

Anlage 9

Forschungsthema

Registrier-Nr.

3DS

1253/00

Sachbericht

Titel des Vorhabens:

**Entwicklung von 3D-Schallemissionskarten aus Innenräumen
durch Berücksichtigung von Reflexionen, Streuungen,
Dämpfungen und Beugungen**

Projekt-Kurzbezeichnung: 3DS

Projektlaufzeit

1.9.2000 bis 31.12.2002 (verlängert)

Projektleitung

Dr. G. Heinz

Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFaI)
Rudower Chaussee 30, D-12489 Berlin

Tel. +49 (30) 6392 1600

Fax. +49 (30) 6392 1602

Das Projekt wird gefördert durch das
Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi)

Berlin, den

Unterschrift

Projektverantwortlich Dr. G. Heinz

Inhalt

	Seite
1 Gegenüberstellung der Ergebnisse mit Zielsetzungen des Antrags	3
2 Darstellung der erzielten Ergebnisse	4
3 Veröffentlichungen in Zusammenhang mit dem Projekt	10
4 Schutzrechte	11
Anlagen	ohne

1 Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Zielsetzungen des Antrags

Die Arbeitsinhalte wurden laut Anlage 1 des Antrages bearbeitet. Dank der Fördermittelzuwendung konnte der Vorsprung der Arbeitsgruppe auf dem Gebiet der Schallkartierung (hier: der dreidimensionalen Kartierung) im internationalen Vergleich weiter ausgebaut werden. Gegenüber den Zielsetzungen des Antrags gelang es zusätzlich, durch Implementierung von OpenGL-Bitmaps die Rechengeschwindigkeit etwa auf das 10-fache zu steigern. Dies erwies sich als notwendig, weil der im Antrag skizzierte Weg nicht exakt zu den in der OpenGL-Welt vorzufindenden Gegebenheiten paßte. Auch konnte zusätzlich eine Datenschnittstelle zu einem 3D-Standardformat (*.3DS) implementiert werden. Ursprünglich war hier nur eine Schnittmenge vorgesehen. Die Zielstellung des Antrages wurde erreicht, jedoch erwies sich der eingeschlagene Weg als nicht so erfolgversprechend, wie bei Antragstellung angenommen. Es traten eine Vielzahl neuer, unbekannter Situationen und Problemstellungen auf, die vorab schwer zu erkennen waren. Insbesondere erwiesen sich die hohen Rechenzeiten als zu problematisch. Der insgesamt zu leistende Arbeitsumfang war höher als angenommen, da zusätzliche Aufwendungen insbesondere im Softwareentwurf nötig wurden.

Im Vergleich zum Ansatz:

1. Das Arbeitspaket 1 „3D-Entwicklungen“ wurde vollendet. Allerdings verdreifachte sich der Zeitaufwand dafür schlußendlich.
2. Das Arbeitspaket 2 „Raumübertragungsfunktion“ wurde bearbeitet, kommt aber in nächster Zeit nicht zum Tragen. Es gelang noch nicht, die angestrebte Bildgüteverbesserung zu erreichen. Im Detail erwiesen sich die Arbeiten als so komplex, daß weitere, abgemagerte Projektarbeiten unumgänglich sein werden. Auch zeigte die Rückrechnung bis zur ersten Reflexion bereits extrem hohen Rechenzeitbedarf, sodaß ein praktischer Bedarf derzeit noch nicht entsteht. Aus algorithmischen Überlegungen mußten Details anders gelöst werden. Ursprünglich war hier die Entwicklung eines autonomen Programmpaketes vorgesehen, diese Entwicklung führte in eine Sackgasse, da in der 2d-Welt seit Antragstellung verschiedene funktionierende Softwaremodule entwickelt worden waren, die in die 3d-Welt aufgrund von Inkompatibilitäten nicht übernommen werden konnten. An einem bestimmten Punkt reichten die Erkenntnisse aus, um ein modulares Konzept für 2d- und 3d-Umgebungen zu beginnen. Dies mußte unverzüglich in Angriff genommen werden, um einen höchstmöglichen Nutzen nach Projektabschluß zu erreichen.
3. Arbeitspaket 3 „Testsimulationen“ ist mit vielen Zusatzentwicklungen fertig
4. Arbeitspaket 4 „Datenrecorder“ wurde modifiziert. Die inhaltlichen Ziele wurden korrigiert, so wurde zunächst eine Überarbeitung eines bereits partiell nutzbaren 16-bit Datenrecorders favorisiert, um sicherzustellen, daß bereits zu Projektbeginn eine Möglichkeit der Gewinnung von Daten besteht. Hier war der Projektantrag zu optimistisch. Erst in den letzten Monaten konnte mit der Entwicklung der Module im Wortlaut des Antrags begonnen werden (24bit-Version). Damit wurde einerseits gesichert, daß während der Laufzeit des Antrages bereits permanent Daten aufgenommen werden konnten. Andererseits entstand jetzt der Freiraum, ohne Druck eine kreative und hochwertige Neuentwicklung zu beginnen.
5. Arbeitspaket 5 „Array“ ist abgeschlossen, die ersten zwei Versuchsmuster werden bereits in der Industrie erprobt (Porsche, DaimlerChrysler). Erste Korrekturen der Konstruktion erfolgten. So wurden technologische Veränderungen eingeführt mit dem Ziel, Haltbarkeit und Oberflächenqualität der Laminierung zu erhöhen.
6. Arbeitspaket 6 „Einsatzerprobung“ wurde hinreichend untersetzt. Es konnten in mehreren Meßeinsätzen hinreichend viele Daten aus unterschiedlichen Bereichen gesammelt werden.

