

4.6.2 Verfahren und Prototyp zur Erzeugung von Präzisionsbildern akustischer Laufzeitfelder durch Nutzung paralleler und serieller Interferenz (PSI)¹

(Projektlaufzeit: 01.06.1995 - 31.05.1996)

Gerd K. Heinz, Sabine Höfs, Carsten Busch

Zielstellung und Grundlagen

Geräuschemissionen an Geräten und Anlagen gehen von verschiedenen Orten mit unterschiedlichen Intensitäten aus. Bestimmte Zonen verursachen kontinuierlich geringe Schallemissionen, andere emittieren stärker und pulsartig. Umweltfreundliche Geräte zu entwickeln, heißt Geräusche zu minimieren. Voraussetzung dafür ist eine Meßbarkeit verschiedener Geräuschorte in Relation zueinander.

Um Schallemissionen vermessen zu können, wurde eine 16-kanalige, akustische Kamera entwickelt. Anstelle von Lichtstrahlen fotografiert sie mit Schallwellen, die in einem Computer verarbeitet werden. Erste Ergebnisse sind die Messung der Geschwindigkeit eines Busses in einer Entfernung von 170 Metern, die Rückrechnung der Erregungskartierung einer Brief-Ettiketiermaschine oder die Untersuchung der Emissionsorte eines PKW.

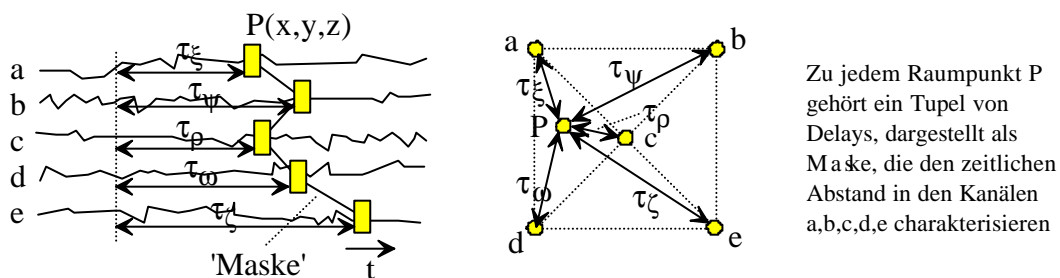


Bild 1: Grundlage der Interferenztransformation: Die Maske eines Ortes vermittelt eine Beziehung zwischen Raumerregung und Zeitfunktionen

Moderne Geräte zeichnen sich durch umweltverträgliche, minimale Geräuschemissionen aus. Dieses Ziel ist bislang bei komplexen Geräten durch keine Meßmethodik praktikabel untersetzbar. Es existiert kein Werkzeug, um verschiedene Schallquellen im Vergleich zu untersuchen. Im Projekt wurde auf Basis neuronaler Prinzipien ein neues Verfahren zur Gewinnung von Erregungskarten aus akustischen Kanaldaten entwickelt.

Basis der Untersuchungen ist die an der GFaI entwickelte, und erstmalig in [1] veröffentlichte *Interferenztransformation* (HIT), die einen Zusammenhang zwischen parallel an verschiedenen Orten aufgenommenen Kanaldaten (Mikrofonikanäle) und Erregungsorten herstellt. Die Transformation ist in der Software *PSI-Tools* implementiert. Die Maske eines Ortes vermittelt einen allgemeinen Zusammenhang zwischen Zeitfunktionen und Erregungskartierungen (siehe Bild 1). Orte a bis d bezeichnen Koordinaten von Mikrofonen, $P(x,y,z)$ ist der zu berechnende Punkt. Grundlage der Interferenztransformation sind vereinfacht geringe Phasenunterschiede der einzelnen Mikrofonkanäle.

