

Einsatz des Beamforming-Verfahrens im Bereich der akustischen Materialprüfung und Qualitätssicherung

Joachim FEIERABEND *

* gfai tech GmbH, Berlin
Volmerstrasse 3
12489 Berlin

Kurzfassung

Zu bekannten Methoden, die Aussagen zur Schallintensität, Schalleistung und Frequenzbereich ermöglichen, haben solche an Bedeutung gewonnen, die zur Lokalisierung von Schallquellen dienen, so z.B. das Delay-und-Sum-Beamforming.

Grundlage des Verfahrens ist, Laufzeitunterschiede von einem Schallereignis zu verschiedenen Mikrofonen eines Arrays auszuwerten. In einer zeitlich gesehen invers ablaufenden Rekonstruktion des Ereignisses wird der Emissionsort in Focusabstand ermittelt. Der gefundene Schalldruck wird nach einer Farbpalette über ein optisches Bild des Meßszenarios kartiert. Dargestellt wird dann der effektive Schalldruck am Immissionsort. Der Anwender ist hierbei in der Lage, Emissionen im Kontext ihrer Entstehung und Ausbreitung zu betrachten. Dies sichert einen engen Realitätsbezug, der bei einer Beurteilung von Objekten unter akustischen Aspekten hilfreich ist.

Auf diesem Wege lassen sich auch Rückschlüsse auf Materialparameter oder das Objektverhalten ziehen. Wird ein Prüfling in geeigneter Weise mechanisch angeregt, so können aus seiner Schwingungsantwort Informationen entnommen werden, die Folgerungen auf seinen Zustand zulassen, wie Homogenität, Bruchstellen oder Ähnliches. Dies ist insbesondere zutreffend, wenn dies orts-, zeit- und frequenzselektiv erfolgt.

Akustische Kameras können als robuste Systeme aufgebaut und direkt im Produktionsumfeld eingesetzt werden. Die Betrachtung von Objekten von Spielwürfelgröße bis hin zur Industrieanlage aus mehreren 100 Meter Abstand ist gängige Praxis. Der auswertbare Frequenzbereich liegt zwischen 100Hz und ca. 60kHz. Hinsichtlich der Beurteilung instationärer Geräusche, deren Analyse mit der Akustischen Kamera überhaupt erst möglich geworden ist, sind Auflösungen um 100µs Stand der Technik. Funktionalitäten, wie spektrale Auswertungen, Ordnungsanalysen, die als Voraussetzungen zum Einsatz im Umfeld der Materialprüfung vorhanden sein müssen, sind in den Systemen integriert. Eine der neuesten Entwicklungen ist die Emissionskartierung auf einem dreidimensionalen Oberflächenprofil. Das bringt neben dem nicht unerheblichen mathematischen Mehraufwand in der Algorithmik zur Ergebnisdarstellung eine signifikante Verbesserung des Kontrastes und eine Erweiterung des auswertbaren Frequenzbereiches mit sich.

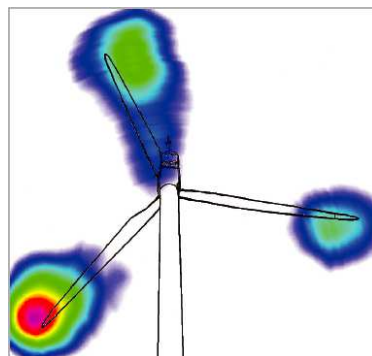


Einsatz des Beamforming-Verfahrens im Bereich der akustischen Materialprüfung und Qualitätssicherung