2 Darstellung der erzielten Ergebnisse

Durch einige im Aufwand unterschätzte Probleme entstand ein Verzug in der Softwareimplementierung. Die Priorität bestimmter Aufgaben mußte deshalb an einigen Stellen neu bewertet werden. Rechengeschwindigkeit und Programmstabilität wurde favorisiert gegenüber der Diskussion von partiellen Abschattungen, Reflexion, Dämpfung und Brechung. Der angestrebte Weg einer Dreieckszerlegung mit Berechnung der Mittelpunkte erwies sich als nicht erfolgreich, da für praktische Belange (Movie) zu hohe Rechenzeiten (mehrere Stunden) entstanden. Gegenüber von 2d-Projektionen treten veränderte Datenschnittstellen auf. Auch mußte ein neuer 3d-Ansatz gefunden und programmiert werden, der über OpenGL-Bitmaps geht. Zur fachlichen Erörterung siehe unten. Auf Anregung der Industriepartner (Motorentwicklung) wurde zusätzlich eine Möglichkeit entwickelt, von außen gemessene 3d-Objekte mit akustischen Karten zu belegen.

Rechenmethode

3d-Objekte werden für unsere Berechnungen als Punktwolke in Dreieckszerlegung vorausgesetzt, d.h. jeder Raumpunkt ist ausschließlich Eckpunkt von Dreiecken.

Im Vorgängerprojekt IMF hatten wir noch mit aufbereiteten (optimal zugeschnittenen) Punktwolken gearbeitet. In der ersten Version der Software wurden hier dagegen die (Eck-) Punkte der Dreiecke gefärbt. OpenGL stellt eine Funktion zur Verfügung, die aus drei gefärbten Eckpunkten jedes Dreiecks den Farbverlauf in der Dreiecksfläche generiert.

Die Methode erscheint einfach und plausibel, gestattet sie doch die Vorgehensweise laut Antragstellung. Sie erwies sich aber als unzureichend für akustische Kartierungen.

Für den Fall einer sehr dichten Punktwolke sind unnütz viele Punkte zu berechnen. Im Fall großer Ebenen entstehen matschige Übergänge, da z.B. ein ebenes Rechteck im einfachsten Fall aus vier Eckpunkten besteht, die zwei Dreiecke ausbilden. D.h. ein großes Rechteck (z.B. das Kamerabild) würde aus vier Interferenzwerten berechnet. Das ist nicht von Vorteil.

Um aus diesem Dilemma zu entkommen, wurde zunächst eine strukturelle Adaption erprobt. Sind zu viele Punkte (mehr als einer) in einem Volumenelement, so werden alle bis auf einen vernichtet. Sind hingegen überhaupt keine Punkte in einem Volumenelement, welches von einem Dreieck geschnitten wird, so wird ein künstlicher Punkt erzeugt. Anschließend wird die so gewonnene neue Punktwolke wieder dreieckszerlegt. Dabei treten insbesondere bei Autokarosserien an scharfen Ecken und Kanten Vieldeutigkeiten auf. Wird die Auflösung zu grob gewählt, vermascht der Algorithmus die gegenüberliegenden Seiten miteinander statt die einzelnen Flächen untereinander. Auch die damit verbundenen Algorithmen zur Netzstrukturanpassung erweisen sich als äußerst komplex und schwerfällig. Für die Belange der akustischen Photo- und Kinematographie ist Rechenzeit ein bedeutsamer Faktor. Da vor Berechnung eines akustischen Bildes die Pixel-Auflösung eingestellt werden soll, wird dieser aufwendige Struktur-Adaptionsschritt in jedem Rechengang erforderlich, bei dem die Auflösung verändert wird. Als ein Grundproblem stellt sich dann eine sehr hohe Rechenzeit heraus. Leider kam dieses Erkenntnis relativ spät, sie kostete einen Großteil der Projektzeit.

