
Name der Forschungsstelle
GFal e.V. Berlin
12489 Berlin
Rudower Chaussee 30

AiF-Vorhaben-Nr.
12065B - BR04267/98
1.5.1999 bis 30.9.2000
Bewilligungszeitraum

Sachbericht

(Forschungsstelle 1 von 1)

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWi über die



geförderten Forschungsvorhaben

FORSCHUNGSTHEMA:

Geräuschortung an Maschinen und Anlagen (NOISE)

ERZIELTE ERGEBNISSE UND DEREN ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN:

Abgeleitet aus Betrachtungen zu diskreten, leitungsgebundenen Interferenzsystemen konnte mit Unterstützung des BMWi an der GFal eine sog. akustische Kamera entwickelt werden. Im Projekt NOISE ging es darum, die Industrietauglichkeit des Verfahrens herzustellen und all jene Probleme aufzugreifen, zu verarbeiten und umzusetzen, die für den Praxiseinsatz unumgänglich sind.

Journalisten interessieren sich seit geraumer Zeit für die Entwicklung der akustischen Photo- und Kinematographie. Bislang bekam die neue Technologie mehrere Dutzend Zeitungsaufsätze, verschiedene Rundfunkinterviews, ein Dutzend fachlich detaillierter Veröffentlichungen in Zeitschriften sowie mehr als ein ein Dutzend Fernsehsendungen. Die Kundendatei umfaßt derzeit mehr als 300 Firmen in acht Ordnern. Der Meßbedarf der deutschen Industrie kann noch nicht gedeckt werden.

Im Projekt NOISE wurden Forderungen von Anwendern zusammengetragen. Sie waren zu systematisieren und die Entwicklung der akustischen Kamera war entsprechend zu forcieren. So gab es im Rahmen des projektbegleitenden Ausschusses Absprachen genau mit dieser Zielstellung, siehe Anlage.

Einbettend wurde mit industriellen Messungen und Erprobungen in größerem Umfang begonnen. Dies war nicht unproblematisch. Die wissenschaftliche Experimental- Soft- und Hardware, die zu Projektbeginn vorlag, bereitete noch diverse Probleme, sodaß bei diesen Tests noch ab und an improvisiert werden mußte.

Industriemessungen

Im Projektzeitraum 1.5.1999 bis 30.9.2000 wurde in größerem Umfang Industriemessungen in akustischer Photo- und Kinematographie begonnen, siehe Tab. 1. Durch bereits zu Beginn des Projekts vorliegende Medienpräsenz konnten Industriepartner ausgesucht werden, die besonders interessante, in technischer Sicht komplizierte und anspruchsvolle Meßaufgaben auswiesen.

Tab. 1: Testmessungen an Industrieobjekten im Projektzeitraum

<i>Pos.</i>	<i>Meßauftrag (vertraulich)</i>	<i>Datum</i>
1	SID Druckmaschinen Leipzig Falzmaschine	03.06.99
2	Braun GmbH Rasierapparate, elektrische Zahnbürsten	06.07.99
3	Karl Mayer Frankfurt Textilmaschine Webautomat	07.07.99
4	Hauni Hamburg Zigarettenmaschine	12.08.99
5	Drägerwerk AG Radialverdichter	25.08.99
6	Liebherr Ochsenhausen Kühlschränke	05.11.99
7	Demag Duisburg Getriebeverdichter	10.11.99
8	Porsche Weissach Motormodell	16.12.99
9	Porsche Inna/Remseck PKW-Innenraum	10.02.00
10	Duktilguß Fürstenwalde + RWTH Aachen Induktionstiegelofen	18.02.00
11	Heller Maschinenfabrik Nürtingen Fräsmaschine	28.03.00
12	Liebherr Kirchdorf Hydraulikbagger	29.06.00
13	Liebherr Ehingen Mobilkran	16.07.00
14	Porsche Weissach Motoruntersuchungen	21.07.00
15	Enron/Tacke 1,5 MW Windkraftwerk	07.09.00

Das Spektrum reicht von kleinsten Objekten (Pos. 2, elektrische Zahnbürsten und Rasierapparate) bis hin zu Fernmessungen im Außenbereich (Pos. 15, Windkraftwerk), von tiefsten Frequenzbereichen (Pos. 12/13 Kran und Bagger) bis zu leisesten Objekten (Pos. 6, Kühlschrankmessungen). In vielen Fällen kamen zum Teil gravierende Probleme an untersuchten Objekten zum Vorschein, von akustischen Konstruktionsfehlern bei einer Schallschutzverkleidung bis zu Leistungsreserven in der Auslegung eines Schalldämpfers. Auch wenn in Fällen bestimmte Forderungen noch nicht vollständig erfüllt werden konnten - es handelte sich in nahezu allen Fällen um Erstmessungen eines bestimmten Typs, wurden die Ergebnisse i.a. als äußerst wertvoll eingeschätzt, da fundamental neue Sichten auf die Akustik der untersuchten Geräte entstanden. Das Team befindet sich seither in einer Art Aufklärer-Rolle.

Von den jeweiligen Messungen existieren Meßberichte, von denen jeweils eine Kopie als CD verfügbar ist. Allerdings behalten sich die meisten Firmen Vertraulichkeit vor, sodaß im Projektbericht nur in genehmigten Fällen Bezug genommen werden kann.

Interessant war die Beobachtung, daß zumeist begleitende, traditionell arbeitende Akustikteams engagiert waren, die Ihre eigenen Ergebnisse zumeist an denen unserer akustischen Photos zu messen begannen. Bei Messung 15 z.B. waren unsere Messungen nur etwa 1/10 so aufwendig wie die des begleitenden Teams eines großen, deutschen Akustikdienstleisters. Damit gilt als sicher, daß die im Projektrahmen zur Reife gebrachte Technologie einen hohen Stellenwert im Akustik-Markt erhalten wird und bereits erhalten hat. Die Hannover Industriemesse 2000 brachte erste acht Vorbestellungen akustischer Meßsysteme, für deren Realisierung die Zeit allerdings noch nicht reif erschien, sodaß der potentielle Kunde zunächst vertröstet werden mußte. Zu diesem Zeitpunkt gab es noch viele Möglichkeiten in der Fehlbedienbarkeit der (noch experimentellen) Technik.

Aufsätze und Berichte über die Technik

Im Projekt wurde die Pressearbeit zur Popularisierung der Technik fortgesetzt. Begleitende Publikationen im Projektzeitraum waren:

1. Adlershof Aktuell, 12/2000, Dem Lärm auf der Spur. Zeitschrift der Wista Management GmbH, S.8
2. Radio-Scanner, Nr.2/2000, Lärm sichtbar gemacht, S. 3
3. Trab-Informationen GFal, Nr. 2/2000, Die Akustische Kamera auf der Hannover Messe 2000
4. Berliner Zeitung, Technik, 11.2.2000, Erste Kamera, die Lärm fotografiert
5. Welt am Sonntag, 6.2.2000, Lärm kann jetzt gefilmt werden
6. ORF, Modern Times, 21.1.2000, 22.35 Kamera sieht Lärm
7. ProSieben-TV, Galileo, 8.11.1999, 19.50 Lärmkamera
8. RTL sternTV, 23.6.1999, 22.05 Wie aus Schallwellen Bilder werden.
9. Die Welt, 16.6.1999, S.38, Forschungsförderung macht sich bezahlt
10. AiF-Innovationstag, 15.6.1999 Berlin-Pankow, BMBF-Ministerin Bulmahn zu Gast bei akustischer Kamera und sternTV
11. Heinz, G.: Fortschritte in der akustischen Photo- und Kinematographie. GFal-Seminar 3.6.1999,
12. Heinz, G.: Neue Dimensionen in der akustischen Photographie. Innovationsforum HU-Informatik, 26.5.1999,
13. Heinz, G.: Akustische Photo- und Kinematographie, Vortrag Workshop Bildverarbeitung, TFH Wildau, 25.5.1999.
14. MDR TV, 11.5.1999, 19.50 Erfindermagazin 'Einfach genial': Akustikkamera

Siehe in Details auch: http://www.gfai.de/www_open/perspg/g_heinz/akkam/index.html.