PSI-Tools arbeitet unter Windows for Workgroups 3.11 bzw. Windows'95, zur Zeit als 16-bit Software auf Personalcomputern vom AT-Typ. Die 16-kanalige Hardware ist eine Spezialentwicklung, bestehend aus Preamplifier und Analog-Digital- bzw. Digital-Analog-

¹ Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft (Förderkennzeichen 744/95)

Convertern mit Steuerung. Zur Zeit sind Records mit bis zu 50 k Samples pro Sekunde (kSps) aufnehmbar, deren Dauer nur durch die Hauptspeichergröße des verwendeten Computers begrenzt wird. Eine Eigenentwicklung eines 16-kanaligen, 5 MSps-Recorders steht vor dem Abschluß.

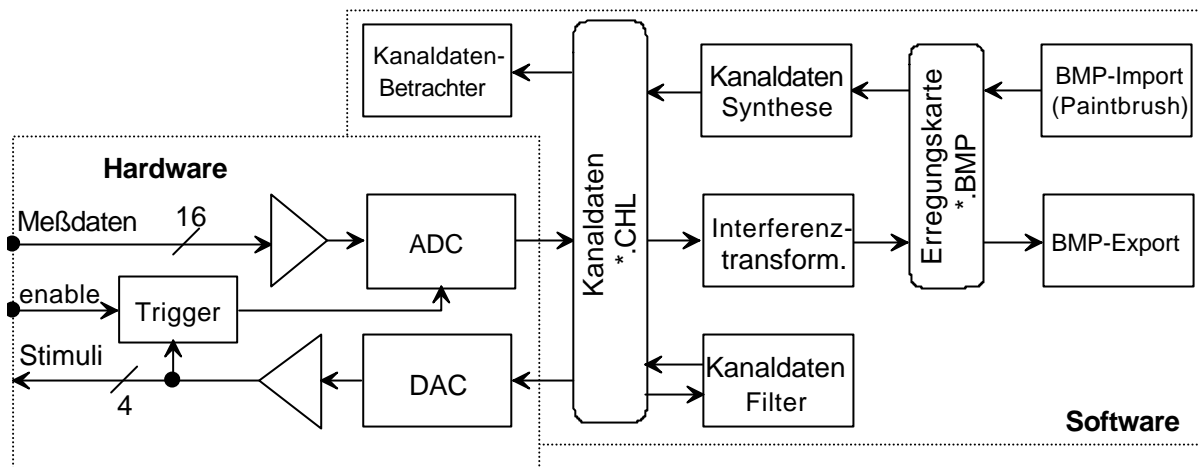


Bild 2: Prinzipbild der Aufnahmeeinrichtung: Datenrecorder mit Software
PSI-Tools auf PC-AT-Basis WfW 3.11/Windows'95

Ergebnisse

Nachdem in Vorläuferprojekten die generelle Eignung der Interferenztransformation zur Rekonstruktion von Erregungskarten anhand von Simulationen und orientierenden Versuchen nachgewiesen werden konnte, kam es im Projekt *PSI* darauf an, praktische Einsatzfälle zu finden und zu untersuchen. Eine der Besonderheiten des Projekts lag darin, die Vielzahl der in *PSI-Tools* einstellbaren Parameter praktisch beherrschen zu lernen, und erste Erfahrungen mit Schallbildern zu erlangen. Es zeigt sich, daß die Bildwelt des Schalls sehr verschieden zur optischen Bildwelt ist. Da die verwendeten Wellenlängen im Vergleich zu den Materialrauigkeiten groß sind, spiegeln sämtliche Flächen. Weiße Flächen existieren praktisch nicht. Einzelne Reflektionen unterscheiden sich lediglich in der Verschiedenartigkeit der Dämpfung. Anstelle von Wänden sehen wir Spiegelpunkte beleuchtender Quellen auf der gesuchten Fläche. Die Größe des Mikrofonarrays im Vergleich zu kurzen Aufnahmedistanzen sorgt für eine ungewohnt hohe Tiefenschärfe, deren Variation am ehesten mit den Verhältnissen am Mikroskop vergleichbar ist.