Dipl.- Ing. Joachim Feierabend



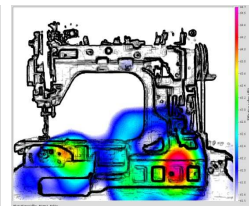
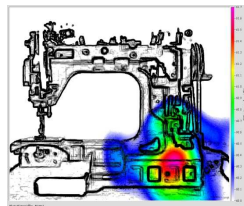
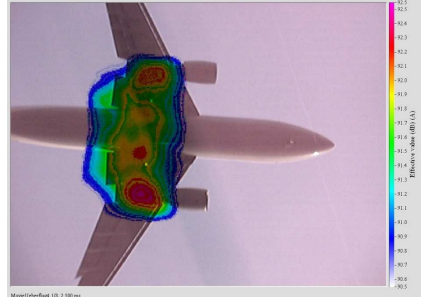
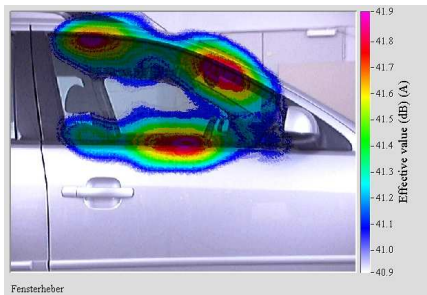
Die Lösung zum Lokalisieren von Schallemissionen



Neue Lösungsansätze



- **Lärmreduktion**
- **Geräuschanalyse & Sound Design**
- **Qualitätssicherung**

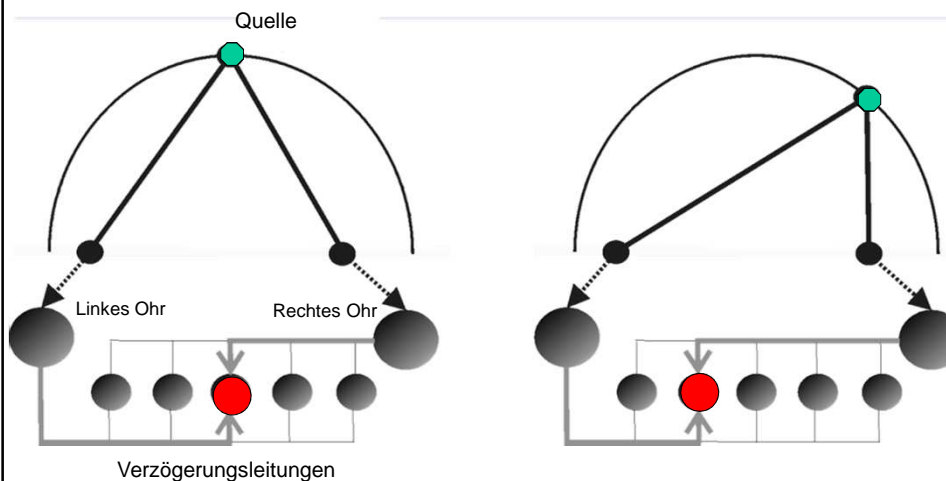


Technisches Prinzip

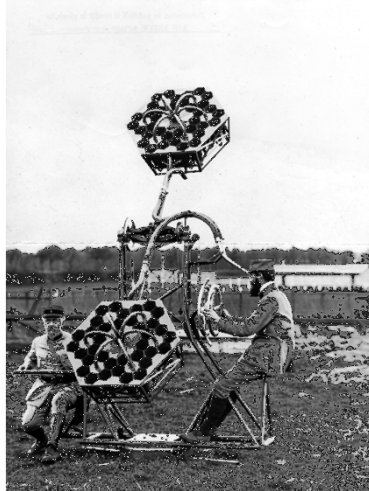


(“Delay & Sum Beamforming” im Zeitbereich)

The original



Blick in die Geschichte



Hexagonales Array von Jean Baptiste Perrin
Quelle: (C) AIP Niels Bohr Lib.



"Topophon"
von Prof. A.M. Mayer (1880)

Delay & Sum Beamforming



Ausgangspunkt für die Kartierung im Orts-Zeitbereich unter Noiselmage ist: The original

$$P(t, \vec{r}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p(t - \Delta_i(\vec{r}))$$

Gleichung ist aus dem Delay-and-Sum Beamforming wohl bekannt:

„Delay-and-sum beamforming, the oldest and simplest array signal processing algorithm...“

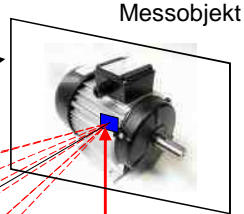
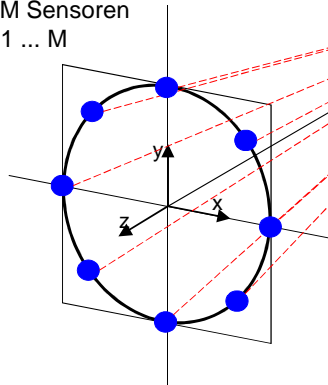
Array Signal processing
Don H. Johnson, Dan E. Dudgeon
© 1993 by PTR Prentice-Hall, Inc.