(Technische) Untersuchungen

Im Detail konnten die folgenden Punkte der Projektzielstellung wie folgt gelöst werden:

zu 1,2) Suche nach geeigneten Methoden zur Kartierung tiefer Frequenzen mit Wellenlängen oberhalb der Gerätedimensionen, Eliminierung der Bildverwaschung durch tieffrequente Amplituden durch Entwicklung eines geeigneten Verfahrens

Aus ersten Meßerfahrungen begann im Projektzeitraum eine konsequente Anwendung einer Kartierung nach gehörlicher Lautstärkebewertung (DIN 45651/EN 60651 ABewertung). Zugrunde lag die gewonnene Erfahrung, daß Abewertete Bilder i.a. von besserer Qualität

sind. Dazu wurde ein algorithmischer Entwurf eines IIR-Filterdesigns weiter verbessert. Dennoch ist die Ursache von gelegentlichen Falschbildern bei C-Bewertung und tieffrequenten Emissionen damit nicht ausgeräumt. Bei C-Bewertung (linear) können Geräte mit extrem tieffrequenten Anteilen oft nicht richtig kartiert werden. Um das Problem zu lösen, wurde zunächst ein bestehender Filtersatz erweitert. Zusätzlich wurde eine spektrale Bildzerlegung implementiert, um sowohl bei sinusförmigen (Nutzung von FFT-Koeffizienten) als auch bei nichtperiodischen Vorgängen (Filter) das geeignete Handwerkszeug zu einer bestmöglichen Analyse des eigentlichen Problems zur Verfügung zu haben. Der Zufall ließ nicht lange auf sich warten: Bei Arbeiten an einem Hydraulikbagger (Liebherr-Kirchdorf) bekamen wir bei einer Unterbodenmessung falsche Bilder. Eine Auswertung ergab, daß FFT-Schwebungsintervallängen im Verhältnis zu sehr tieffrequenten Grundschwebungen zu kurz gewählt waren. Entsprechende Softwaremodifikationen signalisieren seither diesen Problemfall. In Verbindung mit einer zusätzlich implementierten, mehrteiligen Strategie zur Vermeidung von Effektivwertfehlern durch angeschnittene Wellenzüge konnte danach die Ergebnisqualität für praktisch alle untersuchten Industriefälle gewährleistet werden.

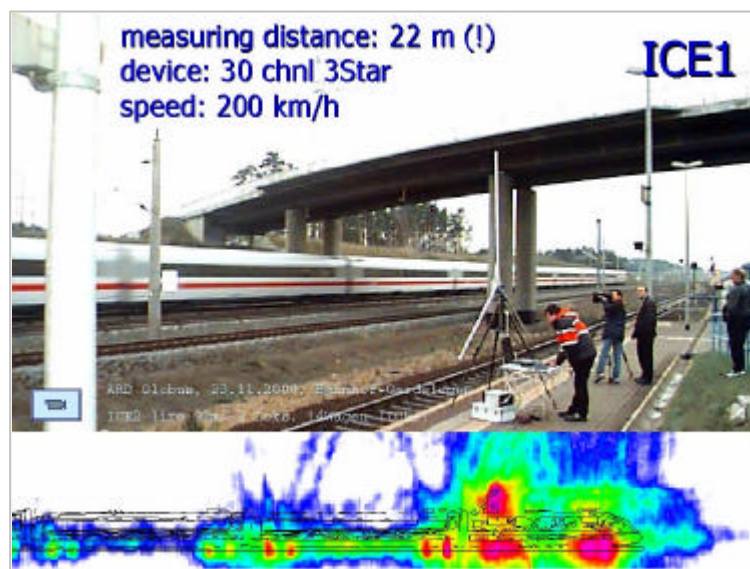


Bild: Inter-City-Express (ICE1) - erste Fernmessungen bei Gardelegen. Für die Sendung ARD Globus (Sendetermin 14.3.2001) wurde u.a. ein Schallbild eines ICE1 aufgenommen, unteres Bild. Man erkennt starke Lokemissionen, "leuchtende" Räder sowie laute Stromabnehmer (vorn und hinten). Auch vibriert der erste Wagen stärker als alle folgenden.

zu 3) Untersuchung der Eignung unterschiedlicher Array-Anordnungen, insbesondere zur Verbesserung der Leistungen im Fernfeld insbes. Vermeidung von Aliasing-Problemen (theor. und prakt.)

Es wurde eine Array-Anordnung bestimmt, deren Aliasing-Verhalten verbessert ist, die es aber gestattet, noch kleinere akustische Kameras zu bauen (Portabel mit Quadratanordnung). Leider verliefen praktische Erprobungen in der Breite aber nicht so erfolgreich, wie noch im Zwischenbericht vermutet wurde. Wir stellten fest, daß Aliasing durch die Array-Anordnung allenfalls beeinflußt, in Verbindung mit der HIT aber nicht verursacht wird. Ursachen sind vielmehr in einer ungenau abgelegten Parametrisierung des gesamten Mikrofonpfades (Delaytoleranzen von Membran, Buffer, Vorverstärker, Hohlraumresonanzen des Mikrofons, Toleranz in der Koordinatenbestimmung x,y,z) zu finden. Parallel wurden verschiedene Untersuchungen geführt mit dem Ziel, eine Ausgewogenheit der Arrayanordnung in Bezug auf Aliasing-Effekte (Fremdinterferenzen) in den verschiedenen Frequenzen zu erreichen. Eine Kooperation mit der TU Dresden Inst. für

Akustik wurde initiiert, führte aber leider zu keinem greifbaren Ergebnis. Die Komplexität dieses Teilgebietes ist so hoch, daß ein spezifisches Projekt nur zu diesem Thema geführt werden sollte. Im Rahmen von Simulationen und Diskussionen entstanden zwar hervorragende Ideen, aber nur eingeschränkte Lösungsansätze. Einige gegenüber dem Stand der Technik verbesserte Anordnungsformen wurden erprobt. So z.B. das neue Array für Fernortungen im Außenbereich, siehe ICE-Bild. Erschwerend wirkt generell die mechanische Ausführbarkeit. Kaum eine Konstruktion, die theoretisch optimal erscheint, kann konstruktiv umgesetzt werden. Und handhabbare Konstruktionen erweisen sich oft als akustisch nachteilig. Einige Formen wurden nach Tests wieder verworfen, so eine Dreiecksschenkelanordnung und eine Kreissegmentanordnung. Bezieht man zusätzlich noch die Frage minimierter Toleranzeinflüsse mit ein, so bewähren sich Ringanordnungen besonders. Hier spielt die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Luft kaum eine Rolle, selbst fehlerhafte Mikrofonkoordinaten führen nur zu geringen Verfälschungen.

