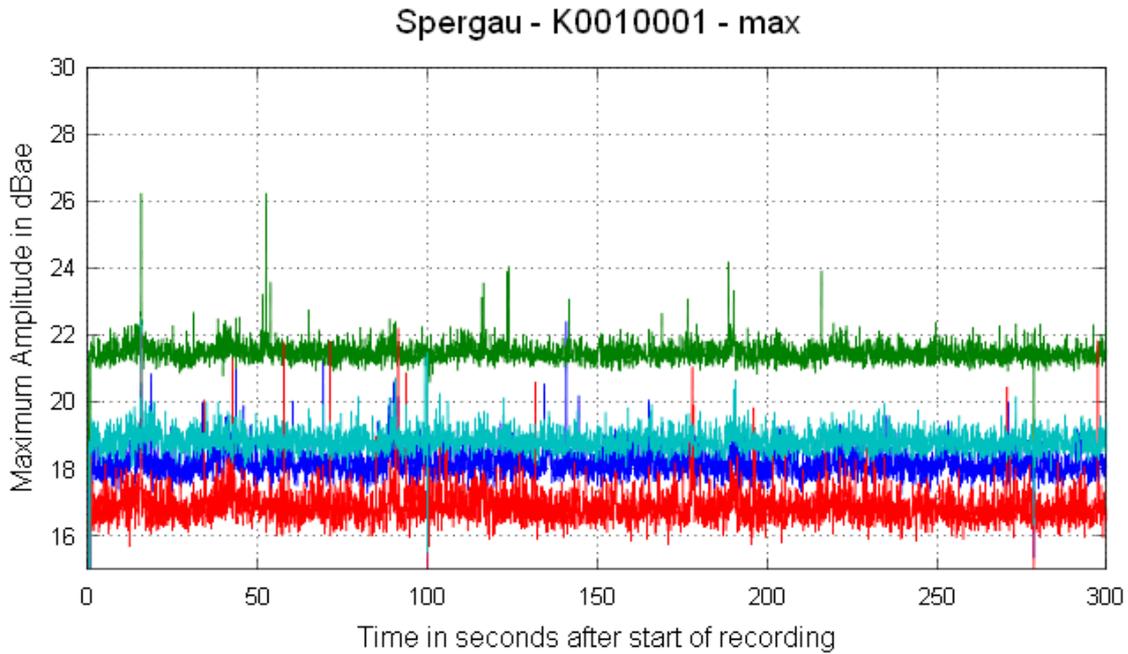


Abb. 5 typischer Verlauf der Maximalamplituden am Brauchwassertank

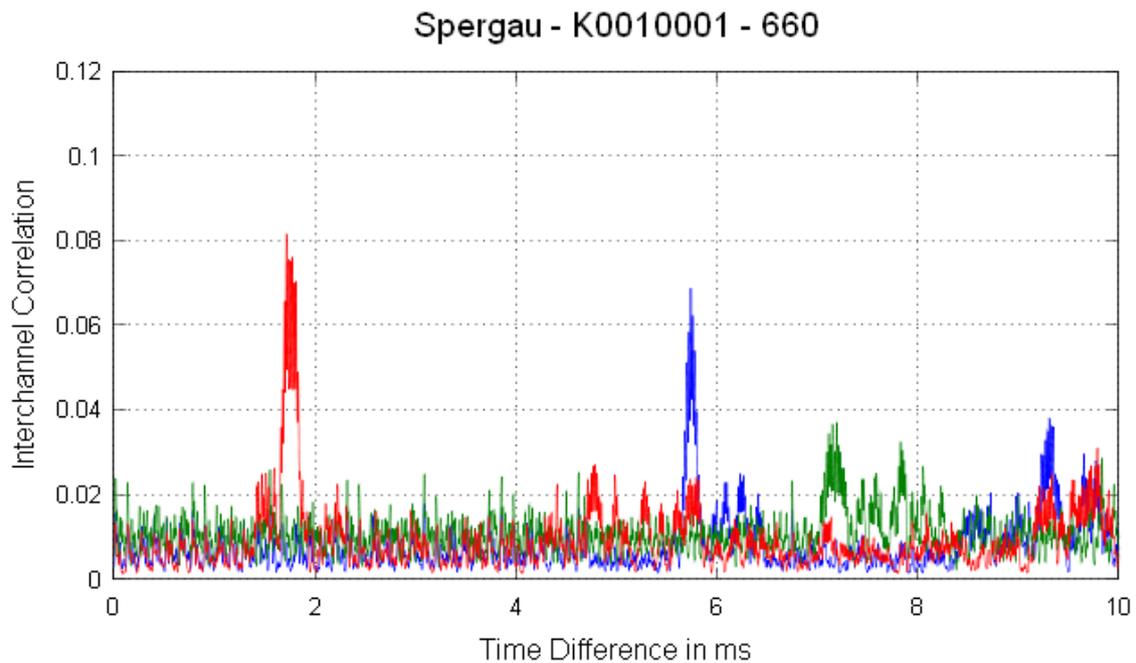


Abb. 6 Korrelationen zwischen den Sensoren 1-2, 1-3 und 1-4

In der Messwoche herrschte ein starker Wind, der für einen erheblichen Rauschpegel sorgte, so dass übliche Messverfahren zu diesem Zeitpunkt scheiterten. Abbildung 5 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der gemessenen Maximalamplituden. Einzelne sichtbare Impulse finden sich meist nur in einem Kanal. Unmittelbar vor Ort konnten keine Erfolge erzielt werden.

Mit Hilfe der aufgezeichneten Urdaten wurden nach der Messung zwei Auswertideen verfolgt. Zuerst wurde versucht, die direkt an der Korrosionsquelle gemessenen Signale mit den Rauschsignalen am Großbehälter zu korrelieren. Diese Methode hatte keinen Erfolg. Hauptursache ist sicher der individuelle Charakter der

Korrosionssignale. Abbildung 4 zeigt zwei konkrete Beispiele. Wirklich markante Ähnlichkeiten bestehen nicht. Offenbar existiert eine Art induzierte Emission. Ein Ereignis löst weitere Ereignisse aus, die sich überlagern.

Zum Zweiten wurde eine aufwendige räumliche Filterung vorgenommen. Abbildung 6 zeigt die Korrelationsfunktion zwischen den Sensoren 1 und 2, 1 und 3 sowie 1 und 4 zum Zeitpunkt K0010001-660. Die gefundenen Zeitdifferenzen stimmen gut mit der künstlichen Korrosionsquelle (schwarzer Punkt in Abbildung 3) überein. Allerdings konnte lediglich ein zweites, sehr ähnliches Ereignis zum Zeitpunkt K0010001-13760 gefunden werden.