Bildserien fahrender Autos

Mit einem an der Außenwand des Gebäudes 13.7 am Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Berlin-Adlershof (WISTA) angebrachten Mikrofonarray der Größe 5x6 m, Bild 3a) wurden die vor dem Gebäude liegenden Straßen (Kekuléstr. und Rudower Chaussee) belauscht (Bild 3b). Die Untersuchungen erfolgten in den Abendstunden, um die im Vergleich sehr starke Emission des zur Meßanordnung gehörenden Gebäudes zu reduzieren.

Es gelingt, das Vorbeifahren eines Busses auf der 170 m entfernten Rudower Chaussee zu rekonstruieren, sowie die Geschwindigkeit des Busses aus vier im Zehntelsekundenabstand berechneten Interferenzintegralen zu bestimmen (siehe Bild 4 links). Der Einfluß von Luftströmungen (Wind) kann untersucht werden, ein interferenzielles Samplingtheorem wurde verifiziert (siehe Internet-Homepage [2]).

Die Vorbeifahrt eines PKW auf der Kekuléstr. ist in Bild 4 rechts) dargestellt. Etwa in der Mitte finden wir eine Störung, die der Fahrt des PKW hinter die Hauskante des im Bild 3b zu erkennenden Gebäudes rechts unten entspricht. Das Fahrzeug scheint hier aufzusteigen und auf der

Dachkante des Gebäudes weiterzufahren. Wahrscheinlich ist dabei die Reflexion des hinter dem Fahrzeug liegenden Gebäudes beteiligt.

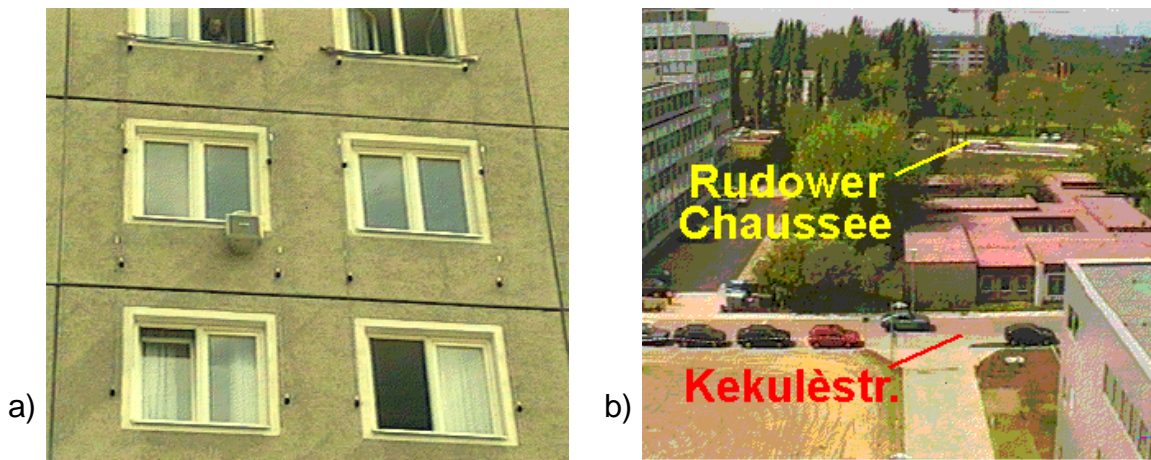


Bild 3: a) 16-Kanal Mikrofonanordnung 5x6 Meter und b) sichtbarer Horizont der Mikrofone bei Außenmessungen

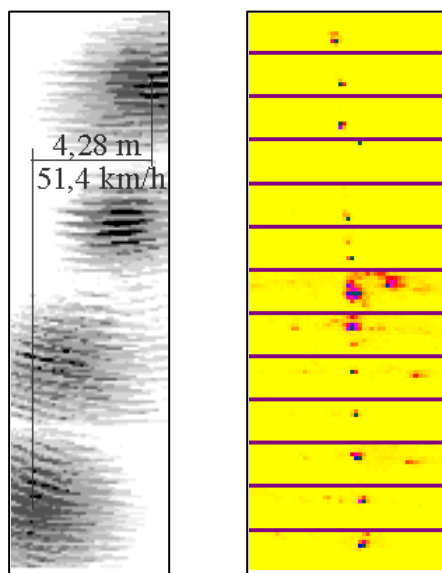


Bild 4: Bildserien fahrender Autos:

