

GFal e.V. Berlin
Name der Forschungsstelle

13502 BR
AiF-Vorhaben-Nr.

01.12.2002 bis 31.08.2004
Bewilligungszeitraum

Abschlußbericht

(Forschungsstelle 1 von 1)

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWi¹ über die



geförderten Forschungsvorhaben

Kinematische Darstellung akustischer Emissionen (KINA)

1. Zielstellung

Ausgangspunkt des Forschungsantrages war das große Interesse der Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses (Porsche, Daimler, Rücker, Bosch, Volkswagen, deWind, EnronTacke, Liebherr, Videotime, Evologics, Synotec) insbesondere für die Auto- und Zulieferindustrie eine Technologie zur Darstellung akustisch bewegter Emissionen auf einem Video-Stream zu entwickeln. Die einzige derzeit verfügbare akustische Bildgebungstechnologie („Akustische Kamera“) gestattete es nur, akustisch bewegte Karten auf Video-Standbilder zu kartieren (Movie on Photo, MoP). Entsprechend sind bewegte Objekte (fliegende, fahrende, rotierende) nur mühsam akustisch analysierbar. Mit Projektende kann ein akustischer Bewegungsfilm auf bewegtem Videofilm (Movie on Movie, MoM) automatisch entwickelt werden, um z.B. Fahrzeuge im Vorbeifahren, ähnlich wie mit einer Kamera, gleichzeitig akustisch und optisch filmen zu können. Viele deutsche Firmen haben bereits ihr Interesse an dem im Projekt KINA entwickelten Schallkartierungsverfahren signalisiert.

Ein Kennzeichen industrieller Automation ist eine wachsende Arbeitsgeschwindigkeit bzw. Leistungsfähigkeit von Automaten. Diese wird i.a. begleitet von einer progressiv wachsenden Geräuschentwicklung. Gerade der deutsche Maschinenbau ist

¹ Das Vorhaben wurde gefördert aus den Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF) unter der Vorhabensnummer IGF 13502 BR

beispielgebend für diese Entwicklung. So werden im Verpackungsmaschinenbau, in der Drucktechnik, aber auch im Fahrzeugbau in vielen Bereichen Höchstleistungen vollbracht, die initial von akustisch höchsten Emissionen begleitet werden. Auf der anderen Seite - oder vielleicht gerade angeregt dadurch - haben wir in Deutschland eine starke Sensibilisierung in Umweltfragen zu verzeichnen.

Aus dem Kontrast zwischen wachsender Produktivität und wachsender Sensibilisierung ergibt sich eine Schere: Hier sind neue Lösungen zur einfachen, schnellen und effizienten Ursachenanalyse von Geräuschen gefragt.

Viele deutsche Firmen haben ihr Interesse an den hier entwickelten Schallkartierungsverfahren signalisiert. Von den Firmen des projektbegleitenden Ausschusses ist uns unmittelbares Interesse am Projektkinhalt KINA bekannt.

2. Erreichter Arbeitsstand

Zusammenfassung

Das Projektziel, das automatisierte Filmen bewegter Schallquellen wurde erreicht. Mit Projektabschluss wurde es möglich, erste bewegte Schallaufnahmen (springender Tennisball, Vorbeifahrt eines Autos, Vorbeilauf eines Menschen) zu entwickeln, Beispiel siehe letzte Seite. Das Team bewirbt sich u.a. mit den Projektergebnissen um den Deutschen Zukunftspreis 2005.

Mit dem Projekt wurde eine international neue Basistechnologie entwickelt, mit der akustische Photos als auch akustische Bewegungfilme auf Fotos gemacht werden können. Mit Unterstützung der AiF konnte im Projekt NOISE (Schallortung an Maschinen und Anlagen) eine neue Technologie zur akustischen Foto- und Kinematografie erprobt werden, die als weltweit bislang einzige so sensibel ist, dass automatische Überlagerungen auf Videobilder möglich sind. In Honorierung dieser Erfolge erhielt das Team im Mai 2001 den Otto-von-Guericke-Preis der AiF für "Weiterentwicklung akustischer Bildgebungsverfahren"² sowie im November 2003 den Berlin-Brandenburgischen Innovationspreis.

Im ARD-Globus Beitrag Adaptronik³ vom 16.5.2001 wurde vom Fernseherteam eine Vision des Projektergebnisses KINA vorweggenommen: Von einem ICE und einem PKW Sharan wurden manuell – Bild für Bild - akustische Vorbeifahrtfilme gemacht. Das ARD-Team filmte die Vorbeifahrt der Objekte mit Videokameras, und montierte anschließend manuell und Bild für Bild unser akustisches Video auf das optische Video. Ein Cutter war nach Aussage des Drehteams drei Tage mit dieser Arbeit beschäftigt. Das Ergebnis überraschte. Interessante Details der Schallabstrahlung, Reflexion und Beugung der Vorbeifahrt des ICE wurden plötzlich sichtbar. Mit dem Projektabschluss ist die vollautomatische Aufnahme solcher Filme in greifbare Nähe gerückt.

Eine im Projekt benötigte Materialposition wurde nicht angefordert, dafür entstanden kostenneutral geringfügig höhere Entwicklungsaufwendungen.

² siehe dazu die Webseite <http://www.acoustic-camera.com/presse/presse.html>
siehe auch Anlage "Abschlußbericht Projekt NOISE"

³ Beitrag siehe <http://www.acoustic-camera.com/Presse/contents/ARDglobus/index.html>

Systementwurf

Video-Schnittstellen

In einer Marktstudie (siehe unten) wurden zunächst geeignete Kameratypen hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien untersucht. Technische Parameter (Auflösung, Bildzahl, Dunkelkontrast, Überstrahlen, Triggerbarkeit, Interface (USB, Firewire, LAN), Shutter interlaced/global, kleine Bauform in Bezug auf akustische Reflexivität, Stromaufnahme/zusätzliche Versorgung, steuerbare Pixelzahl) spielen dabei eine ebenso bedeutsame Rolle wie Einbindbarkeit unter verschiedenen Programmoberflächen. Insbesondere scheiden typische Bildverarbeitungslösungen, wie Framegrabber und BAS-/RGB-Kameras, für die angestrebte Applikation – Einsatz in einem Mikrofonarray – aus.

