

# Praktische Vorteile der vollständigen Signalformaufzeichnung bei Schallemissions- messungen nach bereits existierenden Prüfanweisungen

Horst KÜHNICKE, Björn ZEUGMANN

Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Institutsteil Dresden

**Kurzfassung:** Historisch hat sich eine Schallemissionsmesstechnik entwickelt, die ereignisorientiert ist und vorrangig Parameter, wie Maximal-Amplitude, Ankunftszeit, Ereignislänge usw. verarbeitet. Die Entwicklungen auf den Gebieten Rechen-technik und Elektronik erlauben es immer umfangreicher auch Signalformen zu speichern. Heute können preisgünstige Schallemissionssysteme gebaut werden, welche die mehrkanalige komplette Aufzeichnung der ursprünglichen Signalformen ermöglichen.

Eine komplette Signalformaufzeichnung hat auch für die Dienstleistungspraxis erhebliche Vorteile. Das Vorhandensein der vollständigen Ursprungsdaten verbessert die Kontrollmöglichkeiten über eine ordnungsgemäß durchgeführte Prüfung. Außerdem kann die Einstellung wichtiger Parameter wie Schwellwerte und Todzeiten nach der Messung noch verändert werden.

Für das Verfahren Schallemission sind diese Aspekte besonders wichtig, da eine wirkliche Wiederholung der Messung aus physikalischen Gründen unmöglich ist. Eine Quelle emittiert niemals das gleiche Signal nochmals.

Als erste Anwendungen werden Messungen an einem Großtank für Brauchwasser und Voruntersuchungen zur Detektion nichtzugelassener bergmännischer Aktivitäten in einem zukünftigen Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle in der Betriebs- und Nachbetriebsphase vorgestellt.

## 0 Einführung

Bereits existierende Prüfanweisungen sind fast ausschließlich auf die Bewertung von Parametersätzen und die Ortung von Ereignissen orientiert. Weitergehende Algorithmen, wie z.B. Momententensoranalyse, Mustererkennung oder Signalformanalyse, die höhere Bewertungssicherheit und Aussagekraft versprechen, werden aufgrund ihrer komplexen Natur, der Notwendigkeit hochqualifizierten Prüfpersonals und der recht unterschiedlichen Realisierung auf den verschiedenen Messsystemen bisher im praktischen Dienstleistungsgeschäft nur in geringem Umfang eingesetzt.

Die Möglichkeiten moderner Schallemissionssysteme, die Signalformen über die gesamte Messzeit vielkanalig aufzuzeichnen, hat nicht nur in der Forschung große Vorteile. Eine Sicherung der Urdaten erlaubt eine qualifizierte nachträgliche Kontrolle der vorgenommenen Messungen. Falsch eingestellte Messparameter bedeuten nicht mehr die Unbrauchbarkeit der Messung, weil die aufgezeichneten Urdaten dafür verwendet werden können, die Messung virtuell mit den richtigen Parametern zu wiederholen. Andere Schwellwerte, Todzeiten usw. können mit geringem Aufwand an bereits vorhandenen Urdatensätzen getestet werden.

## 1 Messtechnik

### 1.1 Transientenrecorder

Die einfachste Möglichkeit die AE-Urdaten aufzuzeichnen ist der Einsatz eines kommerziellen Transientenrecorders. Kann auf eine Online-Datenverarbeitung verzichtet werden, wird kein Schallemissionssystem benötigt. Die Urdaten können anschließend mit numerischen Programmpaketen wie Matlab, Octave oder Scilab bewertet werden. Einfache Programme für die Hiterkennung, Parameterbildung und planare Ortung sind von der „Open Acoustic Emission Initiative“ [1] für Matlab veröffentlicht worden. Anspruchsvolle graphische Darstellungen sind Bestandteil von Matlab, Octave und Scilab.

Ist eine Online-Datenverarbeitung notwendig, besteht die Möglichkeit, ein übliches Schallemissionssystem parallel zu betreiben. Dies stellt jedoch insbesondere bei vielkanaligen Anwendungen eine kostenintensive Variante dar.