Beamforming - Grundprinzip



Fokussieren des Arrays:

Mikrophon-Array mit M Sensoren $i = 1 \dots M$

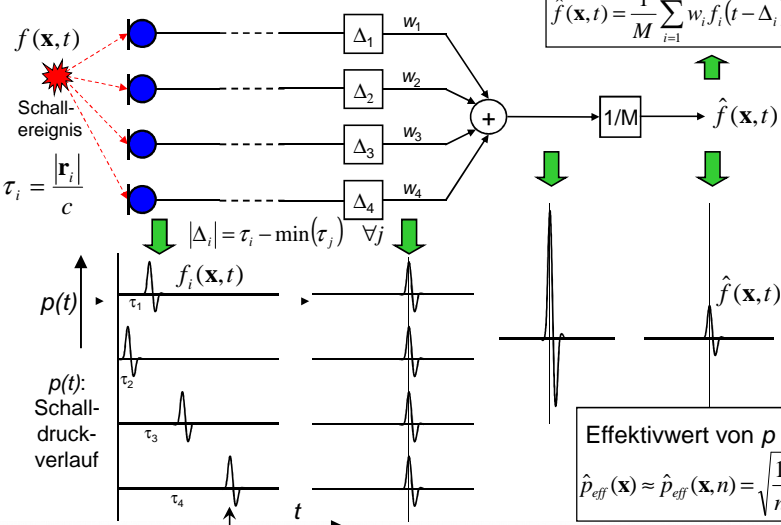


Aktueller Bildausschnitt (Pixel) für den Ort \mathbf{x}

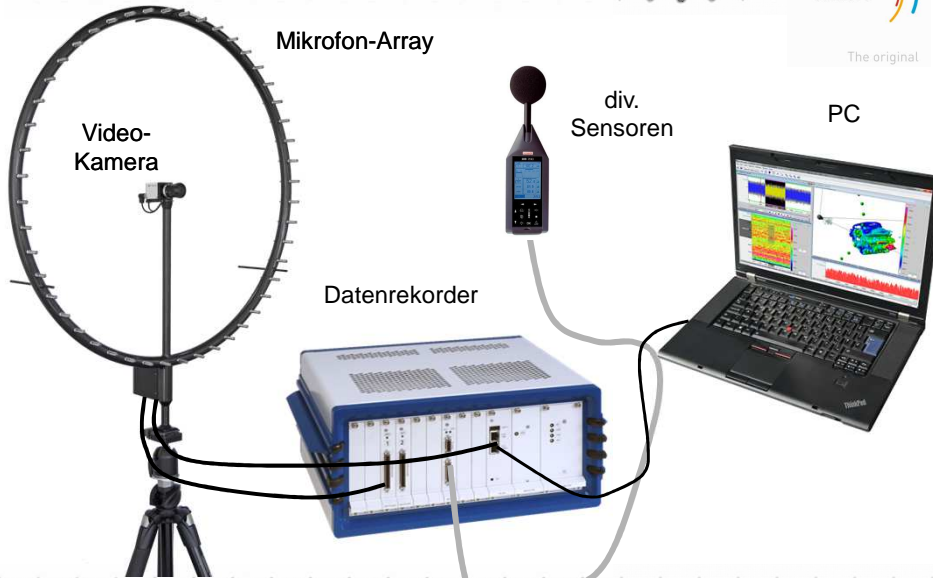
unterschiedliche Distanzen $|\mathbf{r}_i|$ vom Sensor i zum Ort \mathbf{x} führen zu verschiedenen absoluten Laufzeiten $\tau_i = |\mathbf{r}_i| / c$