Links: Bus auf der Rudower Chaussee in vier Interferenzintegralen, die im Abstand von 0,1 s aufgenommen sind. Bildfeld 6x5 m, 10 kSps, 1 kS per Teilbild, Meßabstand 170 Meter (!); 0808_31.chl

Rechts: PKW fährt auf der Kekuléstrasse. 13 Interferenzintegrale im Abstand von je 0,2 Sekunden. Bildfeld 50x10 m, 10 kSps, 2 kS per Bild, Meßabstand 70 Meter, Bildfeld rechts verschoben; 0808_21.chl

Bei den Messungen zeigen sich in Theorie und Praxis Zusammenhänge zwischen verschiedenen Parametern. So sollte der Mikrofonabstand nicht kleiner als die

größte, zu messende Wellenlänge gewählt werden. Andererseits geben bestimmte Objekte Leistungsspektren ab, deren Verteilung unbeeinflussbar bei so niedrigen Frequenzen liegt, daß praktikable Mikrofonanordnungen nicht mehr realisiert werden können. So sind Außenmessungen mit dem 5x6-Meter-Array im Frequenzbereich ab 500 Hz aufwärts erfolgreich, obwohl die beobachteten Fahrzeuge spektrale Schwerpunktemissionen bei wenigen Hertz aufweisen.

Akustische Bilder einer Briefetikettiermaschine

Erstmalig wurde es mit freundlicher Unterstützung der AEG Postautomation Berlin/Konstanz möglich, ein komplexes Schallobjekt zu untersuchen, dessen einzelne Emissionsquellen optisch gut separierbar sind.

Die Messungen erfolgten mit einem stabilen 90x90-Zentimeter-Array, dessen Auflösung bei Frequenzen ab 1 kHz aufwärts zunehmend besser wird. Diese Messungen sind insofern interessant,



als sie den praktischen Nachweis erbringen, daß unter Maßgabe nicht pulsformiger Zeitfunktionen und endlich kleiner Kanalzahl eine Separation einer Vielzahl von Objekten praktisch möglich ist. Ein Beweis für dieses Phänomen steht in der Theorie noch aus.

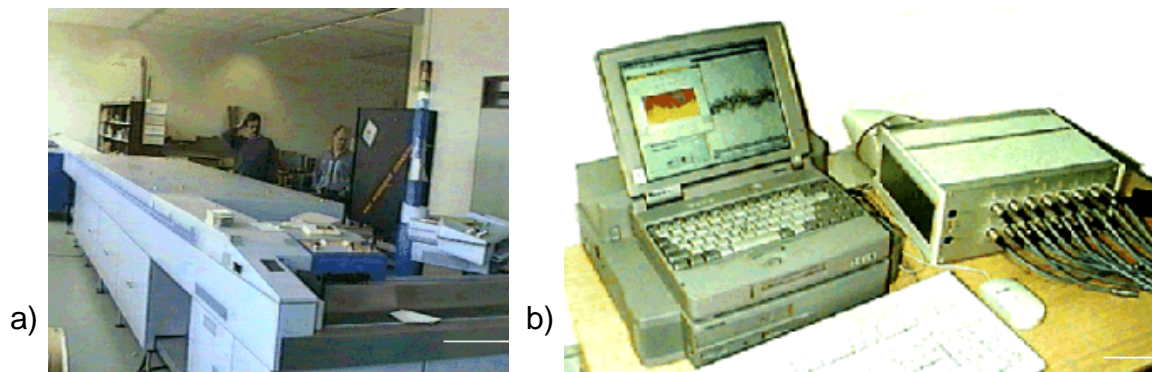


Bild 5: a) AEG-Briefetikettiermaschine mit dahinter stehendem Mikrofonarray (schwarz, 16-kanalig); b) PC-Datenrecorder mit Vorverstärker