### 1.2 Schallemissionssysteme mit kompletter Urdatenaufzeichnung

Schallemissionssysteme mit kompletter Urdatenaufzeichnung sind im Prinzip Transientenrecorder, die gleichzeitig den Funktionsumfang eines Schallemissionssystems realisieren. Sie sind in der Lage, neben der Aufzeichnung der Urdaten AE-Parameter und Quellorte in Echtzeit während der Messung darzustellen.

Die Systeme der Reihe SINUS besitzen den Schutzgrad IP67. Sie sind für extrem raue Umgebungsbedingungen vorgesehen. Die preisgünstige Reihe BeRT verfügt über ein Industrie-PC-Gehäuse. Bei beiden Varianten besteht die Möglichkeit, mehrere Geräte über eine Ethernetverbindung zu koppeln, wenn eine größere Anzahl von Kanälen benötigt wird. Einzelheiten zum Gerätesystem findet man im Abschlussbericht [4].



**Abb. 1** SINUS.AE.net ( 1xAE.switch + 2xAE.engine = 8 Kanäle a 2MHz )



**Abb. 2** BeRT.AE.net (16 Kanäle a 1MHz oder 8 Kanäle a 2 MHz oder 4 Kanäle a 8 MHz)

## 2 Handhabung der großen Datenmengen

### 2.1 Schallemissionssystem

Das Lesen und Schreiben der umfangreichen Messdaten auf geeignete Massenspeicher stellt eines der zu lösenden Hauptprobleme dar. Schon bei einer Abtastrate von 2 MHz beträgt die Datenrate 4 MByte/s für einen einzigen AE-Kanal. Die Systeme AE.net besitzen deshalb ein Echtzeitbetriebssystem mit speziellen Dateisystemen, um die Bewegung der Schreib-Lese-Köpfe zu minimieren. In der Reihe BeRT werden die Messdaten zusätzlich auf mehrere Festplatten verteilt.

### 2.2 Externe Massenspeicher

Die Speicherkapazität der eingebauten Festplatten ist in der Reihe SINUS zurzeit für eine Messzeit von 8 Stunden bei maximaler Abtastrate eingerichtet. In der Reihe BeRT sind durchgängige Messzeiten bis zu 64 Stunden möglich. Sollen die Messdaten archiviert werden, muss das System mit einem geeigneten externen Massenspeicher verbunden werden. Eine preisgünstige Lösung sind sogenannte Disk Arrays. Diese bestehen aus Festplatten bzw. Gruppen von Festplatten, die sich in einem wechselbaren Rahmen befinden, der archiviert werden kann. Abbildung 3 zeigt zum Beispiel das Snap-In Disk Array der Firma Addonics.