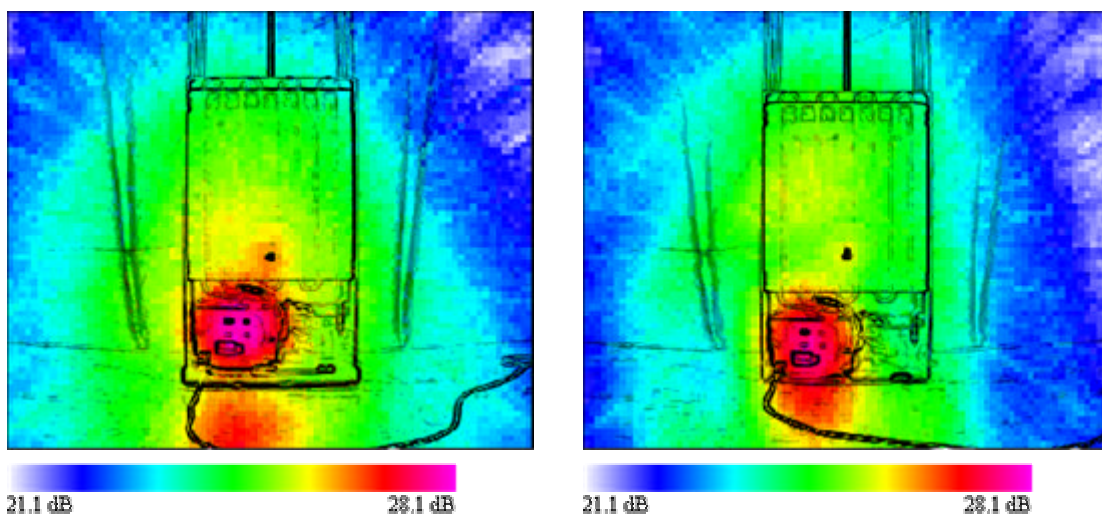


Bild: Akustische Bilder eines Kühlschranks. Variiert wurde die Dämpfung des Kompressors. Entsprechend verschieden sind die Schallemissionen

Es konnte u.a. gezeigt werden, daß das für Schallmessungen weitverbreitete diagonale Kreuz (IABG München, AcousticData/TU Berlin) eine denkbar ungünstige Anordnung darstellt. Für Fernmessungen entstand eine verbesserte Anordnung, die einen guten Kompromiß zwischen Handlichkeit und Fremdinterferenzunterdrückung darstellt. Gegenüber dem Kreuz wird die Zahl der Aliasing-Strahlen von zwei auf drei erhöht, damit wird deren Amplitude proportional verringert; gleichzeitig wird der mechanische Aufwand von vier Armen auf drei Arme reduziert.

Erste Fernmessungen zeigen hervorragende Ergebnisse. So konnte ein ICE1 mit dem im Projektrahmen entstandenen Array aus über zwanzig Metern bei mehr als 200 km/h kartiert werden. Erstmals wird es nun möglich, auch Emissionen in Landschaften auszumachen, Erprobungen bei der Kartierung einer Chemieanlage (Erdölchemie Köln) verliefen erfolgreich, siehe Bild im Anhang.

Typische Zusammenhänge zwischen tieffrequenten Emissionen, Frequenzbereich und Zeitbereich wurden untersucht, siehe Punkt 5. In die Software wurden Parameter integriert, die im Falle der Verletzung dieser Kriterien warnen (Farbwechsel des selektierten Bereiches, Warnungsfenster etc.). Eine Detailedarstellung dieser Maßnahmen würde den Berichtsrahmen sprengen.

zu 4) Zur Ermittlung von Zusammenhängen zwischen ermitteltem Schalldruckpegel und Meßabstand, Kompensierbarkeit der Luftdämpfung bei a priori Unkenntnis über den Strahlertyp

Untersuchungen, u.a. auch bei Innenraummessungen zeigen, daß sich nur über die Einbeziehung von 3D-Finite-Elemente-Modellierung (FEM) ein qualitativer Zusammenhang zwischen Schalldruck und Meßabstand konstruieren läßt. Pauschalierte Betrachtungen und feldtheoretische Ansätze erweisen sich in Unkenntnis der Strahlercharakteristik als haltlos. Für den Spezialfall Kugelstrahler wurde in ein spezifisch geschaffenes Schulungsmaterial eine Herleitung aufgenommen, für die eine Abschätzung der Quellintensität $[W/m^2]$ möglich ist. Im Ergebnis verschiedener Betrachtungen wird dieser Weg für die 2D-Kartierung nicht weiter verfolgt, im Rahmen eines spezifischen, neuen 3D-Projekts für Fahrzeuginnenräume aber in Verbindung mit simulativen Ansätzen gebracht und weiterentwickelt. Kompensationen werden nicht erfolgen. Eine frequenzabhängige Druckverdopplung am reflexiven Array kann ohne Kunstgriff (ohne Wissen über Strahlerparameter etc.) kompensiert werden durch digitale Summenfilter.

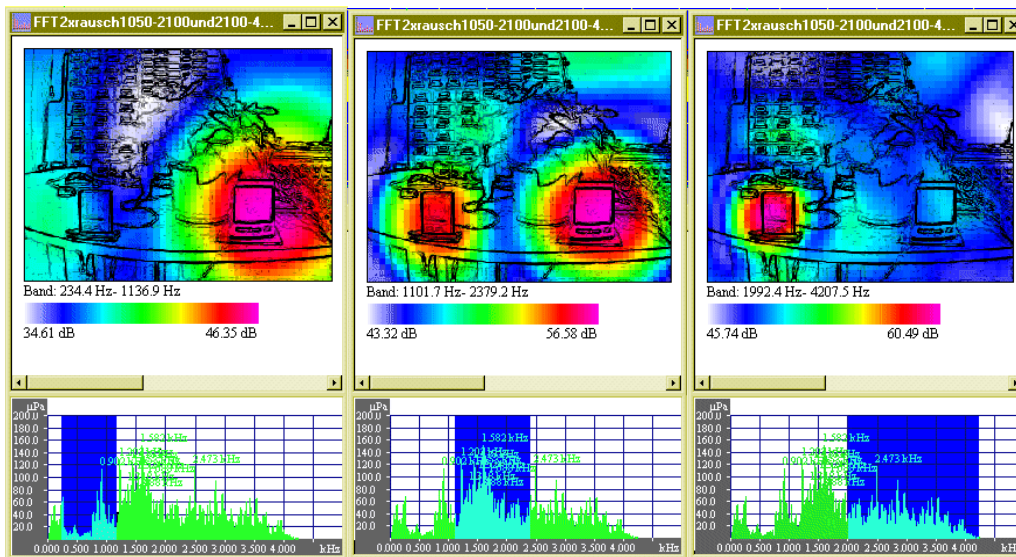


Bild: Live-Preview Experimente, aber auch spektrale Interaktionen gestatten nun die Untersuchung von Quellenanordnungen in eingeschränkter Echtzeit. Im Bild sind zwei Lautsprecherboxen zu sehen, die in unterschiedlichen Frequenzbändern gefärbtes Rauschen abstrahlen. In Abhängigkeit vom blau selektierten Frequenzbereich entsteht das darüber dargestellte Bild

Zu 5) Einfluß der spektralen Zusammensetzung auf die Rekonstruktions-Bildgüte, Einbeziehbarkeit spektraler Kartierungen in den HIT-Kern

Sporadisch traten bei verschiedenen Objekten Fehlerbilder auf, die nicht interpretiert werden konnten, siehe oben. Im Industrieinsatz wird hingegen algorithmische Robustheit gefordert. Bei Messungen an einer Waschmaschine und an einem Hydraulikbagger erkannten wir das Problem. Die Interferenztransformation - wie jedes andere Kartierungsverfahren reagiert sehr empfindlich auf angeschnittene Wellenzüge oder Schwebungen. In die Software wurde nun ein entsprechender Algorithmus integriert, der dieses Problem löst, bzw. der Warnungen verursacht, sollte ein Nutzer die Software mißbräuchlich benutzen. Dabei werden unterschiedliche Lösungsansätze verfolgt (vertraulich): zum ersten werden selektierte Zeit- und Frequenzintervalle in Größe und Lage auf gegenseitige Plausibilität geprüft. Zum zweiten werden bei bestimmten Messungen selektierte Werte auf Nulldurchgang bei steigender/fallender Flanke korrigiert. Es zeigte sich, daß sich Effektivwertfehler auf hinreichend geringe Werte reduzieren lassen. (Die Problematik ist insofern äußerst interessant, als daß Effektivwertfehler in einer bildlichen Darstellung zu falschen Kartierungen führen.) Für spektrale Analysen wurde ein neuer Kern der Transformation entwickelt, der effizient arbeitet und zur HM2000 bereits vorgestellt werden konnte. Die Probleme sind ähnlich denen der Optimalfensterung der FFT.