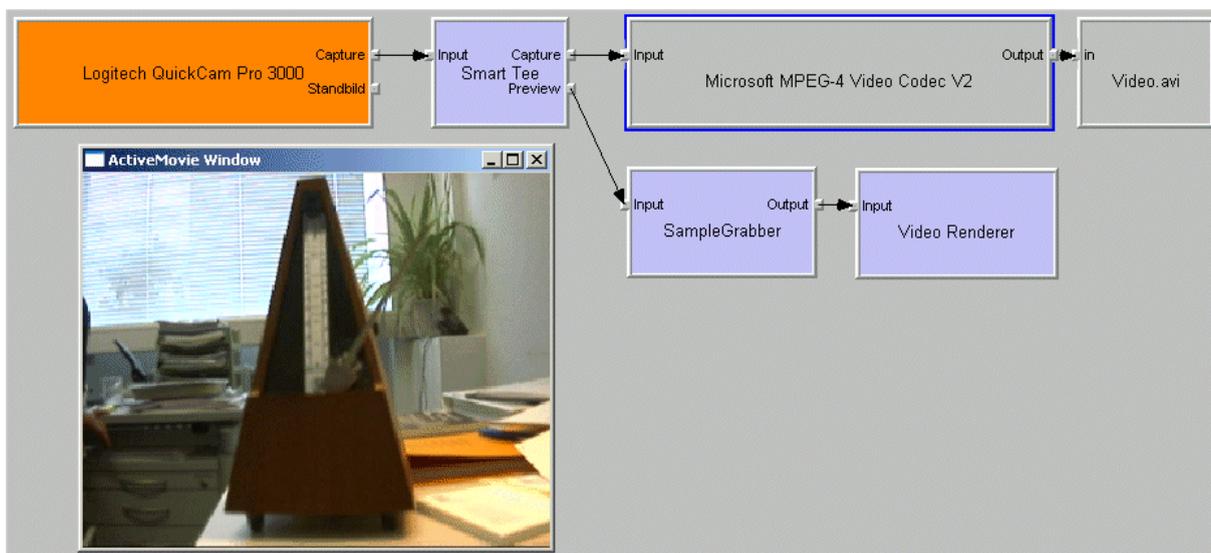


Bild 1: Entwicklungsumgebung der Videoschnittstelle unter DirectX V.9 Graphedit. Es wurde ein Videofenster mit einem Metronom eingebunden. Das Metronom zeigt die Ausgabe des Video-Renderers, parallel dazu läuft ein Prozess, der nichtkomprimierte Videos mit MPEG4-komprimiert und in die Kanaldaten abspeichert (Video.avi)

Für viele akustische Anwendungen ist eine Spezifikation vorteilhaft, die grob durch wenige Punkte gekennzeichnet werden kann:

- Hohe (Pixel-) Auflösung des Standbildes (optimal 1600x1200 in Farbe)
- Schaltbare Reduktion der Auflösung für Bewegtbild bei konstanter Bandbreite: Bildzahl/sec mal Pixelzahl = const.
- Hoher Datendurchsatz der Schnittstelle (>5 MB/sec)
- Trigger in/out
- Global Shutter, um Bewegungsverzeichnung zu verhindern
- Hinreichend viel Kontrast und Farbqualität
- Unterstützung eines Standard-Treibers (z.B. WDM, DCAM, NET-Device)
- Standard-Interface koppelbar an Datenrecorder und Laptop (USB1, USB2, Firewire, UDP/TCP)

- Präzise Signalisierung des Aufnahmezeitpunktes durch Triggersignal oder Zeitbezug

Es zeigt sich, dass diese Spezifikationen in Gesamtheit noch nicht zu erhalten waren. Es gibt eine besonders geeignete Kamera für jede einzelne Anforderung, aber keine, die alle Forderungen auch nur annähernd gut erfüllt. Folgende marktverfügbaren Kameras wurden theoretisch und teils auch praktisch⁴ untersucht:

- Weinberger Speedcam, 1536x1024, bis 10.000 Bilder/s, Firewire, integrierter Framebuffer, Trg-IO, 40.000,-€
- DVT Legend 544C, 1280x1024 Colour, 112mm x 60mm x 30mm, 10µs , 1s Shutter, Ethernet, 10.000,-\$
- Cognex 4001, 1024x768 Colour, 18 fps, Ethernet
- NeuroCheck, 1280x1024 Colour, 200mm x 110mm x 60mm, 1/15.000s...2s Shutter, Ethernet
- IQ Eye3, 1,8 fps @ 1288x968, 22 fps @ 320x240, 1288x968 Color, 133,35mm x 76,2mm x 76,2mm, Trg-in, Ethernet, \$1.395
- Lumenera Lu125C/M, CMOS 1280x1024, 16 fps Full, 60 fps VGA, 200 fps 320x240, USB-power 6V, 500mA, USB2
- ADS USB Turbo 2.0, 640x480, bis 30 Bilder/s, kein Trigger, USB2
- Basler A602f, 640x480, 105 Bilder/s, Firewire, Trigger IO
- Basler A301f, 640x480, 60/80 Bilder/s, Firewire, Trigger IO,
- Basler A504kc, 1280x1024, 500 frames/s, Camera Link, Trigger IO
- GFal ICAM, 100 Mb Ethernet UDP, 1280 x 1024 Pixel Gray, 640 x 512 Pixel Colour, 10...40 fps (640 x 512 Gray ~ 320 x 256 Colour), 7...30V / 1.5W, kein WDM-/DCAM-/NET-Driver
- Logitech Pro 4000, 640x480, 15 Bilder/s, USB 1.1, kein Trigger
- Imaging Source, DKF 21 F 04, Firewire, 640x480, 30 fps, kein Shutter, 260 €
- IDS-Imaging µEye 1440c, USB2, 18 fps, 1280x1024, guter Dunkelkontrast, Shutter, 850 €
- IDS-Imaging µEye 1210c, USB2, 50 fps, 640x480, Shutter

Gehäusegestalt und Stromaufnahme (ohne externe Versorgung) favorisieren insbesondere die Kameratypen ab Pos. 11. Praktisch erprobt wurden insbes. die Typen Pos. 10, 11, 12, 13, 14.

Um verschiedene Kameras erproben zu können, wurden Standardisierungsbemühungen zu Video-Schnittstellen aufgegriffen (eine Treiberentwicklung / -anpassung für eine Kamera kostet ein bis drei Mannmonate). Für den Test der Kameras wurde ein Universal-Treiber für die Formate WDM, DCAM und NET entwickelt (siehe Bild1), mit dem alle standardisierte USB, Firewire und Ethernet-Kameras an künftige Softwaregenerationen akustischer Kameras anschließbar sein werden.

⁴ Dafür wurden verschiedene Wege genutzt: Messevorführungen, Erprobung, Kauf, teils auch Einbindung und Erprobung

Initialisierungskonzept

Besondere Aufmerksamkeit bei Bewegtbildapplikationen erfordert die zeitliche Synchronisation von Videobild und akustischem Bild. Da Videokamera, wie Datenrecorder unter völlig anderen Treibern Daten an den PC liefern, und diese Treiber von einem nichtdeterministischen, thread-gebundenen Betriebssystem (WindowsXP) verwaltet werden, ist eine Synchronisation über Windows allenfalls im Bereich einer relativen, zeitlichen Unsicherheit von 5...25 Millisekunden zwischen beiden Prozessen realisierbar. Damit ist eine externe Synchronisation zwischen Datenrecorder und Videokamera durch eine Zusatzleitung unumgänglich.