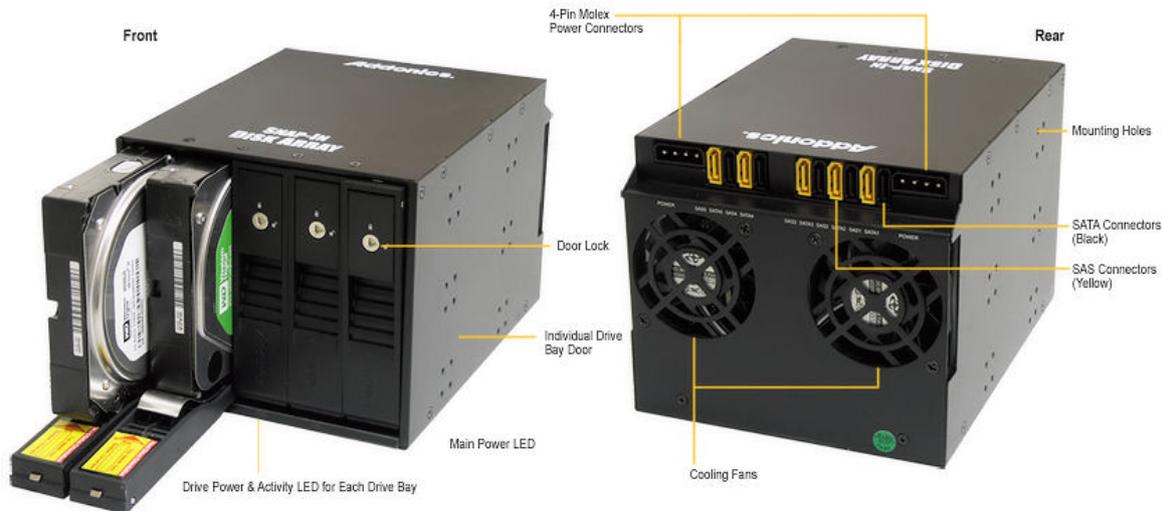


Abb. 3 Snap-In Disk Array von Addonics zur Archivierung der AE-Urdaten

### 2.3 Datenkompression

Die Datenkompression dient dazu, den notwendigen Umfang der zu speichernden Datenmengen zu verringern. Grundsätzlich existieren verlustfreie und verlustbehaftete Datenkompressionsmethoden.

Verlustfreie Datenkompressionsmethoden besitzen bezüglich der Urdatenspeicherung die Nachteile, dass sie erhebliche Rechenleistungen benötigen und der Kompressionsgrad nicht vorhersehbar ist. Wesentlichen Einfluss hat der Grad der Aussteuerung. Der Kompressionsgrad ist hoch bei geringem Rauschen und wenigen Hits pro Zeiteinheit. In seltenen ungünstigen Fällen kann die komprimierte Datei sogar größer als die unkomprimierte sein. Wegen des undefinierten Kompressionsgrads und des hohen Rechenaufwands sind verlustfreie Kompressionsmethoden lediglich für die Archivierung von Urdaten geeignet. Eingesetzt werden können alle bekannten Verfahren. Gute Ergebnisse wurden zum Beispiel mit WavePack [2] erreicht. Für viele Urdaten-Dateien mit wenigen Hits und geringem Rauschen liegt der Kompressionsgrad bei ca. 50%.

Für die Echtzeitverarbeitung kommen nur verlustbehaftete Komprimierungen in Frage. Für das Schallemissionssystem AE.net wurde eine speziell angepasste Kompressionsmethode **Modified Differential Square Root Compression (MDSRC)** entwickelt [3]. Diese Methode besitzt eine feste Kompressionsrate von 50%. Die besten Ergebnisse wurden bei der Anwendung folgender Verfahrensschritte erreicht:

- ◆ Langzeitoffsetkorrektur
- ◆ Exponentialfilter  $\frac{1}{2-z^{-1}}$
- ◆ Betragsbildung
- ◆ Exponentialfilter  $\frac{1}{2-z^{-1}}$
- ◆ **Modified Differential Square Root Compression (MDSRC)**

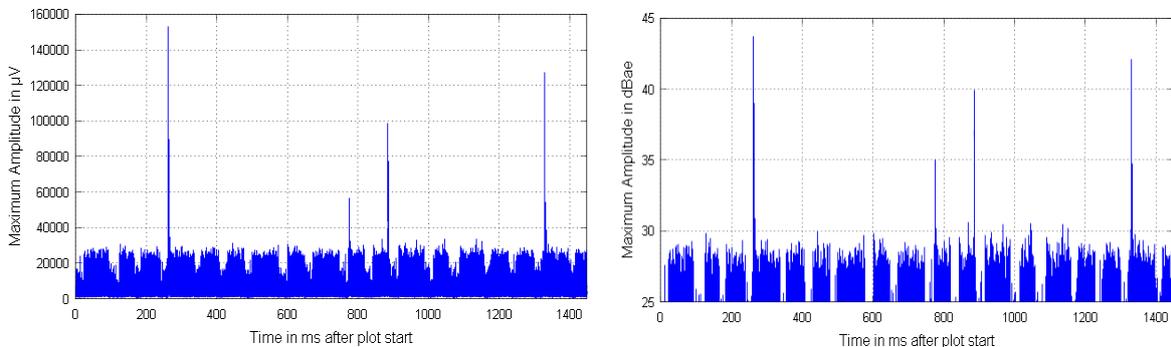
Der Informationsverlust des Kompressionsverfahrens MDSRC ist für die üblichen, in der Schallemissionstechnik auftretenden Signalformen sehr gering. Auf einem Standard-PC-Bildschirm sind nach einem automatischen Zoom auf Maximalamplitude keine Unterschiede zwischen wieder dekomprimiertem und originalem Signal zu erkennen.