„Delay & Sum“- BF im Zeitbereich



Die Realisierung als modulares Meßsystem



Arrays



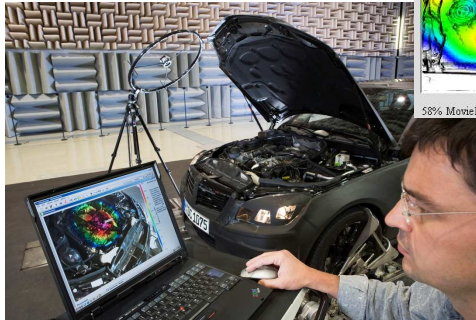
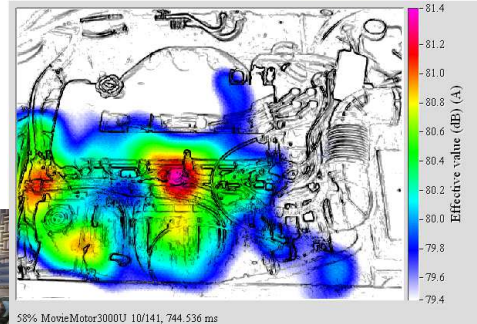
Für unterschiedliche Einsätze stehen verschiedene Arrays zur Verfügung



Schall wird sichtbar



- Schnell
- Einfach
- Präzise

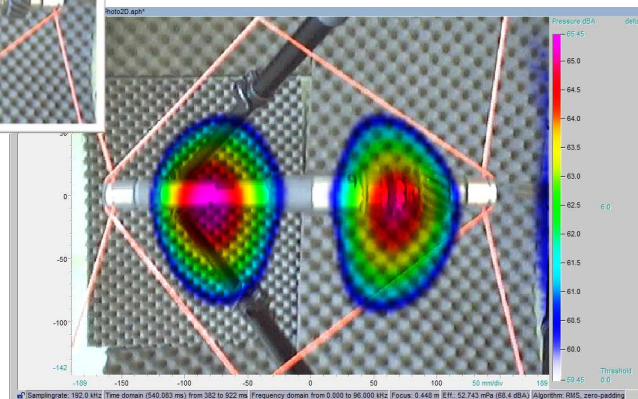
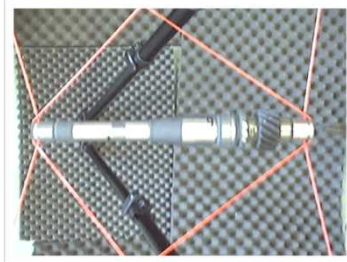


Akustisches Foto



The original

angeregte Getriebewelle

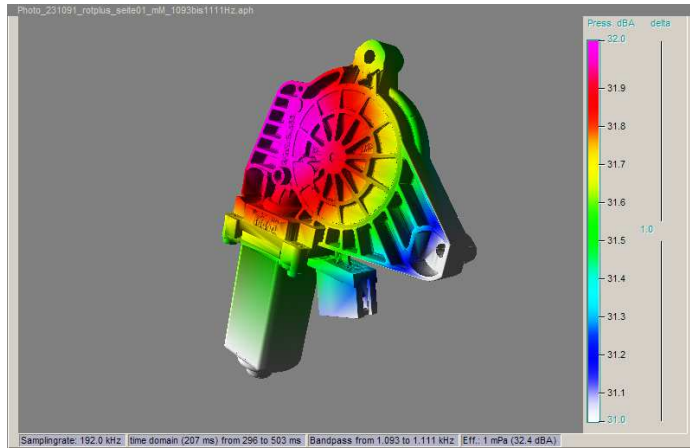


Akustisches Foto 3D



The original

Betriebsgeräusch einer KFZ-Komponente



19. Kolloquium Schallemission Augsburg 12./13.9.2013

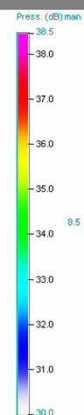
13

Akustischer Film



The original

Movie04_Windrad_PP500Hz_6s.ash



- Bis zu
- **10.000** Bilder/s
- Instationäre Geräusche



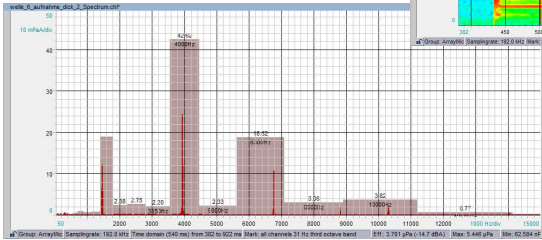
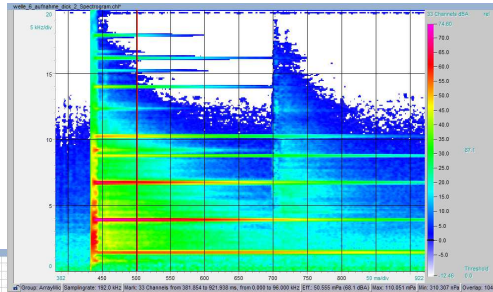
19. Kolloquium Schallemission Augsburg 12./13.9.2013