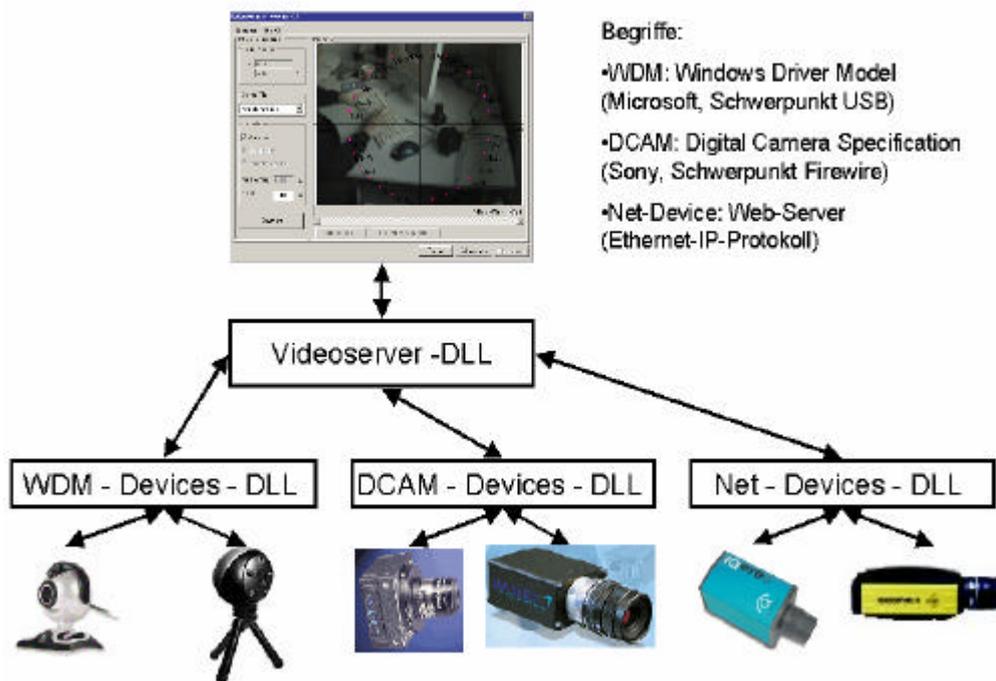


Bild 2: Mit der im Projekt entwickelten Videoserver-DLL sind praktisch alle großen Kamera-Standards und -Interfaces einbindbar: Es gelang eine Standardisierung der Videotreiber-Schnittstelle.

Wurde im Antrag noch davon ausgegangen, dass eine bildbezogene Synchronisation erfolgen kann, so stellte sich im Rahmen der Marktuntersuchung heraus, dass keine Kamera zur Verfügung steht, die den Rahmen der fundamentalen Anforderungen erfüllt, und die zusätzlich über externe Einzelbildsynchronisation (weder nehmend noch gebend) verfügt. Auch existiert keine Standard-Kamera, die Zeitmarken an die Bilder klebt. So war hier ein anderer Weg zu beschreiten.

Es zeigt sich, dass für eine begrenzte Aufnahmedauer bis zu 10 Sekunden durchaus eine Einmal-Synchronisation (Startzeitpunkt) ausreicht. Darüber subsumiert sich zumeist die zeitliche Ungenauigkeit. Die Mehrzahl der Applikationen kommt aber mit dieser Aufnahmedauer aus (Vorbeifahrtgeräusche, Maschinenbewegungen).

Oberhalb von einigen Sekunden wird der Zeitbezug von Aufnahmen der Videokameras zunehmend ungenau. Allerdings spielt dieser Fall derzeit noch keine maßgebliche Rolle,

da der Datendurchsatz über im Projektzeitraum praktisch verfügbare 10 MB/s Schnittstellen ohnehin noch zu klein ist, um Video und Mikrophondaten parallel in den Rechner zu bekommen.

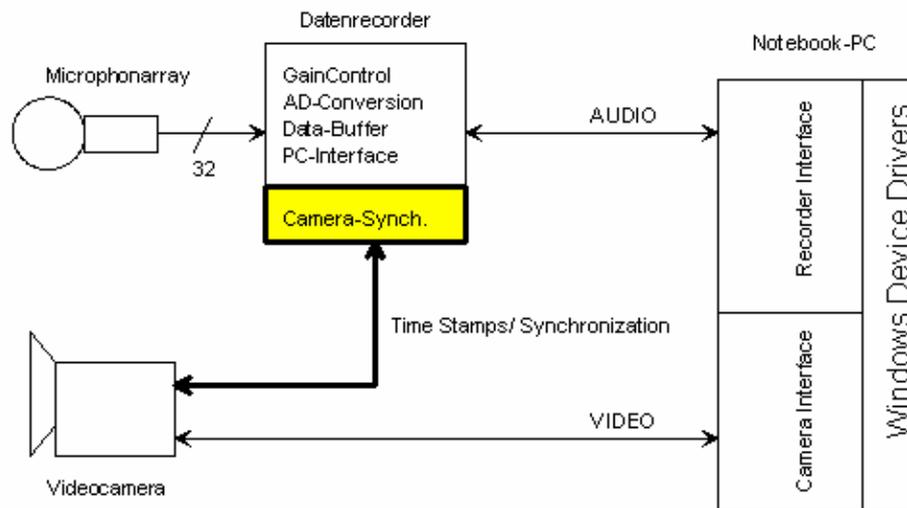


Bild 3: Prinzipbild zur Datenkommunikation – Synchronisierung zwischen Kamera und Datenrecorder

Folgende Übersichtsrechnung gestattet eine Abschätzung des notwendigen Leistungsvermögens der PC-Schnittstelle:

Mikrophonkanäle:

Minimal 40 Kanäle x 192 kS/s x 2 Byte = 15 MB/s

Videostream:

Minimal VGA, 640 x 480 x 3 Byte = 1 MB pro Bild
d.h. minimal für 30 Bilder pro Sekunde 30 MB/s

Lösung für VGA-Standardkameras

Die Videodaten werden mit Auslösung der Messung im Streaming direkt an den PC übertragen, während die akustischen Daten im internen Buffer des Datenrecorders (1MS/Kanal) zurückgehalten und zwischengespeichert werden. Je nach gewählter Abtastrate (192 ... 12 kS/s) steht damit eine Aufnahmedauer zwischen 5 und 40 Sekunden zur Verfügung. Da der relative Zeitfehler innerhalb des laufenden Kamera-Threads über längere Zeiten nicht größer wird, kann der Zeitbezug der Ankunft jedes einzelnen Bildes ermittelt werden. Wird der Videostart exakt zum Kanaldatenstart synchronisiert, ergeben sich im Bereich bis zu 30 Bildern pro Sekunde ausreichende, zeitliche Synchronisationsgenauigkeiten im Bereich kleiner 5 Millisekunden. Im Vergleich dazu ist der Bildabstand (1/30 Hz = 33 Millisekunden) ausreichend groß.

Lösung für Slow-Motion-Kameras

Sollten dann demnächst doch noch Hochgeschwindigkeitskameras mit einem normierten Treiberinterface zur Verfügung stehen, so ist davon auszugehen, dass die

Kameras eine Zeitmarke mit jedem Bild mitbringen werden (Stand der Technik). Im Video-Datenformat wurden Vorkehrungen getroffen, solche Bildzeitmarken integrieren zu können. Auf diese Weise ist es möglich, Video- und Akustikdaten hinreichend genau zu synchronisieren.

Hard- und Softwaregestaltung

Kernprobleme waren die Neufixierung bisheriger Software- und Treiberschnittstellen, sowie die algorithmische Anpassung. Ein neues Datenformat (*.CHL) für Zeitfunktionen plus Videostream wurde entwickelt, welches ausgehend von bisherigen Erkenntnissen alle für eine Messung relevanten Daten enthält, siehe Bild.