Der dritte Schritt Betragsbildung muss weggelassen werden, wenn die Urdaten für spezielle Verfahren, wie Momententensoranalyse genutzt werden sollen, die zwingend das

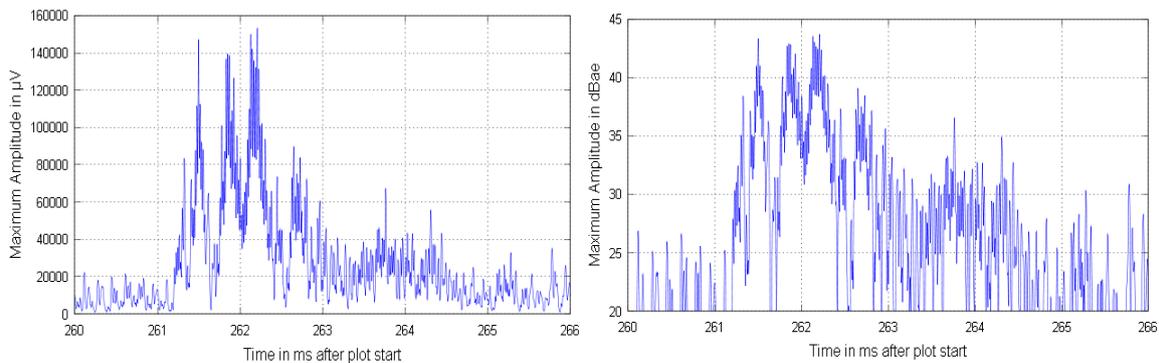
Vorzeichen der Signalformwerte benötigen. Vorsicht ist auch bei Frequenzanalysen geboten, weil die Betragsbildung eine nichtlineare Operation ist.

Die Darstellung mit Betragsbildung ermöglicht die Verwendung der unter Praktikern beliebten Skalierung der Amplitudenachse in dBae auch für die Signalformen. Der exponentielle Tiefpass dient der Rauschunterdrückung und kann außerdem zur Verringerung der notwendigen Speicherrate verwendet werden. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen beide Darstellungsformen für Maximalamplituden und Signalformen. Es existiert mit dieser Technik kein prinzipieller Unterschied zwischen den Maximalamplituden und den Signalformen. Signalformen stellen intern lediglich stark gezoomte Maximalamplituden dar.

Die Beispiele zeigen Korrosionssignale eines kleinen mit Essiglösung gefüllten Stahlbehälters. Die gemessenen Signalformen sind als Muster für die Erkennung von Korrosionssignalen an Großbehältern aufgezeichnet worden. Diese Aufgabenstellung wird in Vortrag 14 „Korrelationstechniken zur Bewertung kontinuierlicher Emissionen und zur Detektion von Ereignissen mit geringer Amplitude“ untersucht.



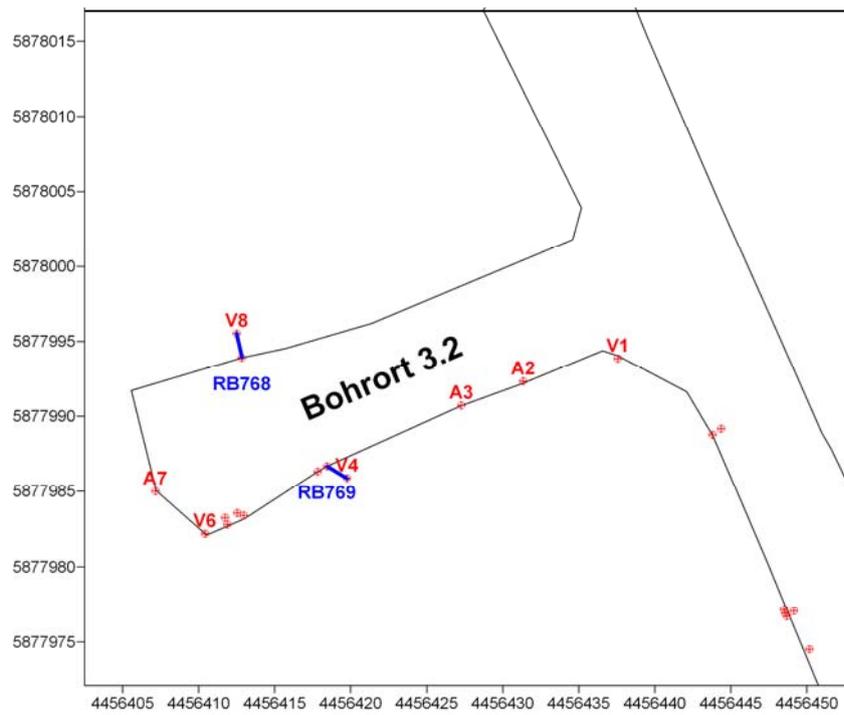
**Abb. 4** Maximalamplitudendarstellung mit  $\mu\text{V}$ - und dBae-Skala