In einem zweiten Ansatz war dieses Problem zu lösen. Dazu wird ein geeignetes 3d-Modell vorausgesetzt, welches mit minimalem Fehlerquadrat und polynomialen Splines auf die zu berechnende Fläche gefittet ist, welches also eine minimale Knotenzahl bei hinreichender Approximation besitzt. Es gibt hinreichend viele Programme, die dieses Problem in einem Vorausschritt lösen können.

Davon ausgehend ist dann das Problem zu hoher Auflösung nicht mehr relevant.

Das andere Problem zu großer Flächen mit zu geringer Auflösung wird nun mit Bitmaps gelöst. Dabei wird die jeweils längste Seite jedes Dreiecks in eine umschreibende Bitmap gelegt, siehe Abb.1. Die Auflösung der Bitmap wird vorgegeben. Nun werden die Mittelpunktskoordinaten jedes Pixel der Bitmap ermittelt. Die aus allen Pixeln aller Bitmaps der Dreiecke gewonnene Punktwolke wird anschließend interferenziell berechnet. Damit kann eine akustische Karte nun ohne nennenswerten Aufwand zur Strukturanpassung berechnet werden, wie die folgenden Bilder verdeutlichen.

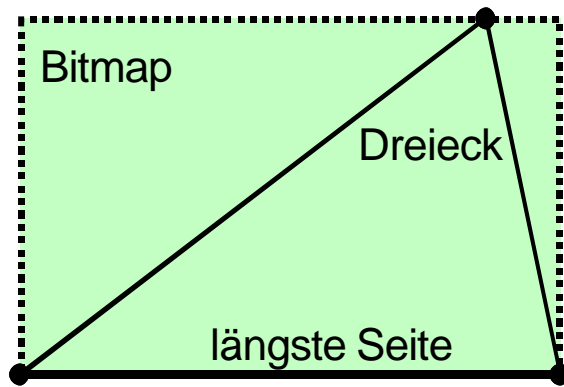


Abb.1 Dreieck-Mapping auf Bitmaps. Geschnittene Kanten sind zu berechnen und anschließend mit der daran anstoßenden Kante zu verrechnen. Von jedem Pixel der Bitmap werden die Mittelpunktskoordinaten ermittelt, anschließend wird die zugehörige Zeitfunktion interferenziell für diesen Punkt rekonstruiert und hinter das Pixel gelegt.

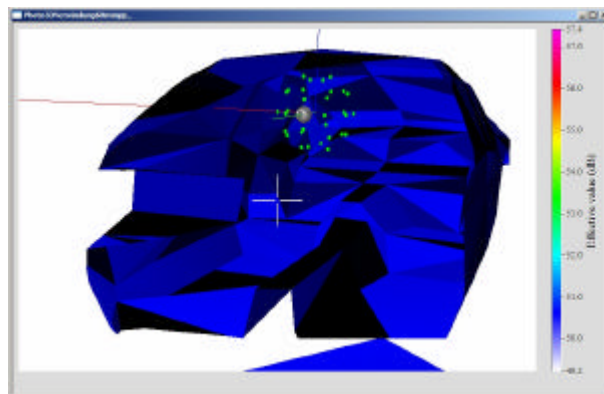


Abb. 2 3d-Modell eines PKW. Die Kontrastierung der Dreiecksflächen zeigt, daß nur noch wenige, große Flächen verblieben sind (insgesamt 368 im Beispiel). Im oberen Teil ist das Mikrofonarray mit Kamera zu erkennen