Im Kanaldatenfile (Channel, *.chl) werden nicht nur Zeitfunktionen aller Kanäle, sondern alle zur Messung gehörenden Parameter sowie Foto(s) und Koordinaten der Messanordnung abgespeichert. Dabei ist die Motivation, korrekt zu rechnen, egal ob die Messung vor einer Stunde oder einem Jahr erfolgte, ob ich selbst oder ein Unbekannter die Daten auf der anderen Seite der Erde aufnahm.

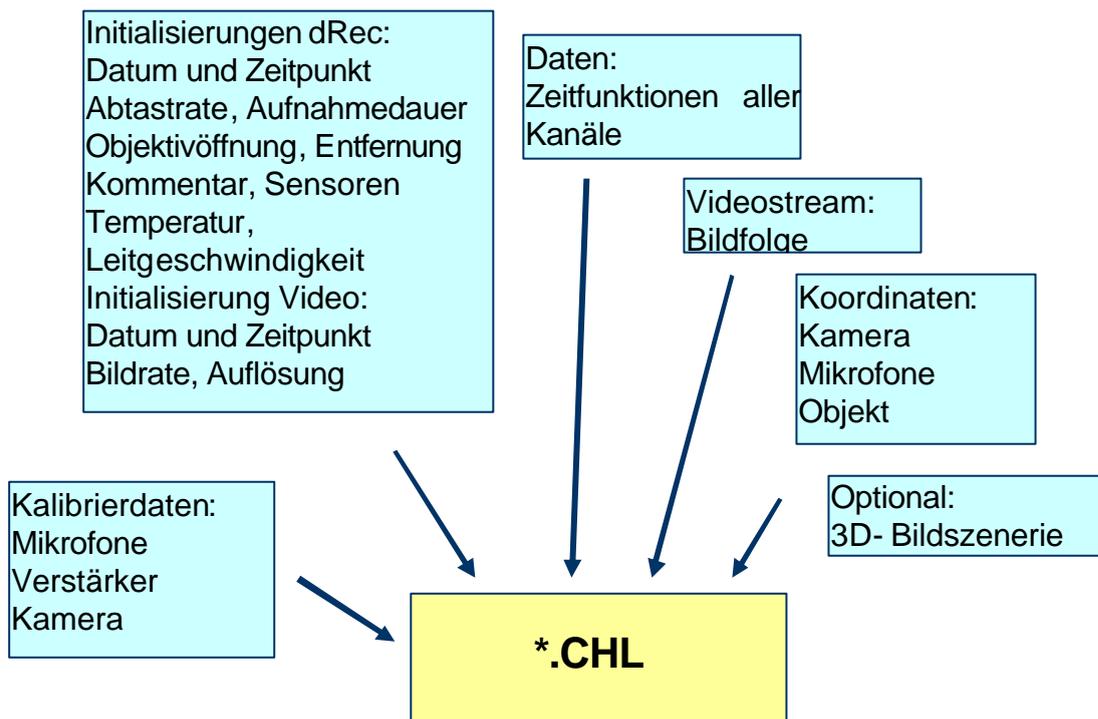


Bild 4: Hauptbestandteile des Datenformats. Es besitzt eine neue Schnittstelle für die Video-Bildsequenzen

Es war ein neuer, algorithmischer Kern zu entwickeln, der in Äquivalenz zum bisherigen Movie on Image - Kern die akustischen Daten berechnet. Die Parametrisierung (Bildrate, Overlap, Startzeit) des Kerns erfolgt nun aber in Relation zur Initialisierung der Videokamera.

3. Algorithmen und Methoden

Fragen zu Methoden des Speichermodells und zur Videokompression unter WindowsXP waren zu beantworten. Da die Berechnung des Datendurchsatzes zeigte, dass bei 40 Kanälen und VGA-Auflösung die optischen Daten massiver sind als die akustischen, ist die Frage nach einer Datenkomprimierung des Bildmaterials in der Kamera berechtigt.

Es existieren verschiedene Videokameras, die komprimierte Videodaten anbieten (JPEG-, MPEG-Format). Diese Kameras sind zum Beispiel im TCP/IP Bereich (Live Video) verbreitet, da Internet-Transferraten z.B. für weltumspannende Videokonferenzen deutlich unter 1 MB/s bleiben müssen. Leider aber zeigt sich, dass keine geeignete Kamera existiert, die die sonstigen Anforderungen erfüllt.

Grob entstand folgender Lösungsweg. Wenn wir von einer Produktreife gegen Ende 2005 ausgehen (realistisch nicht früher), können Notebooks mit 1GB RAM vorausgesetzt werden. Werden 170 MB für Zeitfunktionen und 500 MB für Video allociert, entstehen grob etwa folgende Leistungsmerkmale:

- Unkomprimiert pro VGA-Bild (640x480) ca. 1 MB: 500 Bilder
- Komprimiert pro VGA-Bild 50 kB (MPEG4 1:20): 10.000 Bilder
- Max. Aufnahmedauer 4 MS pro Kanal: bei 12 kS/s ~ 320 Sek. ~ 8000 Bilder bei 25 i/s ~ 8 GB unkomprimiert bzw. 400 kB komprimiert
- 500 Bilder unkompr. ~ 20 Sekunden bei 25 i/sec und Abtastrate 200 kS/sec
- 10.000 Bilder komprimiert ~ 333 Sekunden bei Abtastrate 12 kS/s
- Zeitlupenaufnahmen sind auf (vorverarbeitete) 10.000 Bilder begrenzt
- Bildauflösung XGA (1024x768) verdoppelt den Platzbedarf pro Bild auf 2MB pro Bild
- Unkomprimierter und komprimierter Mode werden zunächst parallel unterstützt
- Synchronisation erfolgt mit durch Angabe einer Synchronisationsmarke und der Bildfrequenz (Modell Trigger-Delta-T); Einzelbild-Marken wurden als zu aufwendig verworfen
- Post-Pre-Triggierung wird durch Ringbuffer ermöglicht
- Temporäre Video-Abspeicherung im RAM setzt Platzermittlung voraus

Spezielle Treiberentwicklungen für Kameratypen, die nicht einem der Standards (WDM, DCAM, NET) entsprechen, wurden nicht weiter verfolgt, da die Entwicklungsaufwendungen von mehr als 3 Mannmonaten pro Kameratyp zu hoch sind.

Leider war bis zum Projektende noch keine geeignete Zeitlupenkamera am Markt. Avisierte Standardtreiber (WDM/DCAM/NET) lagen von den Firmen bis zum Projektende noch nicht vor (Steigenberger und NAC wollen Muster bereitstellen, sobald solche verfügbar sind). Es ist davon auszugehen, dass die Anbindung im Prinzip schnell funktioniert, sofern die Schnittstellenprotokolle richtig implementiert sind.