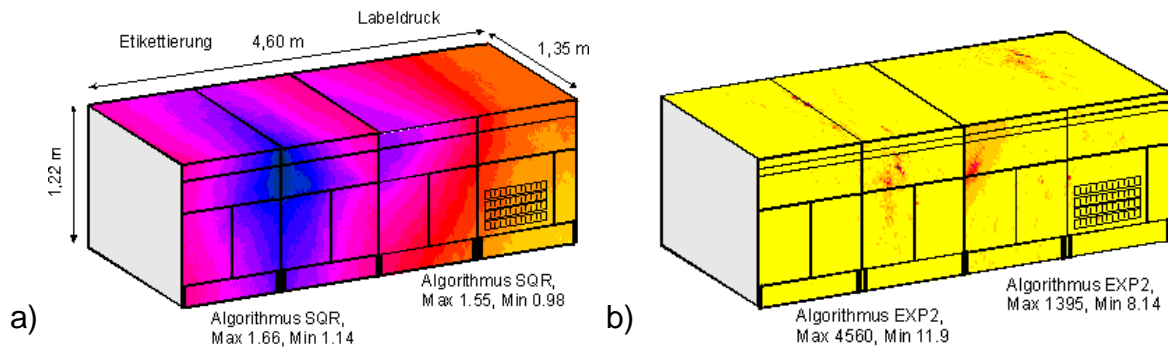


Bild 6: AEG-Briefetikettiermaschine: a) Leistungsbewertetes Geräuschbild und b) spitzenbewertetes Geräuschbild

Mit vor der Maschine stehendem Mikrofonarray wurde bei verschlossener Maschine gemessen. Die verschiedenen Flächenbelegungen der Maschine wurden einzeln berechnet. Die gewonnenen Aufnahmen überraschen durch eine erstmals deutlich werdende, enorme Unterschiedlichkeit zwischen Spitzenemissionen und Emissionen mit hoher Schalleistung. Während Spitzenemissionen im Bild 6b zumeist von deutlich hörbaren pneumatischen Ventilen und Stößeln stammen, entsteht die durchschnittlich höchste Schalleistung durch Lüfter- und Antriebsgeräusche an ganz anderen Orten, Bild 6a. Insbesondere der Spalt in der Verkleidung der linken Maschine trägt erheblich zur Schallemission bei.

Aus subjektiver Sicht sind diese die höchste Schalleistung tragenden Grundgeräusche nur unterschwellig wahrnehmbar. Aus Gründen des Urheberrechtes ist es leider nicht möglich, ein Referenzbild der geöffneten Maschine darzustellen.

Akustische Bilder eines PKW

Insbesondere im innerstädtischen Bereich sind Geräuschemissionen von Fahrzeugen äußerst störend. Mit der akustischen Kamera wird es möglich, potentiell emittierende Orte in Relation zueinander zu betrachten. Gemessen wird wiederum mit dem 90x90-cm-Array im Frequenzbereich von 1 bis 10 kHz. Die Ergebnisse überraschen teilweise.