2 Möglichkeiten der Verbesserung der Ortung an kleinen Proben

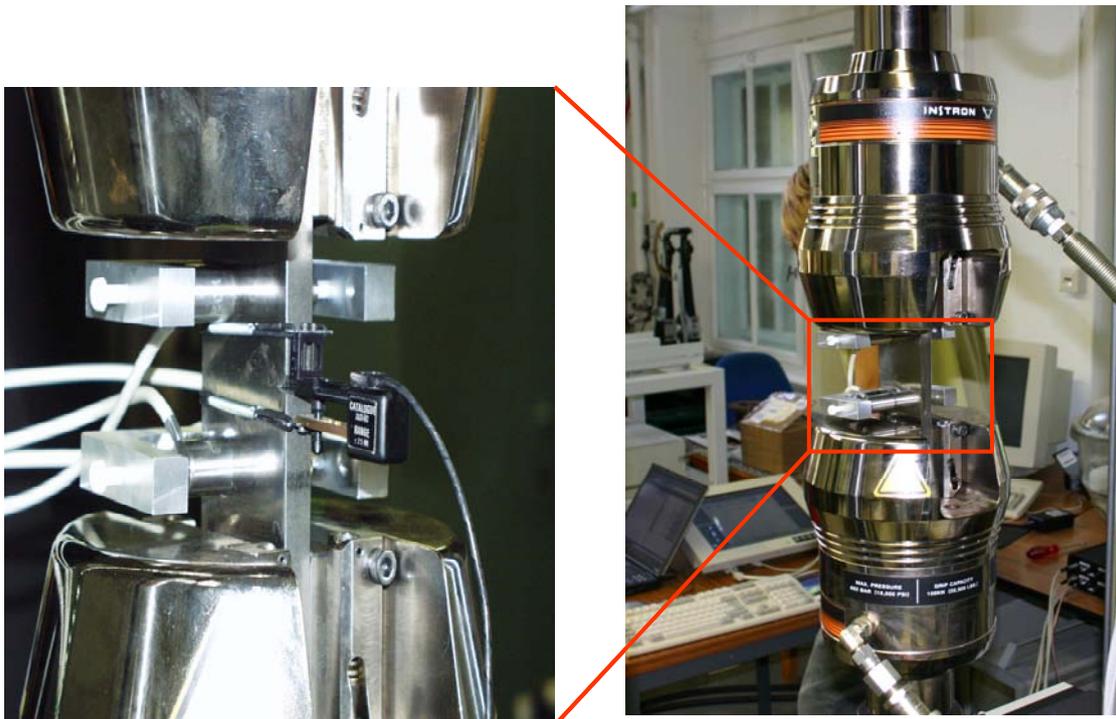


Abb. 7 Belastungseinrichtung mit CT-Probe und vier AE-Sensoren

Sehr zähe Stähle und kriechfeste Hochtemperaturstähle sind wenig schallemissionsaktiv. Werden Proben in Belastungseinrichtungen statisch oder dynamisch belastet, besteht ohne Ortung immer die Ungewissheit, ob die Signale tatsächlich aus der Probe stammen. Besonders bei dynamischen Regimen können bewegte Teile oder Strömungsimpulse der Hydraulik der Belastungseinrichtung Schallemission vortäuschen.

Im ersten Beispiel handelt es sich um eine dynamische Belastung eines zähen Stahles. Für die Untersuchungen wurden CT-Proben mit Anriss eingesetzt. Die Probenabmessung betrug $175 \times 60 \times 12 \text{ mm}^3$. Die Schwingbelastung erfolgte in einer Zugmaschine mit einer sinusförmigen Krafteinleitung von 6 bis 60 kN. Die Schwingfrequenz betrug 2 Hz.

Die Amplituden aus der Rissprozesszone waren von Schallemissionsereignissen, die von den Einspannbacken erzeugt wurden, schwer zu unterscheiden. Um die Schallemissionsquellen zu trennen, mussten neue Ortungsalgorithmen entwickelt werden. Die Korrelationsfunktion bezüglich der Einhüllenden von vier Sensoren erwies sich als die beste Lösung.

Abbildung 9 zeigt 1652 geortete Ereignisse einer Probe in der ersten Phase der Schädigung, wo noch kein makroskopisches Risswachstum nachgewiesen werden konnte.

Unter den Voraussetzungen eines niedrigen Störpegels im Frequenzbereich oberhalb 100 kHz, der Aufzeichnung der Urdaten und der Anwendung von Korrelationstechniken können auch an sehr zähen Stählen bereits in der Rissentstehungsphase Schallemissionsereignisse nachgewiesen werden.

Die guten Ergebnisse haben uns ermutigt, zu versuchen, Schallemission auch im Zeitstandsversuch kriechfester Hochtemperaturstähle zu messen. Diese Untersuchungen haben einen hohen Stellenwert für Kraftwerksbetreiber, welche die Effizienz ihrer Kraftwerke durch eine Erhöhung der Prozesstemperaturen steigern wollen. Abbildung 8 zeigt die Zugmaschine mit Hochtemperaturkammer und Zeitstandsprobe. Zurzeit wird an Lösungen für hochtemperaturfeste Sensoren gearbeitet.