Tabelle 1: Beispiel: Merkmale des Videokamera-Treibers BCAM 1394 (Basler)

	Firewire™ IEEE1394	Camera Link™
Usage	Standard	High End
Topology	Bus	Point-to-Point
Adapter	Standard Adapter	Frame Grabber
Windows Driver	WinSE/ME, Win2k, WinXP	Proprietary
“Guaranteed” Bandwidth	32 - 37 MByte/s *	255 MByte/s
Max. Cable Length	4.5m / 72 m ** / 40km ***	~ 10 meters
Number of Data-Wires	4	10
Number of Power-Wires	2 (optional)	-
Parameter Port	~ 8 MByte/s	≥ 1 kByte/s

4. Softwareentwicklung

Video-Erweiterung

Das WDM-/DCAM-/NET- Treiber Modell wurde eingebunden und an verschiedenen Kameras erprobt, z.B. Basler A301f (DCAM - Firewire), Logitech QCpro 4000 (WDM - USB) u.a.. Ein MPEG4-Echtzeitkompressionsverfahren wurde implementiert. Damit können max. 30 Bilder/sec über Firewire (ohne Kamera-Buffer) gelesen werden (Standard-Kundenanforderung).

Gerätetreiber

Gerätetreiber für WDM und DCAM wurden entwickelt und implementiert. Durch eine kostenneutrale Projektverlängerung konnten zusätzlich NET-Treiber erstellt werden. Bis auf den NET-Treiber konnten alle Treiber erprobt werden. Bis zum Projektabschluss stand leider noch keine brauchbare NET-Kamera zur Verfügung (Lieferprobleme bei Kamera Lumenera Lu125C/M).

Die Synchronschnittstelle zwischen Kamera und Datenrecorder kann in beide Richtungen betrieben werden. Einerseits kann das Start-Signal „Trigger“ an die Kamera übergeben werden, andererseits kann ein Start der Kamera den Datenrecorder über ein spezielles Trigger-I/O-Interface starten.

Die NET-Klasse wird aufgrund deren Unterstützung von Ethernet-Kameras als bedeutsam für künftige Generationen akustischer Kameras eingeschätzt, da damit eine einfachste Hardware-Architektur des Verfahrens entsteht. Kunden wünschen eine Übertragung von Video- und Mikrophondaten über Ethernet oder WLAN Hausnetze. Der einfachste Weg dazu ist die Nutzung kleiner 1Gb-Ethernet-Switches, die Akustikdaten und Videodaten zusammenführen. Voraussetzung ist allerdings das Vorliegen beider

Datenströme im TCP/UDP oder TCP/IP Format (NET-Klasse) sowie die Verfügbarkeit entsprechender PCs mit einem eingangsseitigen Datendurchsatz > 35 MB/s.



Bild 5: Links oben: Zur Entwicklung verwendete Kamera BaslerA301f
rechts oben: Einbau in ein Versuchs-Mikrophonarray mit 28 Kanälen;
links unten: GFal hauseigene IP/UDP-Kamera ICAM, Daten im Text;
rechts unten: Standard- Videokamera USB/WDM (Logitech)

Mikroprogramm- und Interfacegestaltung

Der Komplex wurde mit dem Projektende abgeschlossen. Ein spezifisches Muster eines Ethernet-Controllers auf Basis ARM7 unter NetOS wurde entwickelt. Leider konnte damit die angestrebte Datentransferrate von 5 MB/s noch nicht erreicht werden, hier sind weitere Anstrengungen erforderlich. Erreicht wurde knapp 1 MB/s – zu wenig, um Bestand zu haben. Da eine derzeit genutzte, alte EPP-Schnittstelle 3 MB/s liefert, entsteht ein gewisser Erwartungsdruck: Die im Projekt entwickelte, neue Technologie kann nur mit einem schnelleren Interface am Markt platziert werden. So wurden über das Projekt hinausgehend erhebliche, weitere Anstrengungen unternommen, um die Schnittstellenproblematik in den Griff zu bekommen. Mit Projektende liefen zwei parallele Controllerentwicklungen in konkurrierenden Teams an. Ein Team startete mit dem Nachfolger ARM9 unter NetOS, scheiterte aber wiederum an der unvollständigen und lückenhaften Implementierung des Betriebssystems auf ARM9. Als Alternative blieb nur noch eine Implementierung mit 1.6 GHz Pentium-M Core als Compact-PCI-Controller (CPCI-3U) unter WindowsXP. Damit wird es möglich, 100Mb/s und künftig 1 Gb/s Schnittstellen zu implementieren.

Ein zweiter Ansatz entstand über eine UDP- Implementierung auf einem PIC- Kern auf Altera FPGA. Dieser erreicht inzwischen 12 MB/s (100 Mbit/s) und hat Berechtigung für Produktentwicklungen im unteren Preissegment, insbesondere für die schulische Ausbildung im Bereich Maschinenbau. Der Ansatz ist abgeleitet von einer spezifischen Internet UDP- Kameralösung ICAM (siehe Bild 4). Hier wird der serielle Video-Datenstrom durch den Datenstrom der Analog-Digital-Umsetzer ersetzt. Es entsteht eine kleine, äußerst preiswerte Variante eines Datenrecorders, die in dem Moment ihre Berechtigung für Movie on Movie hat, wo Videodaten und Zeitfunktionen parallel durch das Nadelöhr des PC passen. Es ist damit zu rechnen, dass die nötigen 45 MB/s von der PC-Industrie in etwa ein bis zwei Jahren zur Verfügung stehen.

Inbetriebnahme und Erprobung

Verzögerungen gab es durch Schwierigkeiten bei der Implementierung der Schnittstellen. Eine Vision des Systems mit Ethernet-Switch 1GB ist noch nicht innerhalb des Gehäuses realisierbar, der Integrationsgrad marktüblicher Systeme ist noch nicht erreicht (Module sind zur Zeit noch zu groß und zu unpassend). Ethernet-Kameras wurden angeboten, waren aber nicht lieferbar.