14

Spektrale Analysen



The original



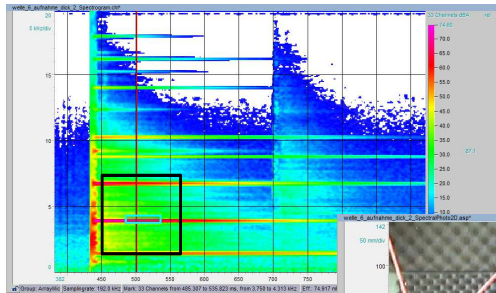
- Schmalbandkartierung
- Terzkartierung
- Spektrum eines Ortes
- Spektrogramme



Spektrale Analysen

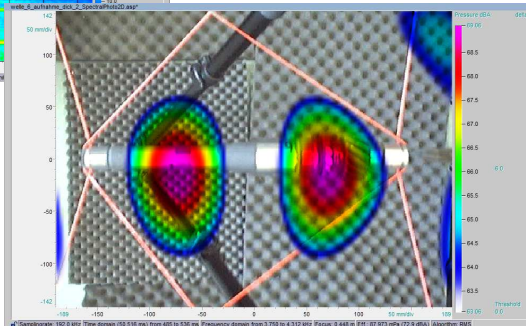


The original



Abgebildeter
Frequenzbereich:

3,7 bis 4,3 kHz



Fazit



The original

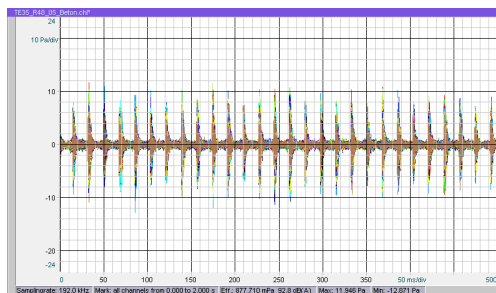


Das Beamforming-Verfahren ermöglicht eine ortselektive Analyse und Dokumentation von stationären und instationären Geräuschemissionen mit hoher zeitlicher Auflösung in einem weiten Frequenzbereich.

Analyse von Werkzeugen



The original

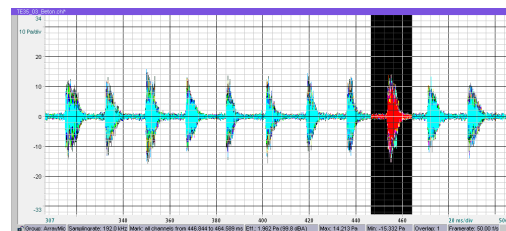
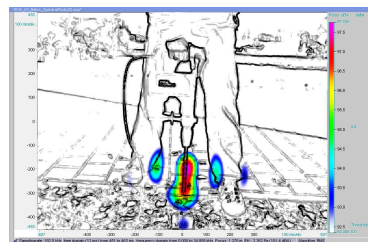
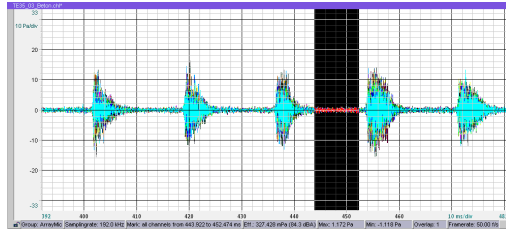
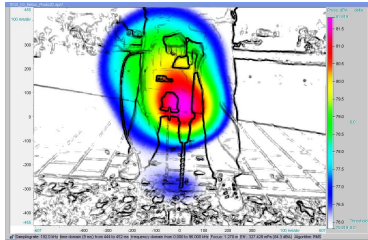