Zu 6) Detektierbarkeit verschiedener Quellen in Abhängigkeit vom Typ der Zeitfunktionen, Einfluß des Zeitfunktionstyps auf die Bildgüte

Einige theoretische Grundlagen wurden bereits in [Heinz93] dargestellt. Mit herkömmlichen Ansätzen ist dem Problem nicht beizukommen. In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß der Zeitfunktionstyp selbst in die Transformation eingeht. So lassen sich Spikes beliebig vieler Orte bei angemessener Rate mit wenigen Kanälen kartieren (Analogie zum Nervensystem), bei sinusförmigen Zeitfunktionen sind Ergebnisse ortsabhängig, in feldtheoretischer Sprachweise entwickeln wir spektral die Ortskurve der akustischen Karte. Entsprechende Versuchsergebnisse sind bekannt, sind aber nicht ohne Kritik anwendbar. Die Realität liegt zwischen Sinus und Spike. Im Projekt konnten sensationelle Aufnahmen realisiert werden die theoretisch nicht erwartet werden konnten, z.B. Modalbilder einer angeregten Bremsscheibe, Bild 4.

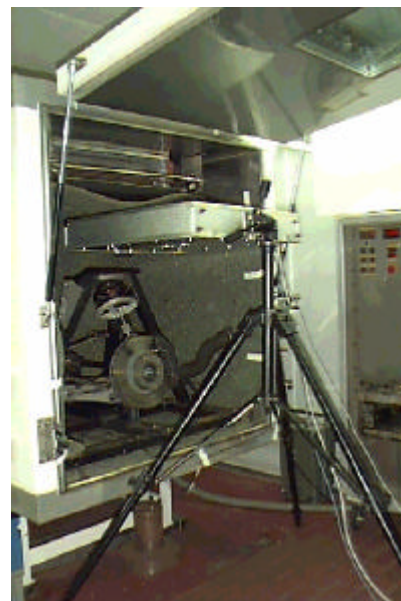
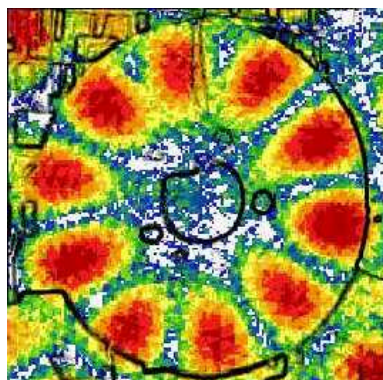


Bild: oben Schwingungsmode (4990 Hz) einer angeregten Bremsscheibe. Im Projektrahmen konnten modale Analysefähigkeiten weiterentwickelt werden. rechts: Ersteinsatz einer AK im Bremsprüfstand bei Porsche

Zu verschiedenen sind Zeitfunktionen verschiedener Objekte, zu chaotisch und unsystematisch sind Wechselwirkungen von Teilquellen und deren Strahlercharakteristiken in der realen Welt. Im Projektrahmen wurden verschiedene theoretische Ansätze zur Lösung dieses Problemkreises diskutiert. Nach vergeblichen theoretischen Verallgemeinerungsversuchen entschieden wir uns für eine praktisch orientierte Vorgehensweise. Ein Realzeitfenster wurde entwickelt, um auf einfache Art experimentieren zu können, siehe Bild 3. Nun ist es möglich, live zu experimentieren oder im Rahmen eines Schulungskurses Kunden selbst experimentieren zu lassen, und die Vielfalt der akustischen Welt zu entdecken. Mit dem entwickelten Tool lassen sich Schallquellen begrenzt in Echtzeit beobachten. So kann man Lautsprecher benutzen, deren Frequenz variieren, den Abstand variieren, Störquellen überlagern oder ein Blatt Papier auf den Lautsprecher legen. Es wird möglich, Fehlerbilder durch Wahl geeigneter Zeitfunktionen und Aufstellungen zu provozieren.

Es ist vereinbart, die Ergebnisse und Erkenntnisse in einem Aufsatz für die "Zeitschrift für Lärmbekämpfung" zu veröffentlichen (Springer VDI-Verlag). Leider fehlte bislang noch die Zeit dazu. Der zuständige Redakteur, Herr Jud, läßt nicht locker.

Verschiedene Experimente mit synthetisierten Zeitfunktionen zeigen teilweise überraschend schauerliche Ergebnisse, so eine Untersuchung eines Simulationsmodells ('Holzmotor') bei Firma Porsche in Weissach. Eine Lösung läge in einer kombinierten Interferenztransformation, bei der ein nichtlinearer Kern mit einem linearen Kern kombiniert

wird. Dabei könnte der nichtlineare Kern extrem bessere Bilder liefern, während der lineare Kern die zugehörigen Schalldruckwerte liefert. Die Problematik konnte innerhalb des Projekts nicht abschließend geklärt werden, sie ist erheblich umfangreicher als zu vermuten.

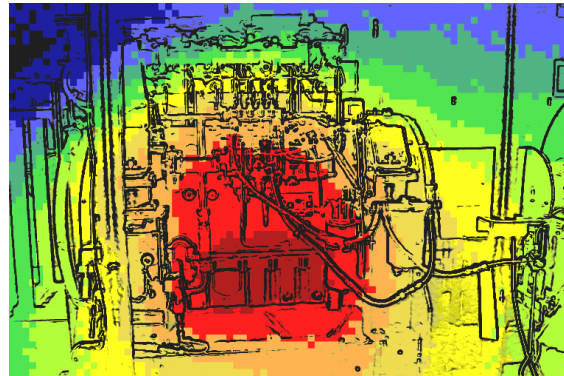
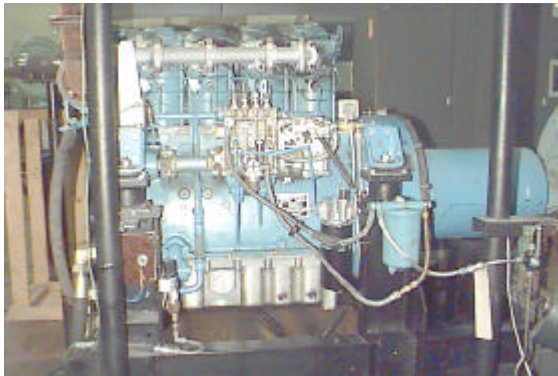


Bild: Bild eines Dieselmotors links mit Schallbild rechts. Zu erkennen ist, daß nicht die Zylinder (oben) oder die Einspritzpumpe (vorn) den meisten Lärm verursachen, sondern die Ölwanne (unten, tiefrot)

Zu 7) Untersuchung der Orts- und Frequenzabhängigkeit der Druckverdopplung an reflexiven Arrays begrenzter Dimension

Zu diesem Problemkreis erfolgten theoretische Untersuchungen, deren Ergebnisse als unsicher bewertet wurden. Mittels Rauschquelle wurde folgend versucht, den Frequenzgang im Freifeld zum Frequenzgang im Kofferarray zu bestimmen. In Abhängigkeit von der Mikrofonposition ergibt sich sowohl in theoretischen Herleitungen als auch in der Messung ein linearer Anstieg der Druckkennlinie zwischen 200 und 1000Hz um 5 dB. Ein entsprechendes Filter steht für das Kofferarray zur Verfügung, allerdings wird es von der Industrie noch immer nicht gefordert, zumeist sind die Ergebnisse der Kartierungen so marginal, daß sich Detaildiskussionen erübrigen.