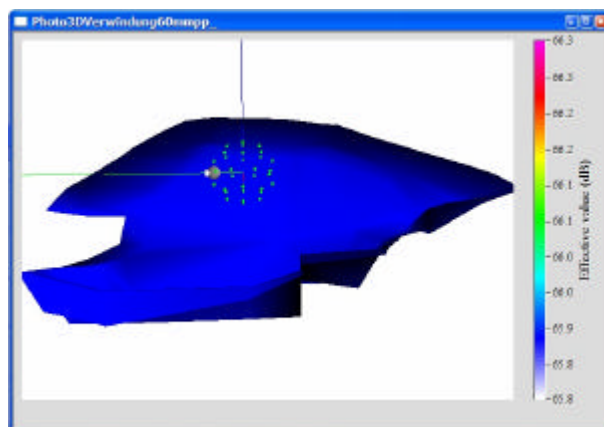


Abb. 3. PKW-Innenraummodell. Wird das dreieckreduzierte Bitmap-Modell einheitlich eingefärbt und von außen beleuchtet, zeigt sich eine hinreichende Eignung für den Zweck

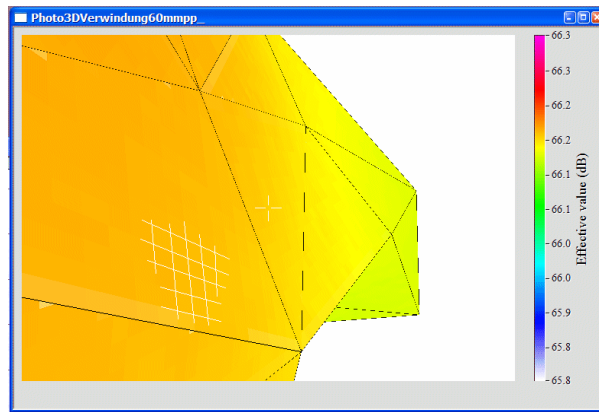


Abb. 4 Detail aus einem akustisch belichteten 3d-Ergebnis. Zu erkennen sind die strukturgebenden Wireframes der Dreiecke. Man muß sehr genau hinsehen, um die den Dreiecken unterlegte Bitmap-Pixelstruktur noch zu erkennen

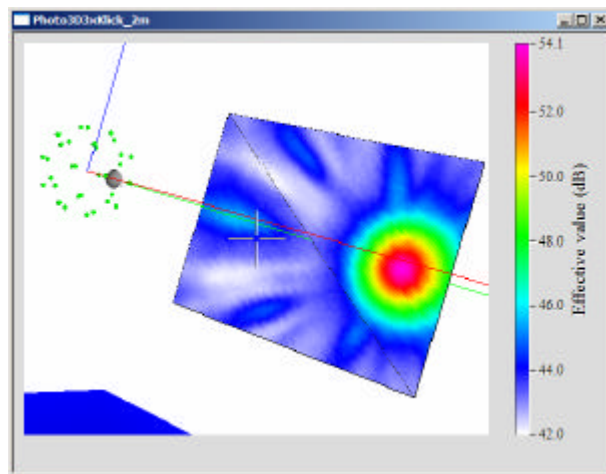


Abb.5 Akustisch belichtete 3dStruktur (im Zentrum des roten Emissionsflecks lag ein Lautsprecher). Das ebene Rechteck ist aus zwei Dreiecken auf vier Punkten zusammengesetzt, denen die Bitmaps untergeschoben sind. Hinter jedem Bitmap-Pixel liegt die rekonstruierte Zeitfunktion dieses Orts

Mechanik

Eine in Ansätzen bestehende Karbonfaser- Grundkonstruktion wurde weiterentwickelt. Versuche zeigten qualitative Mängel der Oberfläche sowie zu geringe Haltbarkeit. Durch geeignete Verfahren gelang es, eine hohe Stabilität bei guter Koordinatenhaltigkeit der Mikrophone sowie höherer Oberflächenqualität zu erzielen. Es entstand ein kugelförmiges, offenes 32-Kanal Array. Zugrunde liegt eine Ikosaeder- Struktur (20 Ecken, 12 Flächen). Werden die Flächenmittelpunkte zusätzlich mit Mikrofonen belegt, sind 32 Kanäle unterzubringen, siehe Bild.