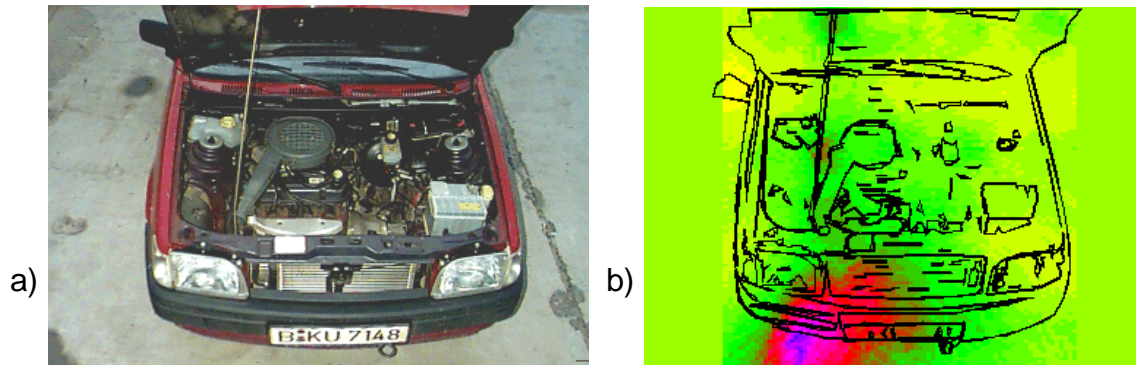


Bild 7: Motorraum eines PKW. a) Sicht des Mikrofonarrays zum Fahrzeug, b) Geräuschbild aus dem Motorraum. Es wird deutlich, daß der Motor kaum an den Emissionen beteiligt ist. Die Aufnahme verdeutlicht die Wirkung einer unberührten Neuschneedecke: Offenbar werden die Bodenreflektionen durch Neuschnee stark bedämpft.
Daten: 20 kSps, 1200 Samples, 2x Hochpass 3 kHz/-2 dB, exp0,8

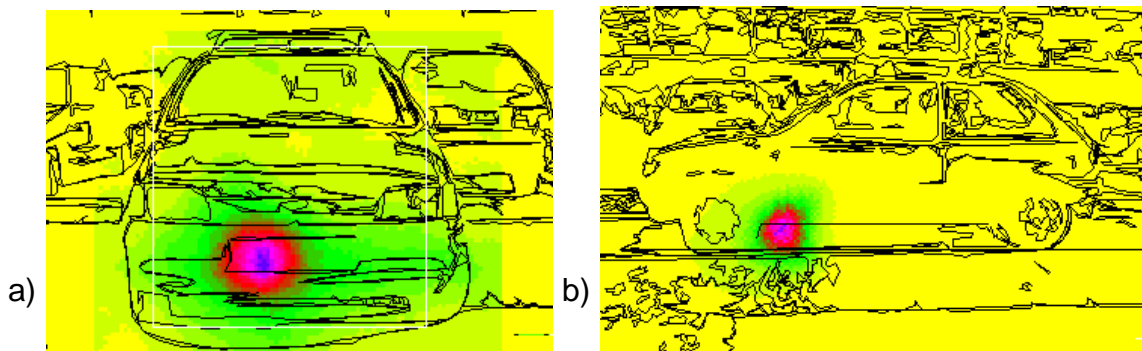


Bild 8: Geräuschaufnahmen desselben PKW in horizontaler Richtung. a) Sicht des Mikrofonarrays horizontal von vorn, b) Sicht des Mikrofonarrays horizontal seitlich (exp0,8)

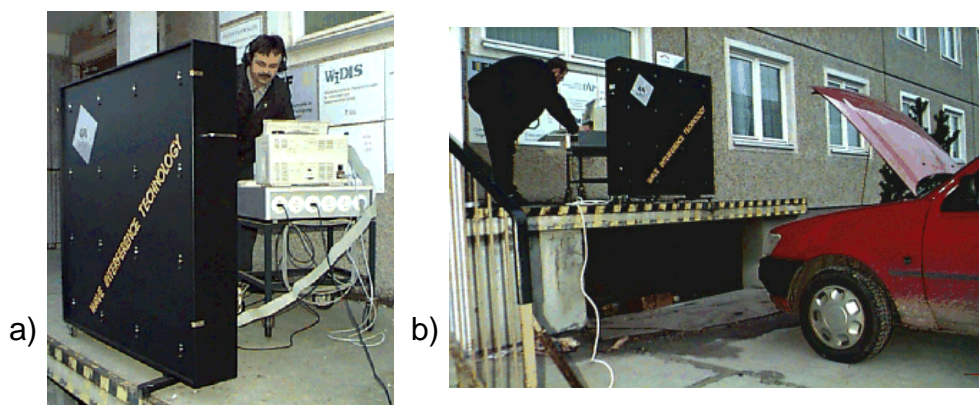


Bild 9: a) 16-Kanal-Mikrofonarray und b) Aufnahmeanordnung für die Motoruntersuchung nach Bild 7.