**Abb. 5** Signalformdarstellung mit  $\mu\text{V}$ - und dBae-Skala

Als weitere Anwendung soll die Detektion nichtzugelassener bergmännischer Aktivitäten in einem zukünftigen Endlager für Wärme entwickelnde Abfälle in der Betriebs- und Nachbetriebsphase vorgestellt werden. Zielsetzung ist der Schutz endgelagerter Nuklearmaterials gegen eine missbräuchliche Wiederverwendung.

Für diesen Artikel wurde die Beobachtung von Sprengarbeiten in einer Entfernung von 500 m ausgewählt. Hohe Dynamik und Bandbreite, sowie die komplette Signalformaufzeichnung sind Vorteile des Schallemissionssystem AE.net für diese Aufgabenstellung. Abbildung 6 zeigt die Positionen der Sensoren in der Messnische und Abbildung 7 den Messplatz.



**Abb. 6** Lage der Sensoren in der Messnische



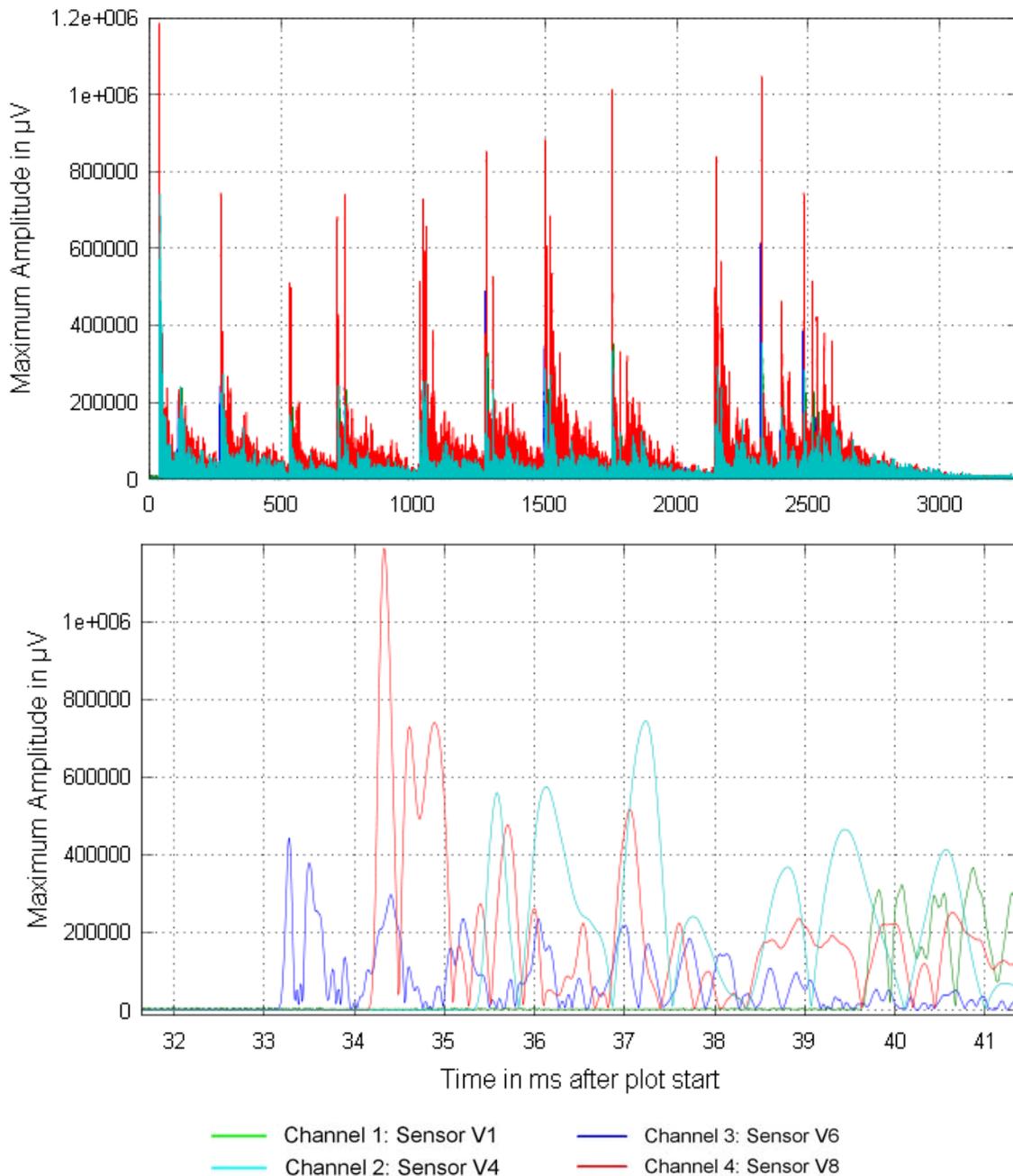
**Abb. 7** Untertage-Messplatz

Ein sogenannter Abschlag erzeugt einen neuen Hohlraum von ca. 100 m<sup>3</sup>. Dabei werden mehrere Sprengbohrungen zeitlich nacheinander gezündet. Die Zündreihenfolge und die Fehlzündung sind im oberen Diagramm der Abbildung 7 zu erkennen. Das untere Diagramm zeigt die Ankunftszeiten, aus denen der Sprengort berechnet wird. Neben der hier gezeigten Auffahrung mittels Sprengung wurden viele weitere bergmännische Arbeiten wie Berauben, Setzen von Ankern und die Bewegung unterschiedlicher Fahrzeuge beobachtet. Für den Erfolg dieser Messungen war die komplette Aufzeichnung der Urdaten eine wichtige Voraussetzung. Weitere Ergebnisse werden in [5] beschrieben.