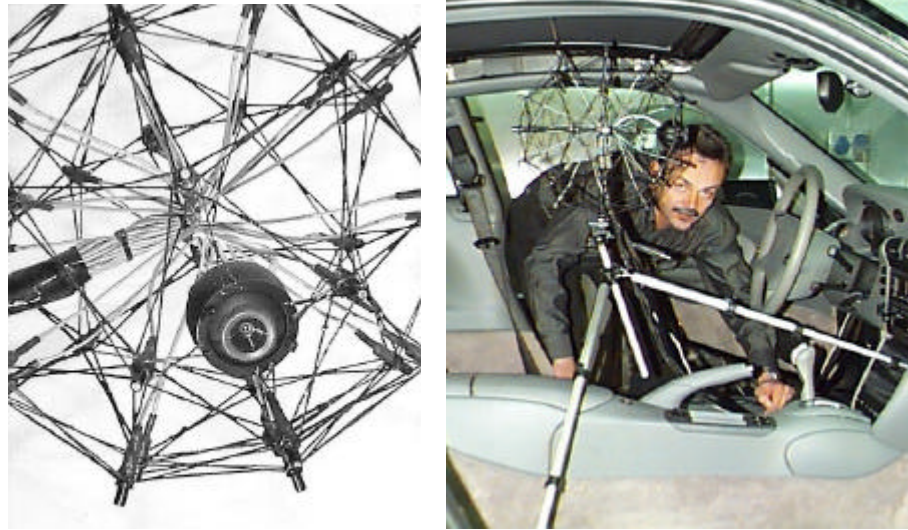


Abb. 6 Die weiterentwickelte Karbonfaser- Konstruktion der Kugel als modifiziertes Ikosaeder mit 32 Ecken stellte auch graphentheoretisch eine Herausforderung dar: jede Verbindung zwischen zwei Mikrofonen darf mit fortlaufender Faser nur zweimal durchlaufen werden. Auf den Ecken sitzen 32 Mikrofone. Bild links: Array, Bild rechts: Einbau in ein Fahrzeug

Einsatzerprobung

Erste Ergebnisse von 3d-Berechnungen sind bereits zu sehen. Datensätze aus realen PKW-Messungen liegen vor. Die im Projektantrag angedeutete Kompensation von Raumresonanzen konnte noch nicht befriedigend gelöst werden.

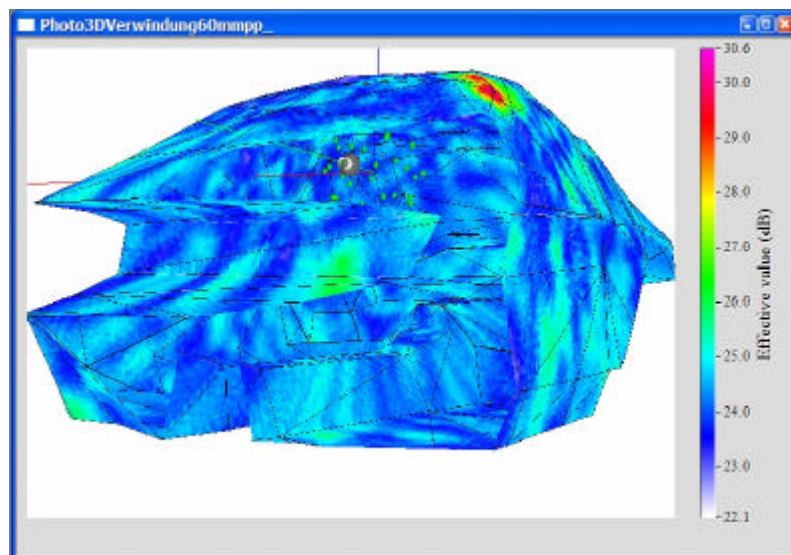


Abb. 7 3D-Bilder und Movies mit realen Datensätzen: Schnittbild eines PKW-Innenraumes. (Interferenztransformation bis zur ersten Reflexionsstelle). Beispiel: PKW -Innenraum; Knarzen im Bereich des vorderen Türholms oben. Parameter: HP 5 kHz, 192 kS/s, 32 Kanäle