Verfahrens-Evaluierung

Zu 8) Untersuchung des Einflusses der oberen Grenzfrequenz des Systems auf praktische Parameter der Ortbarkeit

Erste Untersuchungen mit dem im Projektrahmen entwickelten Datenrecorder zeigen mit 1/4"-Meßmikrofonen (<100kHz), daß etliche Metallobjekte unerwartet hohe Ultraschallabstrahlungen besitzen, siehe Bild. Im Bereich zwischen 10 kHz und 100 kHz sinkt die Wellenlänge von 3,4 cm auf 3,4 mm ab. Mikrofonkoordinaten müssen entsprechend millimetergenau bestimmt werden. Elektro-akustische Parameter des Sensortraktes (Mikrofon, Kabel, Verstärker) sowie Wellenfeld-Rekonstruktion werden extrem störanfällig. Kleinste Details, wie winzige Unterschiede in den Kappentoleranzen der Mikrofone führen sofort zum Aus. Die gesamte akustische Abbildungsgerätschaft muß millimetergenau justiert werden um z.B. einen akustischen Hochgeschwindigkeits-Zeitlupenfilm eines elektrischen Funkens zu entwickeln.

So scheiterte der erste Versuch der Kartierung eines Schlüsselbunds aufgrund der starken Ultraschall-Anteile. Eine Analyse der Signalwege ergab, daß verwendete Mikrofone relative Phasenschwankungen nahe 90° um 54 kHz aufweisen. Insbesondere kleine Toleranzen des Luftvolumens unter der Schutzkappe verursachen offenbar diesen Fehler. Nach Entfernung der Schutzkappen der verwendeten Mikrofone Gefell MK301 ließ sich das Problem lösen. Für weitere Entwicklungen bleibt die Frage, ob Meßmikrofone existieren, die nicht dieses Problemverhalten zeigen.

Umso erfreulicher ist es, daß wir durch Unterstützung dieses AiF-Projektes die Chance nutzen konnten und entsprechende, erste Ultraschallfilme entwickeln konnten (erfolgreiche erste Rekonstruktionen: elektrischer Funken, 50.000 Bilder pro Sekunde; schwingendes Rohr, 5000 Bilder pro Sekunde; Schlüsselbund 200.000 Bilder pro Sekunde!).

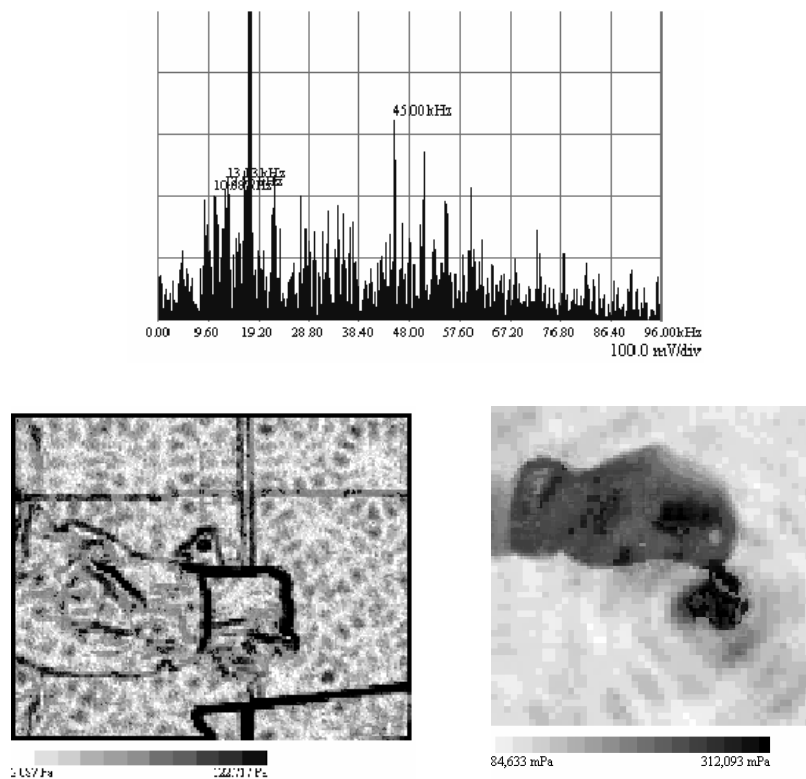


Bild: (Beispiel) a) Fehlerbild 'Blumenmuster' eines Schlüsselbundes mit Schutzkappen, b) Spektrum und c) phasenkorrigiertes, akustisches Bild des klirrenden Schlüsselbundes (frequenzlinear) ohne Schutzkappen.

Zu 9) Bestimmung des Einflusses der Kanalzahl

Theoretisch kann der Einfluß der Kanalzahl nur für Spezialfälle genau berechnet werden. Die im Projekt vorzunehmenden praktischen Untersuchungen konnten mit den zur Verfügung stehenden Versuchsapparaturen und Kanalzahlen durchgeführt werden. Theoretische Erwägungen zeigen, daß Aliasing und Fremdinterferenzprobleme prinzipiell nur mit hoher Kanalzahl, geeigneten Zeitfunktionen und geeigneten Positionen der Mikrofone im Raum lösbar sind. Da Aufnahmen nicht vorlagen, und Simulationen nur theoretisch bleiben, sollten im Projektrahmen insbesondere Industrierversuche Klärung bringen. Dazu wurden verschiedene Problemfelder ausgesucht und entsprechende Messungen wurden vorgenommen. Im Ergebnis kann festgestellt werden, daß 32 Kanäle für bestimmte Mikrofonanordnungen hinreichend sind, für andere Anordnungen weniger. Mit bislang erprobten fünf Anordnungen (Cube, Ring, Matrix, Dreistern und Quadrat) zeigt sich tatsächlich, daß die Einschränkung jeweils eines Freiheitsgrades einer Achse (x,y,z) Verschlechterungen bringt. Beste Ergebnisse bringt eine stochastische, zu x, y und z symmetrische Anordnung, jeder Verzicht auf die Stochastik in jeweils einer Achse bringt Verluste und muß durch erhöhte Kanalzahl kompensiert werden.

So sind 32 Kanäle bei einer Cube-Anordnung für bislang alle vorgefundenen Zeitfunktionen hinreichend frei von Aliasing, bei einer Quadrat-Anordnung (Koffer) hingegen tritt bei bestimmten Konstellationen mit 32 Kanälen bereits Aliasing auf.

Zu 10) Einfluß der Auflösung der AD-Wandlerauflösung auf die Bildqualität

Die vorzunehmenden Untersuchungen konnten mit den zur Verfügung stehenden Versuchsanordnungen und Kanalzahlen durchgeführt werden: Im Ergebnis der Experimente kann eine 16-Bit Auflösung als ausreichend eingeschätzt werden, sofern eine Bereichswahl eine Größenanpassung ermöglicht (100µV...10V). Hardwareseitig konnte durch den Übergang von 12 auf 16bit Analog-Digitalwandler der Störabstand um 24dB ~ 4bit oder Faktor 16 erhöht werden. Damit wurden Voraussetzungen geschaffen, Probleme z.B. bei der Kartierung von dominant tieffrequenten Emissionsquellen prinzipiell zu lösen. Gleichzeitig wurde eine in Ansätzen vorhandene, frequenzselektive Kartierung erweitert, sodaß Frequenzintervalle z.B. unter Ausschluß des störenden Frequenzbereiches gebündelt kartiert werden können. Außerdem wurde ein erweiterter Satz von Filtern bereitgestellt (u.a. Bandsperre), mit dem gezielt Emissionen beeinflusst werden können.

zu 11) Evaluierung der HIT anhand von etablierten Standard-Meßmethoden (DIN) sowie anhand hochentwickelter Spezialverfahren z.B. [26]