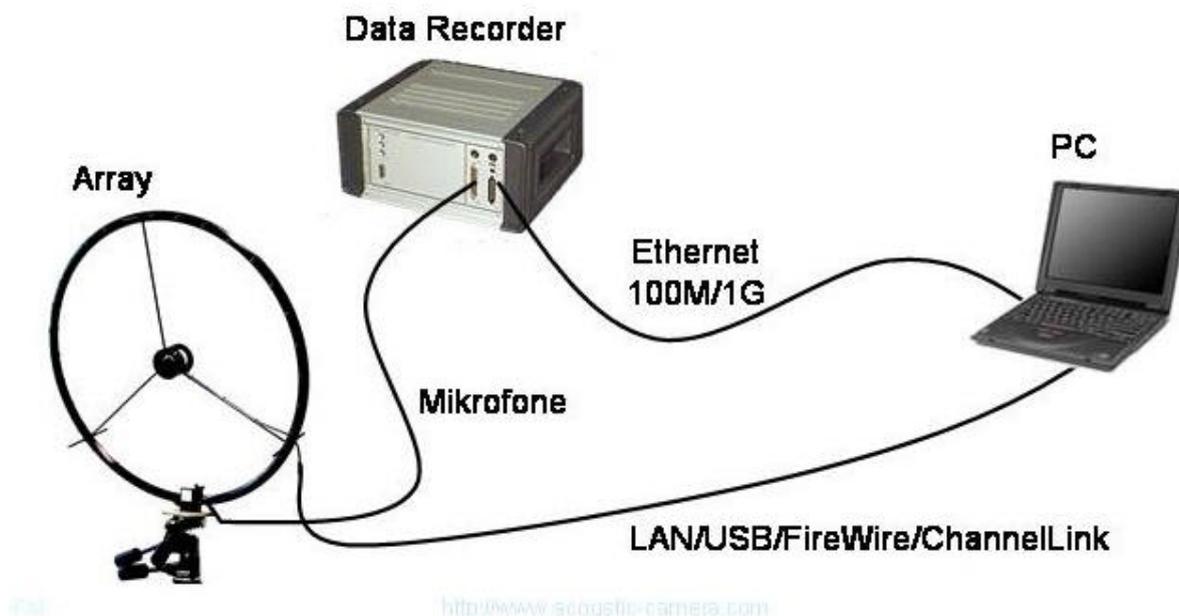


Bild 6: Versuchsaufbau. Ein spezifisches Muster eines Ethernet-Controllers auf Basis ARM7 unter NetOS wurde entwickelt. Leider konnte die angestrebte Datentransferrate von 5 MB/s noch nicht erreicht werden, hier sind weitere Anstrengungen erforderlich

Der Komplex wurde abgeschlossen mit zunächst den Mitteln, die zur Verfügung standen. Ein Testsystem wurde in Betrieb genommen. Ein erster Schallfilm gelang am 15.11.2004 (Schallfilm eines hüpfenden Tennisballs). Das Datum der Erstvorstellung der neuen Technologie steht noch nicht fest (Pressetermin).

Im Rahmen von Beratungen mit den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses wurde von den Projektpartnern die Dringlichkeit des eingeschlagenen Weges einer Ethernet- oder WLAN- Kopplung von Datenrecorder und PC betont.

In folgenden Bildern sind erste Projektergebnisse dargestellt. Diese stellen Auszüge aus dem ersten Schallfilm - einer Videosequenz eines fahrenden Fahrzeugs dar, sowie einen Läufer, dessen Geräusche beim Vorbeilaufen geortet wurden. Derzeit ist eine spektrale Bewertung noch nicht möglich, die Bilder sind akustisch linear bewertet, daher erscheinen sie akustisch noch etwas unscharf. Man erkennt im Vorbeifahrtbild bereits die Dominanz der akustischen Emission des Heckmotors.

5. Industriekooperation

Im Rahmen der Projektbegleitung durch die Firmen des projektbegleitenden Ausschusses wurden Ausrichtung und Perspektiven des Projektes diskutiert. Es entstanden viele, wertvolle Anregungen insbes. von Mitarbeitern der Firmen Synotec, Rücker, DaimlerChrysler, Porsche und Bosch.

Es wurde darauf hingewiesen, dass die Kompatibilität zu in der Industrie vorhandenen Mikrofonarrays sehr vorteilhaft wäre, um durch Softwareupgrades MoM-Aufnahmen machen zu können. Auch wurde betont, dass eine Projektausrichtung in Richtung zu kleinen, kompakten Videokameras sinnvoller sei, als die Implementierung spezieller, unförmiger Slow-Motion Kameras.

Folgende Kostenbeteiligungen wurden von Teilnehmern des projektbegleitenden Ausschusses übernommen: Teilnehmer des pbA./pbA-Sitzung: An- und Abfahrt incl. Hotelkosten; Porsche: Organisation des ersten Messtermins auf der Teststrecke, Übernahme aller Kosten der Erprobung (Testfahrzeug, Fahrer, Messmittel).

Recht herzlichen Dank an die Porsche AG Weissach für die permanente Unterstützung der Technologie der akustischen Kamera mit Rat und Tat!



Bild 7: Filmausschnitt einer ersten MoM-Aufnahme. Vorbeifahrt eines PKW auf der Versuchsstrecke der Porsche-AG, D. Döbler / A. Meyer, GFal Berlin sowie S. Mayer, Porsche; 23.11.2004

6. Wirtschaftliche Effekte

Bereits mit Projektbeginn setzte das Interesse der Industrie ein. Porsche bot entsprechende Testmessungen an, siehe oben, DaimlerChrysler und Liebherr bekundeten reges Interesse, Rucker bekundete schon lange vor Projektbeginn Interesse, dort bietet man manuelle Überlagerungen bereits als Dienstleistung an. Bosch, Volkswagen, BMW, aber auch zusätzlich Akustiker der Bahnindustrie (Bombardier) sowie der Flugzeugindustrie (EADS) bekundeten Interesse.



Bild 8: Filmausschnitt einer MoM-Aufnahme: Schrittgeräusch eines Vorbeilaufenden.
D. Döbler / A. Meyer, GFal Berlin sowie S. Mayer Porsche; 23.11.2004

Da Bestellungen schon vorliegen, können die Abschlussergebnisse erst mit Vorliegen einer serienreifen Software - frühestens Mitte 2005 im Rahmen einer Pressekonferenz öffentlich vorgestellt werden. Die Erstvorstellung ist deshalb – so alles gut geht – im August zur Internoise 2005 in Rio de Janeiro geplant.

Mit Fertigstellung der Software wird den Industriepartnern, die bereits im Besitz einer akustischen Kamera sind, eine entsprechende Software-Release angeboten. Unsere kmU-Dienstleister sowie Hochschulen und Distributoren erhalten die Möglichkeit, ein Software-Upgrade vorzunehmen. Damit erfolgt innerhalb kürzester Zeit eine

Markteinführung dieser weltweit neuartigen Technologie. Parallel dazu bewirbt sich das Team u.a. mit den Projektergebnissen um den Deutschen Zukunftspreis 2005.

Wie jedes Verfahren, so hat auch die 'Akustische Videokamera' sicherlich Vorzugsfelder in der Anwendung, die schnell gefunden werden müssen. Die Einbeziehung von Akustikbüros diente dazu, bestehende Messvorschriften nach DIN weitgehend zu erfassen und in zu entwickelnde Verfahren einzubeziehen. Wir erhoffen uns, dass auf diesem Wege eine optimale Ergänzung bestehender, akustischer Messverfahren erreicht wird.