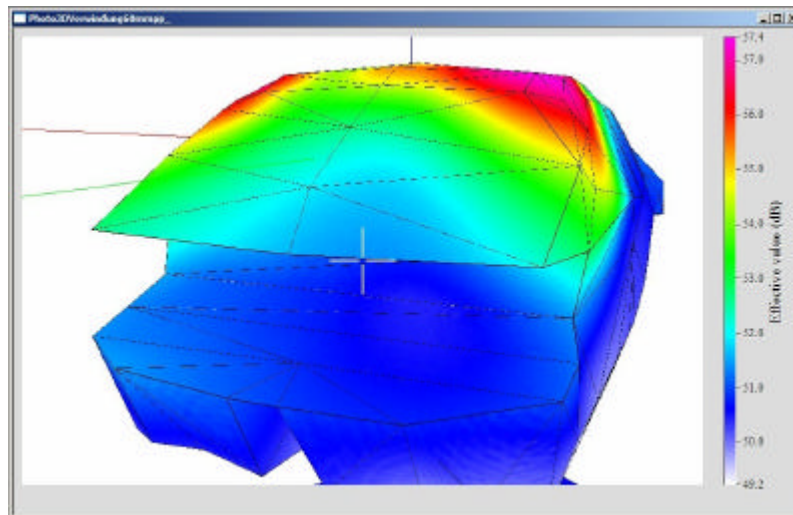


Abb. 8 3D-Bilder und Movies mit realen Datensätzen: Schnittbild eines PKW-Innenraumes. (Interferenztransformation bis zur ersten Reflexionsstelle). Beispiel: PKW -Innenraum; Knarzen im Bereich der vorderen Dachkante. Parameter: A-bewertet, 192 kS/s, 32 Kanäle

Das Projekt brachte die ernüchternde Erkenntnis, daß die dazu nötigen Rechenzeiten in einem derzeit unzumutbaren Bereich liegen, Beispiel: Bild 7 kostete 173 MB Hauptspeicher sowie bei einer Integrationszeit von 100 ms etwa 10 min Rechenzeit bis zur ersten Reflexionsstelle (ohne Rückrechnung der Reflexionen selbst). Wegen des genannten Verzugs kann noch nicht über die erste Reflexion hinaus gerechnet werden. Aus diesem Grunde wurden die Bemühungen im Projekt folgend tendenziell in Richtung von nutzerfreundlicher Systemstruktur und einfacher Bedienung konzentriert. Die derzeit erreichte Bildqualität ist noch steigerungsfähig, wenn die Rechenleistungen der PCs weiter wie bisher steigen.

Abbildung auf Außenmodelle

Auf Anregung der Industrie wurden über das Projektziel hinausgehend erste Tests von Kartierungen auf Außenkonturen vorgenommen. Hintergrund ist die Problematik, daß Meßobjekte oft in die Tiefe gehen und die in der Tiefe liegenden Punkte dann unscharf belichtet werden können.

Als Beispiel wurde eine Nähmaschine in der 3d-Arbeitsgruppe der GFal (Herr Paul) als 3d-Struktur aufgenommen. Diese 3d-Struktur wurde dann in die 3d-Software eingefügt. Parallel wurde die Maschine akustisch aufgenommen und mit dem akustischen Interferenzwertbild belichtet.

Diese Technik könnte überall dort zum Tragen kommen, wo eine Eignung zur Kartierung auf Photos nicht vorliegt, z.B. bei tiefen oder unübersichtlichen Strukturen.

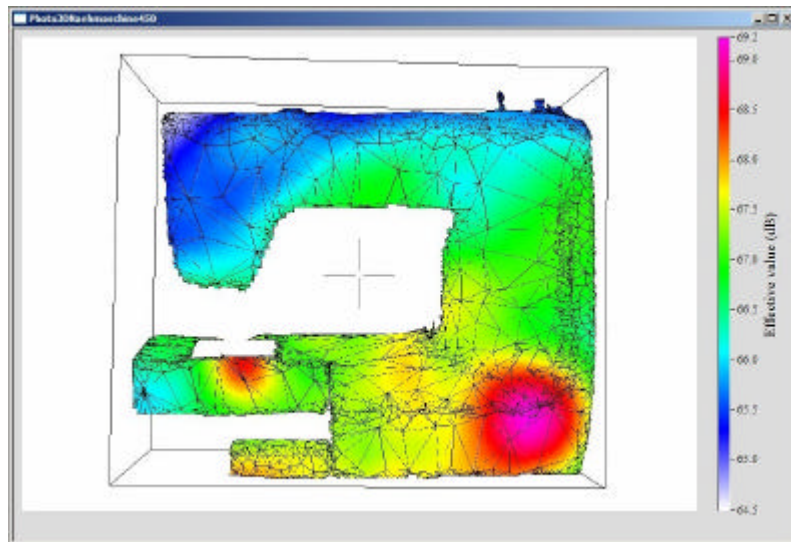


Abb. 8 Kartierung auf die Außenkontur einer Nähmaschine. Zu erkennen ist die starke Motoremission rechts unten (rot) sowie das Nadelgeräusch links unten (rot)