Die mit der neuen Technik erreichbaren Bildauflösungen sind vorbildlich. Es ist davon auszugehen, daß die im Vergleich zu anderen Methoden erreichten Projektabschlussergebnisse hervorragend sein werden. Gemessen an Simulationsergebnissen allerdings bleiben noch immer gewisse Reserven. Dennoch sind die Projektergebnisse einzigartig. Es gibt derzeit kein vergleichbares Verfahren auf der Welt. Standard-Meßmethoden müssen heute im direkten Vergleich als vergleichsweise unsicher eingeschätzt werden.

zu 12) Zusammenhang zwischen traditionellen akustischen Parametern und Interferenzkarten

Anhand verschiedener Experimente konnte gezeigt werden, daß die Schalldruck-Rekonstruktionen reproduzierbare Ergebnisse liefern. Entsprechende Zusammenhänge konnten hergestellt werden und wurden in verschiedenen Materialien (z.B. ASA'99) publiziert, siehe Auflistung.

zu 13 bis 15) Neuer Kernalgorithmus für Interferenztransformation

Dieser Aufgabenkomplex wurde zusammen mit einem neuen HIT-Kern implementiert. Statt Skript-Fähigkeit wurde allerdings zeitgemäß unter MFC auf Optionenmenues und Multithreading gesetzt. Die erreichten Leistungsmerkmale der Software lagen über Erwartbarem. Insbesondere konnte die Rechengeschwindigkeit erhöht werden.

Zu 13 und 14) Die Aufgabenstellungen mußten geringfügig modifiziert werden. Anstelle einer Script-Abarbeitung wurden im neuen Core erweiterte Multithread-Fähigkeiten entwickelt. Dies führt ebenfalls zur erwünschten Erleichterung der Bedienbarkeit des Tools.

Damit ist es möglich, eine Fülle von Interaktionen zu gestatten, wie interaktive Schnittstellen akustisches Bild <-> Zeitfunktion des Ortes <-> Frequenzfunktion des Ortes <-> selektiertes Intervall <-> akustisches Bild des Intervalls etc. Geeignete Normierungen wurden eingeführt, der Fenster-Kontext wird gespeichert, sodaß das Tool immer in dem Zustand initialisiert wird, in dem der Anwender es verläßt (Farben, Parameter, Fenstergrößen) etc.

Zu 15) Die Arbeiten sind weitestgehend gediehen. Die neue Programmoberfläche zeichnet sich durch einfachste Handhabbarkeit und diverse neue Tools aus.

Prototyp

Es war ein Prototyp einer hinreichend hochkanaligen und hochfrequent abtastenden Meßanordnung (32 Kanäle/ 200 kHz) zu schaffen, mit der Untersuchungen zu Abtastproblemen durchgeführt werden können. Aufbauend auf eine Vorgängerversion konnte ein modular auf 64 Kanäle erweiterbares System entwickelt werden. Versuchsweise wurden 28 Kanäle in Verbindung mit einem 1/4" Array in Betrieb genommen und zur Hannover Industriemesse 2000 erstmals ausgestellt. Letzte Parameterkorrekturen erfolgen, bis zum Projektende konnte die Entwicklung eines 32-Kanal Systems abgeschlossen werden, bei dem eine Vielzahl industrierelevanter Forderungen eingearbeitet sind. Dieses System ist durch Wahl einer unterschiedlich langen Backplane im Bereich zwischen 4 und 64 Kanälen variabel nutzbar. Erste Meßergebnisse zeigen, daß sich die Arbeiten im Projekt gelohnt haben. Das System liefert neue Bildqualitäten.

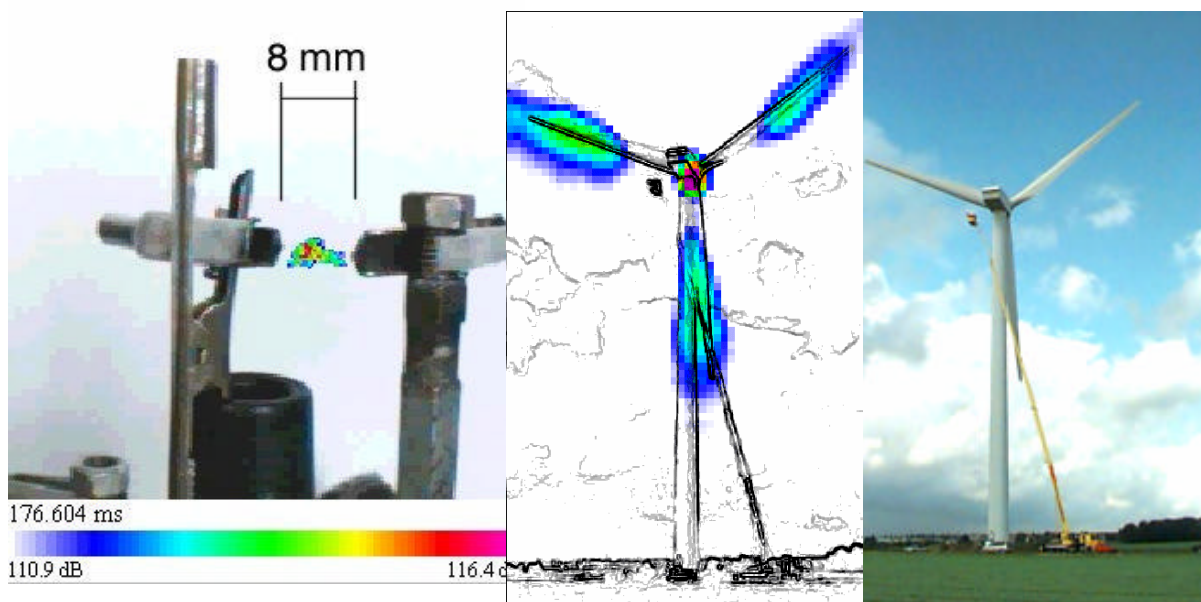


Bild: Schallbilder des kleinsten und des größten Objekts. Das Projekt brachte die Notwendigkeit, die Grenzen des theoretisch machbaren auszuloten. Am kleinsten ist das Schallbild (und ein Film mit 50.000 Bildern pro Sekunde) eines elektrischen Blitzes von 8 mm Länge, links; größtes Objekt mit Bild und Movie war ein Windkraftwerk (1,5 MW, Nabenhöhe 62m, Rotorkreis 70m), rechts - beides weltweit noch einmalig

Projektbegleitender Ausschuß

Eine Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses im Projekt NOISE 'Geräuschortung an Maschinen und Anlagen' fand statt, Protokoll siehe Anlage. Mit 10 Vertretern aus der Industrie wurden Fragen der Anwendbarkeit und der Weiterentwicklung bisheriger Verfahren besprochen, der derzeit erreichte Arbeitsstand wurde vorgestellt. Uns wurde mit Vehemenz das große Interesse der Industrie an einer raschen Produkteinführung der entwickelten Verfahren ans Herz gelegt. Im Ablauf des Projekts wuchs die Liste deutscher Firmen, die Interesse an dieser Technologie anmeldeten, auf über 300. Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

Berlin, den 30.3.2000

Ort, Datum

Unterschrift des Projektleiters

Anlagen

Anlage 1: Impressionen von Messobjekten

- links oben: akustische Kamera vor dem Projekt "Der leiseste Bagger" (Liebherr Ochsenhausen)
- darunter: Aufklärung der Schallentstehung am Induktionstiegelofen (RWTH Aachen/Duktilguß Fürstenwalde)
- rechts oben: Akustische Kamera am Kranhaken (Liebherr Ehingen), darunter Bild und Schallbild von einem Mobilkran
- links unten: akustische Sicht auf eine Chemieanlage (EC Köln)
- rechts unten: Bild und Schallbild eines Baggers von oben