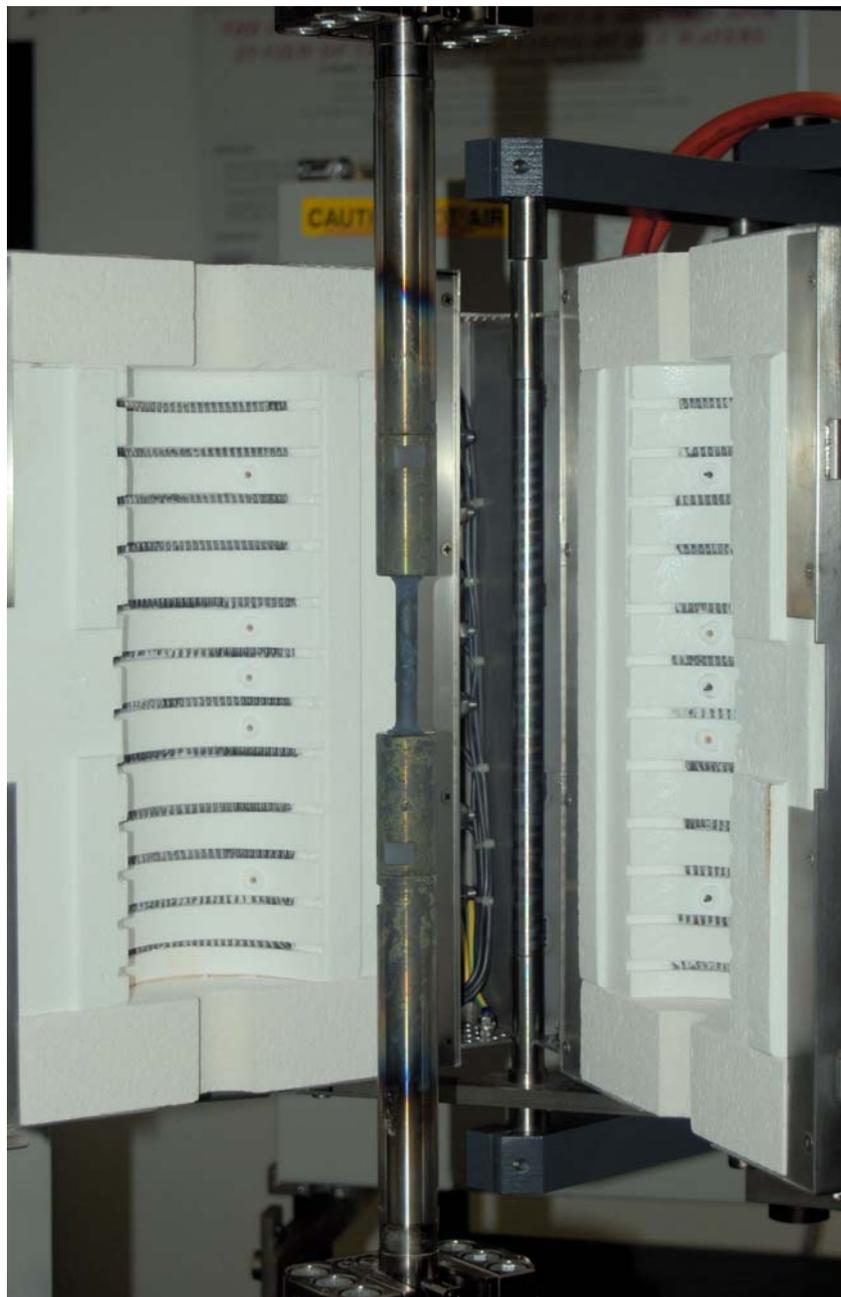


Abb. 8 Belastungseinrichtung mit Hochtemperaturofen und Zeitstands-Zugprobe

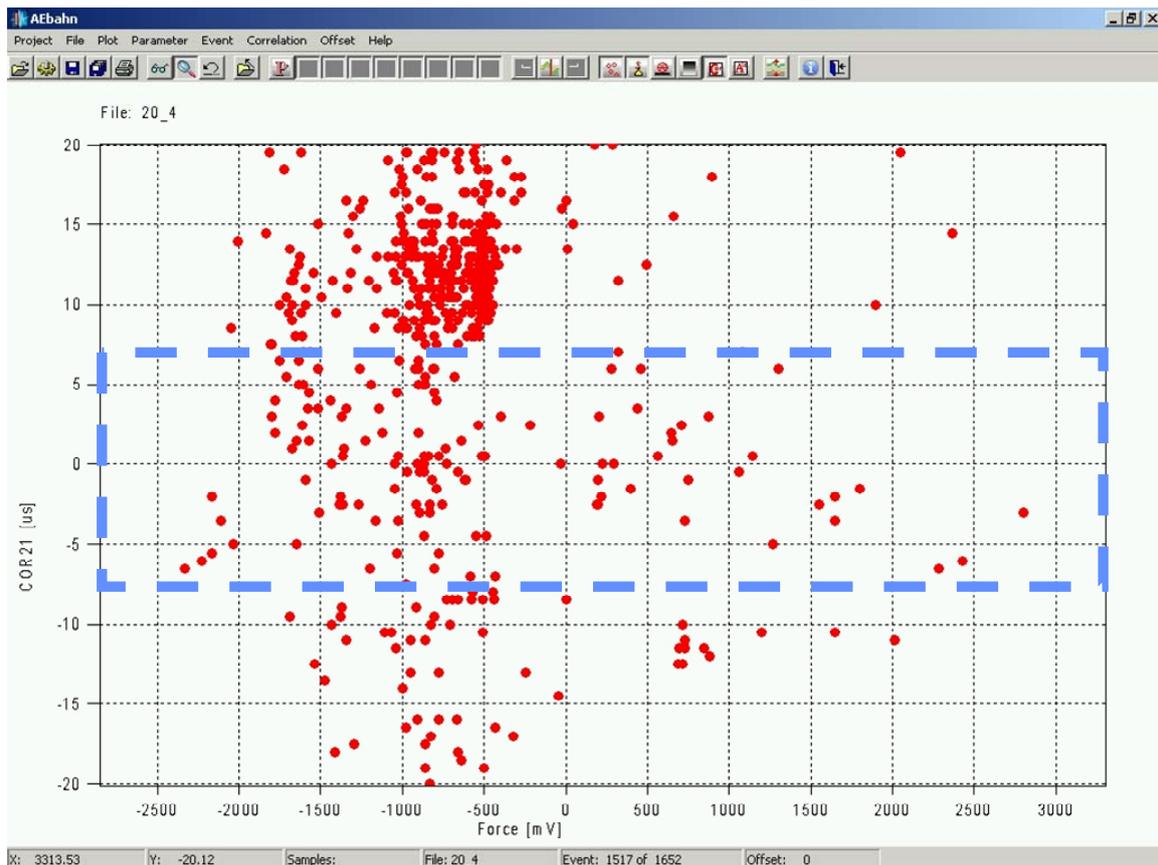


Abb. 9 Laufzeitdifferenzen über der momentanen Zugkraft

5 Zusammenfassung

Die Vorteile der Urdatenspeicherung für die tägliche Prüfpraxis werden im Vortrag 17 „Praktische Vorteile der vollständigen Signalformaufzeichnung bei Schallemissionsmessungen nach bereits existierenden Prüfanweisungen“ behandelt. Hier sollte gezeigt werden, dass die komplette Urdatenspeicherung der Schallemission neue Anwendungsgebiete erschließt. Erfolge mit neuen Bewertungsalgorithmen, die über die bekannten Verfahren hinausgehen, erfordern jedoch einen hohen Aufwand, schöpferische Ideen und nicht zu vergessen, viel Rechenzeit.

6 Referenzen

- [1] H. Kühnicke, Habilitationsschrift, Magdeburg 1984
- [2] H. Kühnicke, G. Manthei, Qualitative Schallemissionsanalyse in Salzstöcken, 11. Schallemissionskolloquium, Jena, März 1997
- [3] S.T. Birchfield, A unifying framework for acoustic localization, European signal Processing Conference, Wien, Sept. 2004