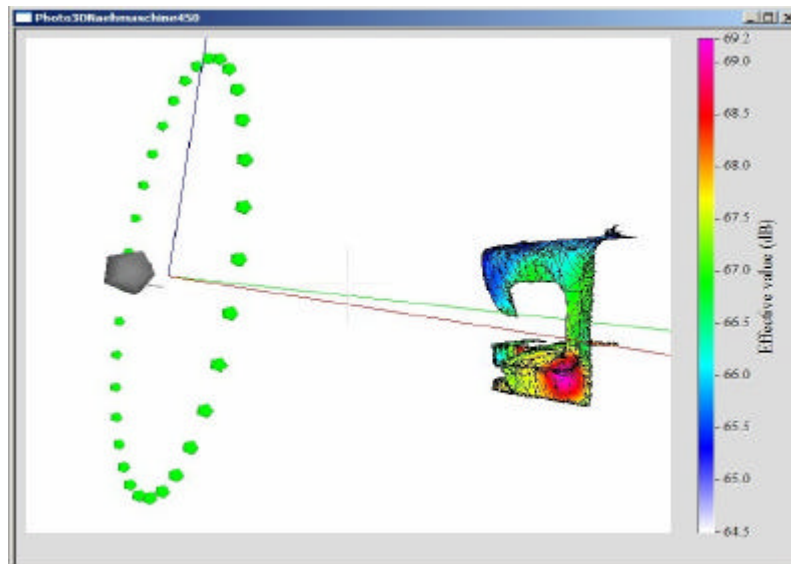


Abb. 9 Kartierung auf die Außenkontur einer Nähmaschine.: 3d-Gesamtscene des Meßaufbaus mit 32-Kanal-Ring und Kamera. Grüne Punkte stellen die Mikrofone dar

3 Veröffentlichungen in Bezug zum Projekt

Eigene Veröffentlichungen

1. Schulungskurse „Akustische Photo- und Kinematographie“: 19.-21.9.2000, 10.-12.10.2000, 29.-30.8.2001, 16.-18.4.2002, 10.-11.9.2002, 8.-10.1.2003, 26.-28.3.2003, 6.-8.5.2003
2. Heinz, G.: "Interferenz-Netzwerke - ein physikalischer Zugang zum Neuro-Computing", Vortragsveranstaltung in der GFal, 1. April 2003, GFal-Veranstaltungsraum, Rudower Chaussee 30, 12489 Berlin
3. Heinz, G.: Introduction to Interference Networks. Invited plenary speech and regular paper. First International ICSC Congress on Neuro Fuzzy Technologies (NF2002). January 16-19, 2002, Capitolio Havana, Cuba
4. Heinz, G.: Akustische Photo- und Kinematografie. Vorträge in Veranstaltungen der GFal, der TSB, des VIU, der Humboldt-Universität Berlin, der TU Berlin, der FHTW, der TFH Wildau, bei Firmen, beim Tag der AiF, für Ehrengäste der Wista Berlin-Adlershof. Viele Veranstaltungen seit 1997
5. 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 (near Sydney), Australia
6. 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, Technical University of Berlin, May 23-26, 2000
7. 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
8. 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. Abstract in: Acta Acoustica - the journal of the European Acoustics Association, p. S363, paper 4pPAa12, S. Hirzel Verlag, Suppl. 1, Jan/Feb. 1999, Vol. 85. ISSN 1436-7947

Medienecho zur Akustischen Kamera

(Aufsätze siehe <http://www.acoustic-camera.com> -> Presse)

1. Betrieb und Instandhaltung, Mai 2003, [Mit den Ohren sehen](#)
2. TGA-Fachplaner Heft 4, 2003, [Eine Kamera sieht Lärm rot](#)
3. Novum, das Innovationsmagazin, Heft 1, 2003, [Den Lärm fotografiert](#)
4. Isernhagener Kreisblatt, 22.3.2003, Beilage, [Vivaldi unter der Haube](#)
5. Bild-Zeitung, 13.11.2002, S.7, [So laut ist unser Wald](#)
6. sat1-TV, "Blitz", 4.11.2002, [Geheimprojekt Porsche Cayenne](#)
7. RTL-TV Future Trend, 29.7.2002, "Den Lärm vor Augen - Eine neue Kamera macht Geräusche sichtbar" Download unter <http://www.acoustic-camera.com/Presse>
8. I.PROM Das Innovationsmagazin des BMWi, 01/2002, S.2-4, Akustische Kamera tönt international
9. Automobil-Revue, Nr. 52 v. 27. Dez. 2001, S.18-19, Harmonisches Lärmorchester
10. Automobil-Entwicklung, Nov. 2001, S. 76, Akustische Kamera
11. Bild der Wissenschaft, Nov. 2001 v. 14.10.2001, S. 24, Der Pappel-Flüsterer
12. Elbe-Elster-Rundschau, v. 15.8.2001, S. 1, Eine Kamera mit Elektronik-Ohr
13. Maßstäbe, Magazin der PTB, Sept. 2001, S. 18-21, Die Form des Schalls
14. Spektrum der Wissenschaft August 2001, S. 89, "Ausgezeichnet" Mit Mikrofonen sehen
15. Wirtschaftswoche 14.6.2001, S. 108, HIGHTECH Meßtechnik: Je blauer, desto lauter