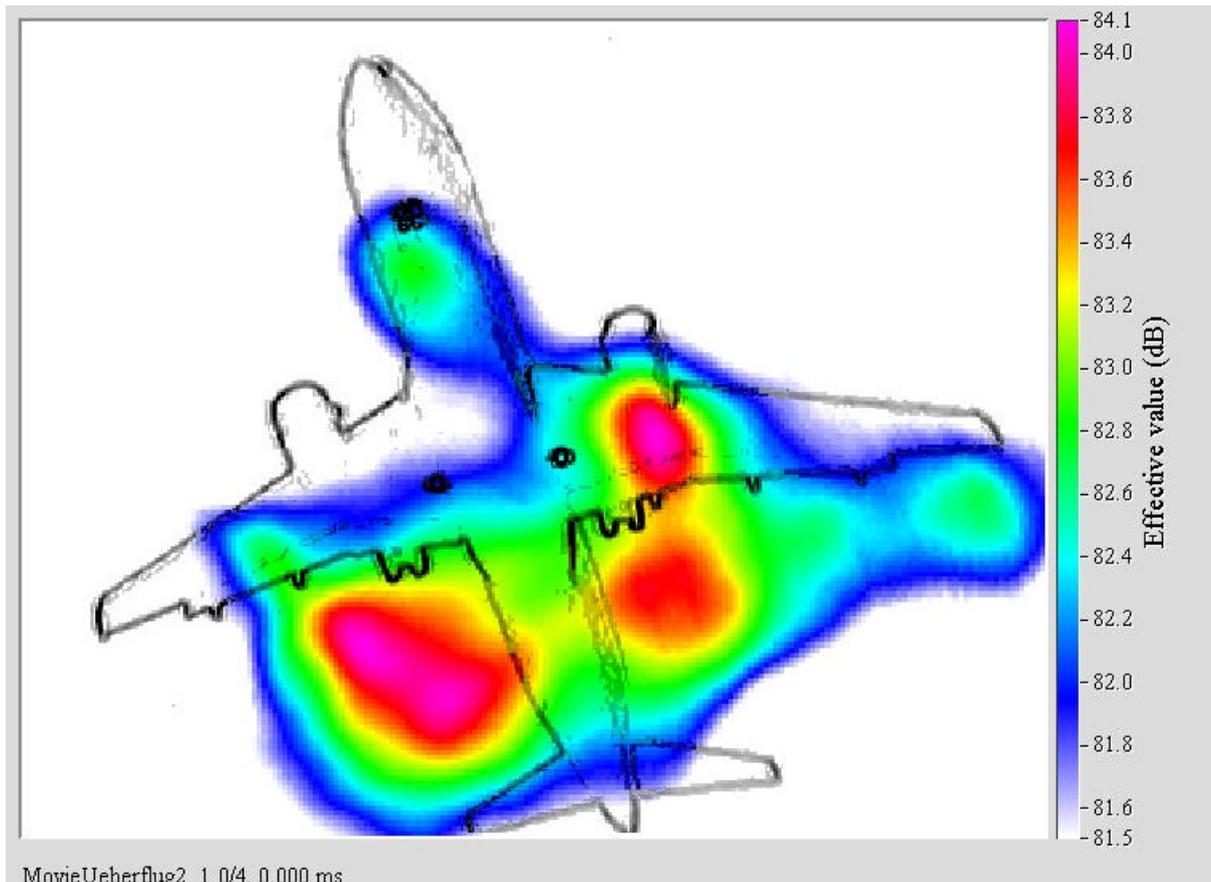


Bild 9: Überflugmessung am Flughafen Tegel. Start einer Boing 737. Mit der MoP-Technik erforderte es enorm großes Geschick, die Kamera in dem Moment auszulösen, in welchem das Flugzeug das Bildfeld kreuzt. Mit der im KINA-Projekt entwickelten MoM-Technik stellen solche Aufnahmen zukünftig kein Problem mehr dar – man lässt die Videokamera einfach laufen

Mit den Firmen des projektbegleitenden Ausschusses sind gute Arbeitsbeziehungen entstanden. Anhand von ersten Untersuchungen kann nun geholfen werden, Schwerpunkte zur Schallreduktion produzierter Anlagen zu finden.

Im Rahmen von Schulungen kann das Wissen der Anlagenentwickler mit dem unserigen zusammenfließen. Gleichzeitig wurden die entwickelten Verfahren im Ansatz so ausgerichtet, dass eine relativ universelle Anwendbarkeit unter den verschiedenen Aspekten der im projektbegleitenden Ausschuss vertretenen Firmen ermöglicht wird.

Beratungen mit Vertretern des projektbegleitenden Ausschusses dienen dem Erfahrungsaustausch. Damit wurde sichergestellt, dass die zu entwickelnden Verfahren optimal auf die derzeit erkennbaren Einsatzgebiete angewandt werden können.

Im Rahmen von Fachpublikationen, Interviews und Fernsehbeiträgen wird die Technik ab Datum der Erstpublikation öffentlichkeitswirksam propagiert. Es ist beabsichtigt, die im Projekt entstehende Einrichtung zu produzieren, bzw. produzieren zu lassen, sobald sie letzte Kinderkrankheiten überwunden hat.



Bild 10: Eröffnungsveranstaltung zum Jahr der Technik am 21.10.2004. vlnr.: Dr. Gerd Heinz (Projektleiter KINA, Bereichsleiter Signalverarbeitung GFal), Prof. Alfred Iwainky (Vorstandsvorsitzender GFal), n.n., Frau Edelgard Bulmahn (Minister für Bildung und Forschung), n.n., Dr. Hagen Tiedtke (Geschäftsführer GFal)

Ein erster Schritt auf diesem Wege ist die Erweiterung von Dienstleistungsangeboten der GFal. Messungen im Kundenauftrag werden vorgenommen. Entsprechende Arbeitserfahrungen werden gesammelt. Auf diesem Wege soll sich einerseits ein wirtschaftlich weitgehend autonomes Kompetenzzentrum für akustische Kinematographie entwickeln. Andererseits sollen Arbeitserfahrungen dieses Teams direkt in die Projektarbeit zur Weiterentwicklung dieser Technik einfließen.

Es ist davon auszugehen, dass sich diese Technologie weltweit innerhalb kurzer Zeit (fünf bis zehn Jahre) durchsetzen wird. Insbesondere zur Optimierung akustischer Eigenschaften von Transportmitteln (PKW, LKW, Bahn, Luftverkehr) bietet die Technologie eine ausgezeichnete Chance, akustische Analyseergebnisse anschaulich auch für Laien (Vorstände, Medien, Entwicklungspartner) verständlich zu vermitteln. Für

Firmen, die diese Chance rechtzeitig nutzen, ergeben sich erhebliche Wettbewerbsvorteile gegenüber internationaler Konkurrenz.

Über mediale Wirkungen ist mit einer raschen Akzeptanz und Einführung dieser Technik in den Entwicklungsalltag in voller Breite der Industrie zu rechnen. Nicht zuletzt wird die Technologie auch Randbereiche beeinflussen.

So interessieren sich der Verpackungsmaschinenbau (Zigarettenmaschinen Hauni und Philipp Morris), die Post mit Briefverteilanlagen (Siemens Electrocom), die Baumaschinenindustrie (Liebherr u.a.) oder auch die Musikszene für diese Technik.