Im Glauben, der Motor sei die Hauptquelle von Geräuschemissionen, wurde zunächst ein Bild aus dem Motorraum entwickelt. Weit gefehlt: Bild 7b) zeigt, daß die Hauptemission als Bodenreflektion des Vorschalldämpfers entsteht! Die Aufnahme verdeutlicht die Wirkung einer unberührten Neuschneedecke: Offenbar werden die Bodenreflektionen durch Neuschnee stark bedämpft.

Zusammenfassung

Mit einem Ansatz aus der Neuroinformatik gelingt es im Projekt, passiv Geräuschquellen zu orten und akustische Bilder anzufertigen. Mit der an der GFaI entwickelten und in [1] erstmals veröffentlichten *Heinzschen Interferenztransformation* (HIT), die in der Software *PSI-Tools* implementiert ist, können aus 16 Mikrofonikanälen Erregungskartierungen zurückgerechnet werden. Eine zeitlich befristete Demoversion von *PSI-Tools* ist über die Internet-Homepage [2] zu beziehen. Die Aufnahmen überraschen durch ungewöhnliche Details. So zeigt sich der akustische Raum stark spiegelnd und dämpfend, nicht aber diffus reflektierend. Ein Bus kann in einer Entfernung von 170 Metern akustisch geortet werden. Bilder aus dem Motorraum eines PKW zeigen starke Bodenreflektionen des Vorschalldämpfers als eigentliche Lärmquelle. Bilder einer AEG-Briefetikettiermaschine zeigen eine Besonderheit: Subjektiv werden nur kurze Spitzenemissionen geortet, hingegen stammt das Maximum der Schalleistung von stationär laufenden Geräteteilen, die subjektiv nicht wahrgenommen werden. Es wird deutlich, daß Lärmvermeidung oft an ganz anderen Stellen ansetzen muß, als zu vermuten wäre.

Im Vergleich zu akustischen Matrixverfahren und Hologrammmethoden entsprechend dem internationalen Stand (siehe z.B. [7]) ist das Verfahren robust gegenüber Störungen und Reflexionen. Erstmals sind Aufnahmen aus dem Fernfeld möglich. Schalltote Räume sind nicht zwingend erforderlich. Weil die HIT im Zeitbereich ausgeführt wird, ist es möglich, stark nichtstationäre Prozesse zu analysieren und Kinematographien der Erregung anzufertigen.

Erstmals steht eine Technologie zur Verfügung, mit deren Hilfe es möglich wird, komplexe Schallobjekte unzerlegt auf deren relative Emissionen zu untersuchen. Schwierigkeiten bereiten zur Zeit noch fehlende Justiereinrichtungen zwischen Optik und Akustik, sowie weiterzuentwickelnde Visualisierungs- und Filtertechniken.

Quellenangabe

- [1] 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
- [2] Internet-Homepage (~20MB) siehe http://www.gfai.fta-berlin.de/www_open/perspg/heinz.htm
- [3] Heinz, G., Höfs, S., Koepf, I.: Parallel Interference Transformation to Simulate Nervous Activity. PowerXplorer User Report, 2nd Edition, June 1995, Jan Knop, Ingo Schreiber, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, June 1995, S. 131-136
- [4] 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, bzw. unter [2]
- [5] Heinz, G.: Modelling Inherent Communication Principles of Biological Pulse Networks. Systems-Analysis-Modelling-Simulation (SAMS), Gordon & Breach Science Publ., SAMS 1994, Vol.15, pp.151-158
- [6] Heinz, G.: Neuronale Interferenzen oder Impulsinterferenzen in elektrischen Netzwerken. Autor gleich Herausgeber. GFaI Berlin, Dez. 1994, 300 S.
- [7] Hald, J.: Use of Spatial Transformation of Sound Fields (STSF) Techniques in the Automotive Industry. Brüel & Kjaer, Technical Review No. 1-1995, p. 1-23