16. GFal-Informationen, Heft 3/2001, August 2001, S. 1, Otto-von-Guericke-Preis 2001: Erfolg für GFal-Team
17. Capital, H.13/2001 v. 13.6.2001, S. 39, Visionen: Eine Lärmkamera macht Krach sichtbar
18. Frankfurter Rundschau, 12.6.2001, Lob und Preis: Gerd Heinz
19. Züricher Sonntagszeitung v. 10.6.2001, S. 93, Innovation: Schall im Bild
20. VDI-Nachrichten, Juni 2001, Forscher dicht an den Problemen der Praxis
21. Berliner Zeitung, Wissenschaft Berlin, S. 4, 6.6.2001, Rubrik Namen: Gerd Heinz
22. Internet-Journal BerliNews, Wissenschaft in Berlin, 31.5.2001, Wie man Lärm fotografiert
23. AiF-OvG Preis, 31.5.2001, Bilder von der Preisverleihung
24. AiF-OvG Preis, 31.5.2001, Pressemitteilung der AiF
25. 3sat Nano TV, 31.5.2001, Wie man Lärm fotografiert
26. ARD Globus TV, 16.5.2001, 21.30 Uhr, Adaptronik - Intelligente Werkstoffe
27. Internet-Journal BerliNews, Wissenschaft in Berlin, 16.3. 2001, Mit Schall jetzt auch experimentieren
28. Der Reporter, Febr. 2001 v. 16.2.2001, S. 9, Akustische Kamera sieht Lärm
29. B.Z. Technik, 11.2. 2000, Erste Kamera, die Lärm fotografiert
30. Adlershof Aktuell, Dez. 2001, Dem Lärm auf der Spur
31. Welt am Sonntag, 6.2. 2000, Lärm kann jetzt gefilmt werden
32. ORF, Modern Times, 21.1.2000, 22.35 Uhr, Kamera sieht Lärm
33. ProSieben-TV, Galileo, 8.11.1999, 19.50 Uhr, Lärmkamera
34. RTL sternTV, 23.6.1999, 22.05 Uhr, Wie aus Schallwellen Bilder werden
35. Die Welt, 16.6.1999, S.38 Forschungsförderung macht sich bezahlt
36. AiF-Innovationstag, 15.6.1999, BMBF-Ministerin Bulmahn zu Gast bei akustischer Kamera
37. MDR TV, 11.5.1999, 19.50 Uhr, Erfindermagazin 'Einfach genial': Akustikkamera
38. Hannover Messe, Messezeitung MZ, 24.4.1999, p.4, Sechzehn Ohren hören mehr als zwei
39. NDR Hörfunk, 23.4.1999, Hannover Industrie - Berliner Wissenschaftler stellen akustische Kamera vor
40. SFB-B1 TV, Quivive - Medizin aus Berlin, 21.4.1999, 20.15 Uhr, Hörschäden durch Spielzeugpistolen
41. NDR TV, N3 Nachrichten, 20.4.1999, Highlights von der Hannover Industrie '99
42. Verband innovativer Unternehmen e.V., März 1999, Akustikkamera liefert präzise Schallbilder
43. ND, 26.1.1999, Hybride, deren Neuheit noch nicht gesehen wird
44. 3sat, Technikmagazin 'HITEC', 11.1.1999, 21.00 Wenn Geräusche sichtbar werden

4 Schutzrechte

Eine GFal- Patentschrift, deren Inhalt sowohl 3d- wie auch 2d- Errungenschaften betrifft, wurde eingereicht. Probleme bereiteten die enorme Komplexität und der Umfang der entwickelten, neuen Technologie.