RecordStart="Fri Apr 15 11:34:19 2011"

PlotStart=RecordStart + 4666.3 sec

### k0018002.56975 - Absolute Amplitudes



**Abb. 8** Signalformdarstellung mit  $\mu$ V- und dBae-Skala

## 4 Zusammenfassung

Die komplette Urdatenaufzeichnung und –archivierung ist beim heutigen Stand der Computertechnik kein kostenintensiver Geräteaufwand. Steht eine geeignete Software- und Hardwareunterstützung zur Verfügung, können auch Dienstleistungsbetriebe ohne personellen Mehraufwand erheblichen Nutzen erzielen. So gehören z.B. die Folgen einer zu hohen oder zu niedrigen SchwellwertEinstellung der Vergangenheit an. Die Archivierung der Urdaten erhöht die Rechtssicherheit und erlaubt den Praxistest neuer Auswertelgorithmen ohne bestehende Prüfvorschriften verletzen zu müssen.

## Referenzen

- [1] [www.muravin.com/ae/open\\_acoustic\\_emission\\_initiative.htm](http://www.muravin.com/ae/open_acoustic_emission_initiative.htm)
- [2] [www.wavepack.com](http://www.wavepack.com)
- [3] H. Kühnicke „Kontinuierliche Emission und Korrelationstechniken“ 17. Kolloquium Schallemission, Bad Schandau 2009
- [4] Abschlussbericht „Entwicklung eines Messsystems zur hochauflösenden zerstörungsfreien Erkundung von Gesteinsnahbereichen mittels Sonar“, 02 C 1184, Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Oktober 2008
- [5] J. Altmann, H. Kühnicke „Acoustic-Seismic Measurements in a Potential Final Nuclear Depository“ 33rd EARDA Annual Meeting, Budapest 2011