Schlagbohren in Beton

Analyse von Werkzeugen



The original



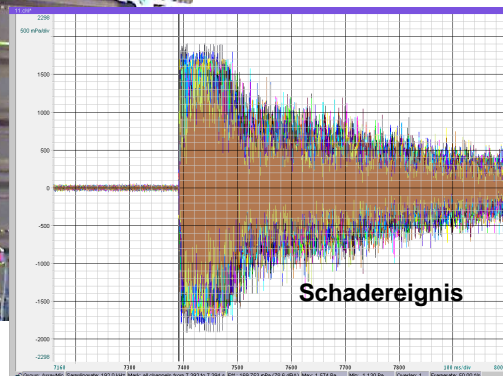
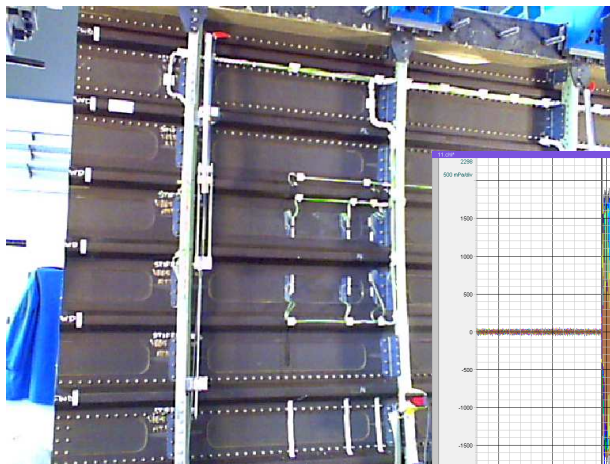
19. Kolloquium Schallemission Augsburg 12./13.9.2013

19

Bruchprüfung



The original



Prüfung eines Rumpfgsegmentes



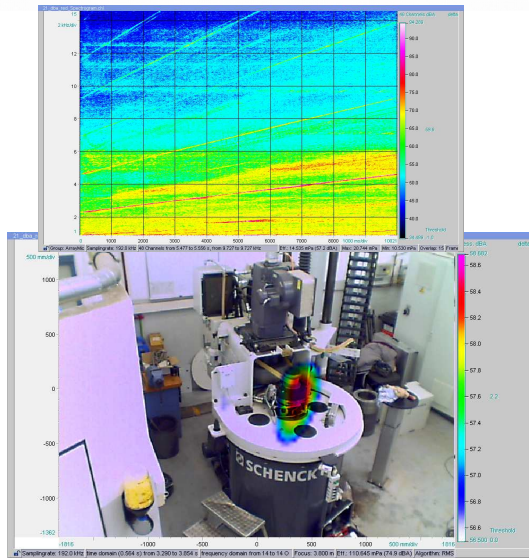
19. Kolloquium Schallemission Augsburg 12./13.9.2013

20

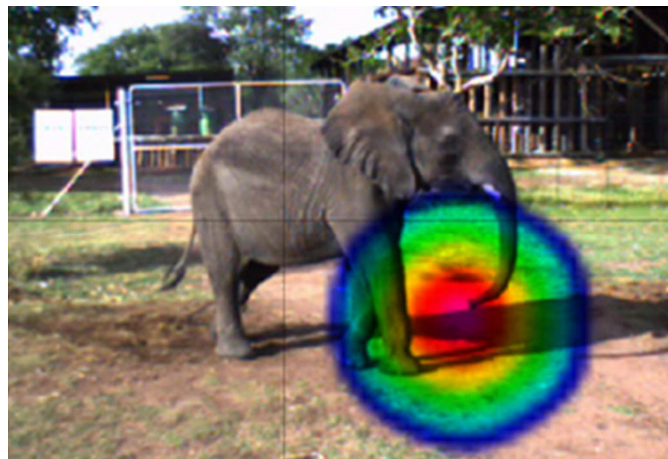
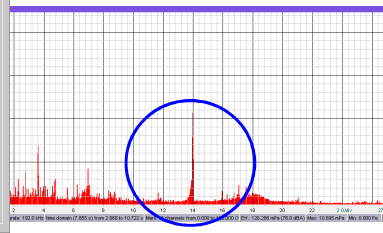
Ordnungsanalysen und -Kartierungen



The original



Kartierung auf die
14. Ordnung des
Schleuderprüfstandes



The original

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