Anlage 2: Veröffentlichungen mit Bezug zum Thema

Anlage 3: Protokoll projektbegleitender Ausschuß vom 16.2.2000

Anlage 2: Veröffentlichungen mit Bezug zum Thema

- [0] Heinz, G.: Abstraction Levels in Neuro-computation - from Pattern Processing to Wave Interference. Invited plenary lecture and regular paper #1504-436 for the International ICSC Symposium on BIOLOGICALLY INSPIRED SYSTEMS (BIS'2000) as part of the International ICSC Congress on Intelligent Systems and Applications (ISA'2000) December 11-15, 2000 at the University of Wollongong, Australia
- [1] Heinz, G.: Space-time Relations in Wave Interference Systems with Attention to Nerve Networks. Regular paper #1402-028 for the Second International ICSC *Symposium on Neural Computation* NC'2000, May 23-26, 2000 at the Technical University of Berlin
- [2] Heinz, G., Döbler, D., Nguyen, T.: Acoustic Photo- and Cinematography basing on the H-Interference Transformation (HIT). ASA'99: 137th meeting of the Acoustical Society of America, 2nd Conv. European Acoustics Ass. and 25th German Acoustics and DAGA Conference at TU Berlin, Germany, March 14-19, 1999
- [3] Heinz, G.: An investigation of 'Pictures of Thought' - properties of pulsating, short circuit networks in Theory and simulation. Int. School of Biophysics "Neuronal Coding of Perceptual Systems", Cassamicciola, Isle of Ischia, Naples, Italy, Oct. 12-17, 1998
- [4] Heinz, G.: Wave Interference Technology - Übergänge zwischen Raum und Zeit. 43rd Int. Scien. Coll., TU Ilmenau, September 21-24, 1998, p. 645-651
- [5] Heinz, G., Höfs, S., Busch, C., Zöllner, M.: Time Pattern, Data Addressing, Coding, Projections and Topographic Maps between Multiple Connected Neural Fields - a Physical Approach to Neural Superimposition and Interference. Proceedings BioNet'96, GFaI-Berlin, 1997, pp. 45-57, ISBN 3-00-001107-2
- [6] Heinz, G.: Introduction to Interference Projection and Interference Reconstruction - Virtual Experiments. 118.3.1996, 19 S. Postscript-Preprint in der Internet-Homepage der GFaI: <http://www.gfai.berlin.de>
- [7] Heinz, G., Höfs, S., Busch, C.: Erzeugung von Präzisionsbildern akustischer Laufzeitfelder durch Nutzung paralleler und serieller Interferenz, Projektlaufzeit: 01.06.1995 - 31.05.1996, GFaI-Jahresbericht 1996
- [8] Heinz, G., Höfs, S., Koeppe, I.: Parallel Interference Transformation to Simulate Nervous Activity. PowerX'plorer User Report, 2nd Edition, June 1995, Jan Knop, Ingo Schreiber, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, June 1995, S. 131-136
- [9] Heinz, G., Hoefs, S., Koeppe, I., Kittner, D., Busch, C.: Verfahren und Prototyp zur Rekonstruktion eines dreidimensionalen, neuronalen Interferenzraumes. GFaI Jahresbericht 1994, Mai 1995, Seiten 63-72
- [10] Heinz, G., Hoefs, S., Busch, C.: Verwendungsnachweis und Sachbericht Projekt NEURO3D. GFaI Berlin, 20.12.1995, ca. 70 S.
- [11] Heinz, G.: Relativität elektrischer Impulsausbreitung als Schlüssel zur Informatik biologischer Systeme. 39. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium an der TU Ilmenau 27.-30.9.1994, Abgedruckt in Band 2, S. 238-245
- [12] Heinz, G.: Modelling Inherent Communication Principles of Biological Pulse Networks. SAMS 1994, Vol.15, No.1, Gordon & Breach Science Publ. UK, Printed in the USA.
- [13] Heinz, G.: Neuronale Interferenzen oder Interferenzen in elektrischen Netzwerken. Autor gleich Herausgeber. GFaI Berlin, 1992 bis 1996, Persönlicher Verteiler, 30 Exemplare. 300 S.

Andere über unser Arbeit - Medienecho

(siehe im Detail z.B. <http://www.gfai.de>)

- [14] B.Z., Technik, febr. 11, 2000 "Erste Kamera, die Lärm fotografiert "
- [15] Welt am Sonntag, febr. 6, 2000 "Lärm kann jetzt gefilmt werden "
- [16] ORF, Modern Times, jan. 21, 2000, 22.35 "Kamera sieht Lärm"
- [17] ProSieben-TV, Galileo, nov. 8, 1999, 19.50 "Lärmkamera"
- [18] RTL sternTV, june 23, 1999, 22.05 "Wie aus Schallwellen Bilder werden"

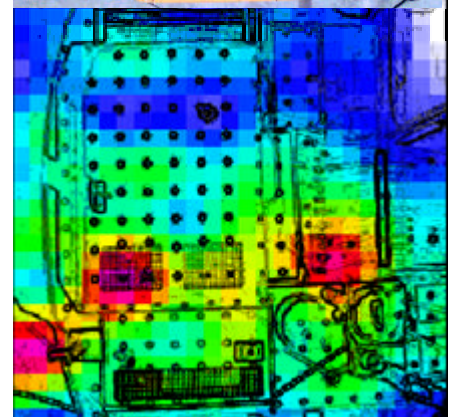
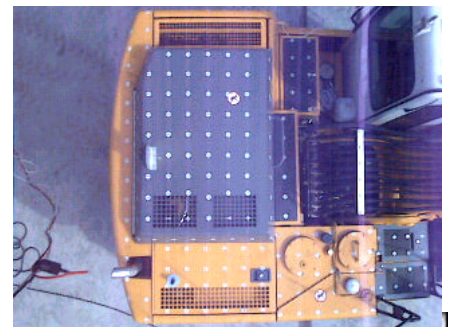
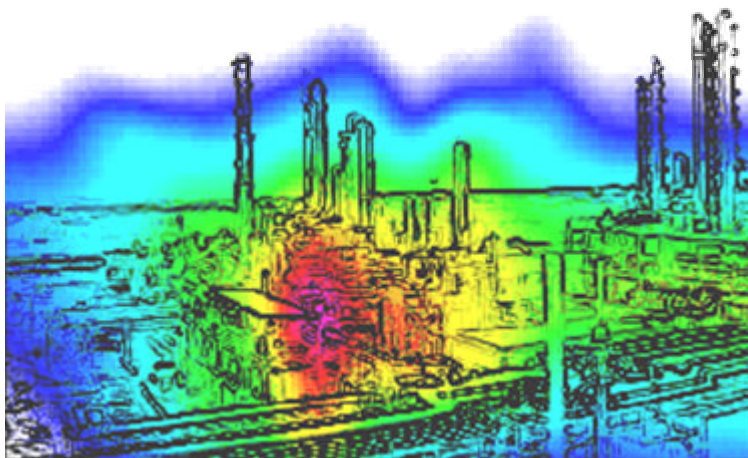
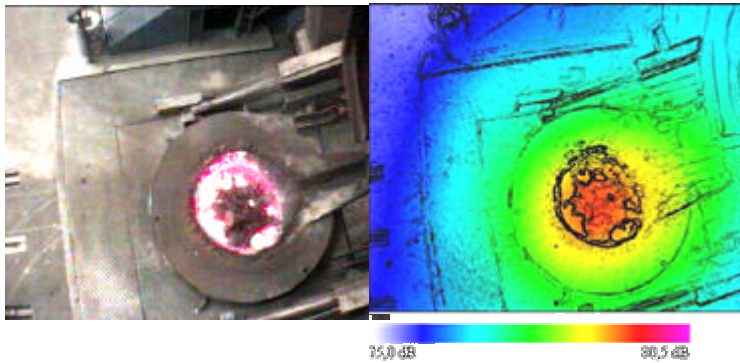
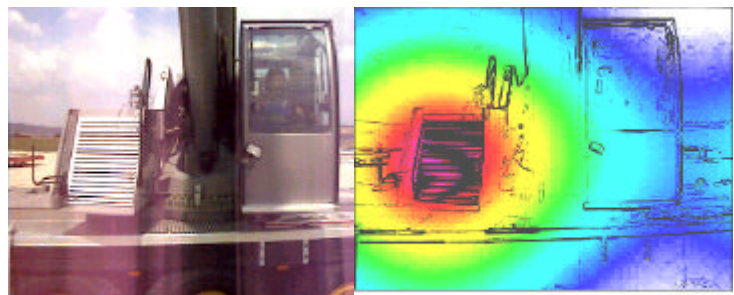
- [19] Die Welt, June 16, 1999, p.38 "Forschungsförderung macht sich bezahlt"
- [20] AiF-Innovationstag, June 15, 1999 "BMBF-Ministerin Bulmahn zu Gast bei akustischer Kamera"
- [21] MDR TV, May 11th 1999, 19.50 Erfindermagazin 'Einfach genial': "Akustikkamera"
- [22] Hannover Messe, Messezeitung MZ, April 24, 1999, p.4 "Sechzehn Ohren hören mehr als zwei"
- [23] NDR Hörfunk, April 23, 1999 Hannover Industrie Spezial: "Berliner Wissenschaftler stellen akustische Kamera vor"
- [24] SFB-B1 TV, Quivive - Medizin aus Berlin, April 21, 1999, 20.15 "Hörschäden durch Spielzeugpistolen"
- [25] NDR TV, N3 Nachrichten, April 20, 1999 "Highlights von der Hannover Industrie '99"
- [26] Verband innovativer Unternehmen e.V., March 1999 "Akustikkamera liefert präzise Schallbilder"
- [27] Industrieanzeiger: "Software statt Zettelwust". Konradin Verlag Leinfelden-Echterdingen, Jahrgang 121, Nr. 10 v. 8.3.1999, Seiten 24-25 (op)
- [28] ND Special: Innovationen, Dienstag, 26. Januar 1999, Seite 14, "Hybride, deren Neuheit noch nicht gesehen wird", Autor: Hendrik Lasch
- [29] 3sat, Technikmagazin 'HITEC', 11.1.1999, 21 Uhr, "Wenn Geräusche sichtbar werden", Beitrag von Jürgen Moll
- [30] Ostdeutscher Rundfunk Brandenburg (ORB), Wissenschaftsmagazin, 29.9.1998, "Lärmkamera - Fahndung nach störenden Geräuschen" Beitrag von Anne Johe
- [31] Die Welt, Hamburg, etwa Juli 1998, "Computer fotografiert Lärm", Quelle: ADN
- [32] Ostdeutscher Rundfunk Brandenburg (ORB), OZON - Das Umweltmagazin, 3.6.1998, 21 Uhr: "Lärmfotografie - das unterschätzte Umweltgift wird sichtbar". Beitrag von Joern Stiller, M4-Medien
- [33] Deutsche Welle in der Sendung "Leonardo - Das Zukunftsmagazin": "Die akustische Kamera", 9./10.4.1998, 09.04.1998, 15:00 und 19:30 Uhr, 10.04.1998, 02:30 und 10:30 Uhr. Joern Stiller
- [34] c't 1998, Heft 6, Seite 76 aktuell/CeBIT-Forschung: "Geräusche fotografieren" (ae)
- [35] Fördertechnik: Akustische Kamera entwickelt. Untersuchung von Maschinen- und Motorgeräuschen. 10/97, S. 31
- [36] Ochel, M.: Bilder aus der Welt des Schalls. Berliner Zeitung Nummer 127, Mittwoch, 4.6.1997, Seite VI
- [37] Bäsecke, J.: Akustische Kamera entwickelt. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 27.6.1997
- [38] Bäsecke, J.: Eine Kamera sieht Krach. GEO-Journal, Heft 9/97, Seite 47f.

Vorträge

- [39] Heinz, G.: Neue Möglichkeiten der Ortung und Dokumentation von Schallquellen mit der akustischen Kamera. Hannover Messe, Forum tech transfer, 20.3.2000, Halle 18, L01
- [40] Heinz, G.: Akustische Photo- und Kinematografie. Verschiedene Vorträge in Veranstaltungen der GFaI, der TSB, des VIU, der Humboldt-Universität Berlin, der TU Berlin, der FHTW, bei Firmen, der AiF etc.
- [41] Höfs, Sabine; Heinz, Gerd (GFaI Berlin): Wellenfelder elektrischer Aktivität aus ECoG-Aufnahmen des menschlichen Hirns. Theoretische Grundlagen und Vorführung. GFaI-Workshop 'Biologieorientierte Informatik und pulspropagierende Netze', 17.11.95, Innovations- und Gründerzentrum Berlin-Adlershof, Veranstalter GFaI e.V. Berlin
- [42] Heinz, Gerd (GFaI Berlin): Theorie verzögernder, pulspropagierender, neuronaler Netzwerke: Überlagerung von Zeitfunktionen, Interferenz, Maske, Abbildung, Spektrum, Feldintegral. GFaI-Workshop 'Biologieorientierte Informatik und pulspropagierende Netze', 17.11.95, Innovations- und Gründerzentrum Berlin-Adlershof, Veranstalter GFaI e.V. Berlin
- [43] Workshop 'Hochgeschwindigkeitskommunikation in (parallelen) Rechnernetzen'. November 1993, Thesys Erfurt, Veranstalter GFaI
- [44] GFaI-Workshops 'Biologieorientierte Informatik und pulspropagierende Netze', 1994, 1995, 1996. Innovations- und Gründerzentrum Berlin-Adlershof, Veranstalter GFaI

- [45] Heinz, G.: Laufzeiträume als neue Doktrin - Relativität elektrischer Impulsausbreitung im Verhältnis zu statischen Modellierungsansätzen: neue Ergebnisse. Workshop 'Biologieorientierte Informatik und pulspropagierende Netze', GMD-FIRST Berlin, 18.11.94, Veranstalter GFaI e.V. Berlin
- [46] Höfs, Sabine, Heinz, Gerd: Bio-Interface: Vorstellung eines neuartigen Meßgeräts und Simulators für Räume neuronaler Interferenz. Workshop 'Biologieorientierte Informatik und pulspropagierende Netze', GMD-FIRST Berlin, 18.11.94, Veranstalter GFaI e.V. Berlin
- [47] Heinz, G.: Neuronale Interferenz- Architekturen: Herausforderung für massive Parallelität im ULSI- Maßstab. Vortrag FHTW FB3, 28.5.93
- [48] Heinz, G.: Neuronale Interferenzen. Öffentlicher Vortrag vor GFaI (Prof. Iwainsky) und GMD-FIRST im Hause 13.7, Akademiegelände Berlin- Adlershof am 27.8.93
- [49] Heinz, G.: Neuronale Interferenzen. Öffentlicher Vortrag an der Technischen Fachhochschule Berlin- Wedding, Labor für Künstliche Intelligenz (Prof. Hamann) am 27.10.93
- [50] Heinz, G.: Neuronale Interferenzen. Öffentlicher Vortrag im Institut für Mikroelektronik der TU Berlin (Prof. Klar) am 27.1.94
- [51] Heinz, G.: Addressing Principles of Neural Information. 25 p. Privat communication only. GFaI, 1993

Anlage 1 Impressionen (nicht zur Veröffentlichung freigegeben)



Band: 3020.7 Hz- 4002.2 Hz

220.34 μPa 369.36 μPa

52.00 dB 56.00 dB