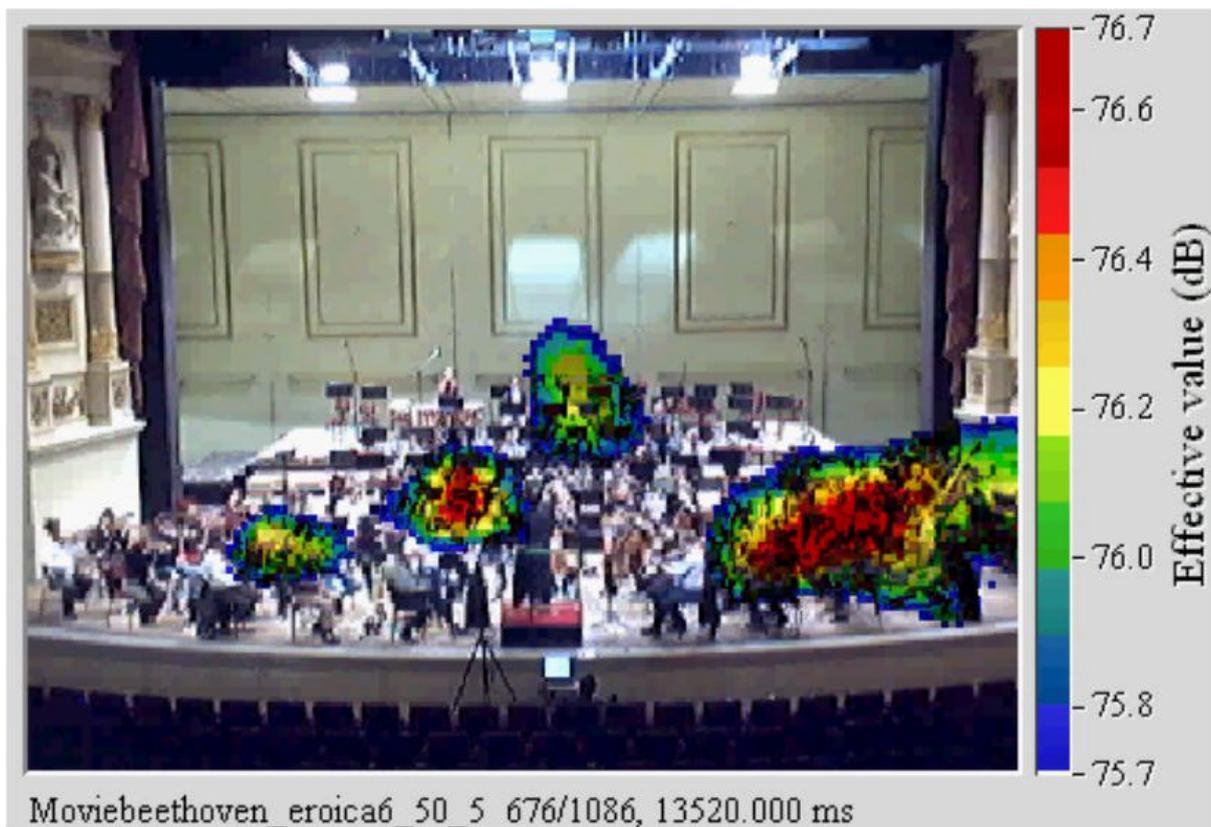


Bild 11: Erste Test-Aufnahmen (MoP) in der Semperoper Dresden am 27.11.2004. Die Aufnahmen demonstrieren, dass die Technologie auch Potential in anderen Bereichen hat, hier zum Fein-Tuning eines Star-Orchesters. Mit MoM lässt sich die Aktion des einzelnen Musikers beobachten

Am 27. November 2004 konnten bei einer öffentlichen Generalprobe morgens um 10 Uhr erste Testaufnahmen des Orchesters der Semperoper Dresden gemacht werden mit dem Ziel, die Emissionen der verschiedenen Instrumente im Zusammenspiel, wie auch in deren Wirkung auf die Zuschauer analysieren zu können.

Es zeigen sich großartige Möglichkeiten, die Spielweise, aber auch den akustischen Hintergrund (Reflektionen und Beugungen) des Orchesterspiels zu analysieren. Man erkennt sowohl erwünschte als auch unerwünschte Raumresonanzen. Auch Laien

werden zu laut oder zu leise spielende Musiker, verspätete Einsätze oder auch fehlerhafte Klangbewegungen des Musikkörpers erkennen können.

Allerdings ist die Begeisterung der Musiker für derlei neue Technik noch sehr gespalten. Einige sind begeistert ob der Möglichkeiten, das Zusammenspiel besser analysieren und optimieren zu können, andere sind empört, da sie eine Gefahr sehen, dass mit dieser Technik in Zukunft der kleinste Fehler jedes einzelnen gefilmt und dokumentiert werden kann. Zu leicht könnte sich jemand verletzt fühlen. Hier ist Fingerspitzengefühl gefragt. Die Zustimmung des Orchesters der Semper-Oper erhielten wir nicht leichten Herzens. Momentan analysieren die Musiker noch das Ergebnismaterial, bis dahin wurde vereinbart, dass Details nicht zu veröffentlichen sind. Die Zukunft wird zeigen, ob die Musikwelt akustische Kameras akzeptieren kann und wird, ob Kunst sich öffnet, „prüfbar“ zu sein oder ob sie subjektiv bleiben will. Bis dahin sehen wir einer weiteren Zusammenarbeit mit dem Team der Semper-Oper gespannt und hoffnungsvoll entgegen. Verschiedene Fernsehteams signalisierten Interesse an einem ersten Filmbeitrag über dieses Thema.

Möglicherweise liegt die Entscheidung über künstlerische Untersuchungen aber an ganz anderer Stelle: beim schnöden Mammon. Der Kunstwelt werden akustische Kameras vielleicht zunächst noch zu teuer sein. Ansonsten fordert dieses Thema Parallelen heraus: Waren vor 100 Jahren, zu Beginn des Filmzeitalters und der Tonkonservierung nicht vielleicht ähnliche Bedenken zu diskutieren?

Nicht zuletzt wird im Rahmen einer in Anbahnung befindlichen Zusammenarbeit mit Bionikern wird auch eine Aufklärung der akustischen "Sicht" von Fledermäusen und Delphinen möglich - damit entstehen sicherlich noch weitere high-tech-Potentiale. Für Bioniker sind viele Details der Kommunikation und der akustischen Wahrnehmung dieser Tiere noch ungeklärt. Dr. Bannasch (Bionik-Institut der TU-Berlin sowie Fa. Evologics) äußerte größtes Interesse an einer Zusammenarbeit in dieser Richtung.

7. Betreute Diplom-, Magisterarbeiten und Praktika im Projektzeitraum

- [1] Inbetriebnahme eines PhyCore ARM7 Evaluation Board. Praktikumsarbeit von Gordon Kaltfofen, FHTW Berlin, Matrikel 0323621, WS 2002/2003, Betreuer: Dr. M. Langula, Dr. G. Heinz, 03/2003
- [2] Entwicklung einer Ethernet-Schnittstelle für einen digitalen Datenrecorder. Praktikumsarbeit von André Haupt, FHTW Berlin, Matrikel 0321837, WS 2002/2003, Betreuer: Dr. M. Langula, Dr. G. Heinz, 03/2003
- [3] Entwicklung eines embedded Mess-Servers auf der Basis von NET-Works. Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieur (FH) an der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (FHTW), Fachbereich Ingenieurwissenschaften I, Studiengang Technische Informatik. Vorgelegt von André Haupt. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Vesselin Iossifov, Dr.-Ing. Gerd Heinz, 8.9.2003
- [4] Programmierung einer Datenrecorder-Steuereinheit auf Basis eines NET+50 Mikro-Controllers. Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieur (FH) an der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (FHTW), Fachbereich Ingenieurwissenschaften I, Studiengang Technische Informatik. Vorgelegt von Frank Hoffmann. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Vesselin Iossifov, Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Rehnitz, 13. April 2004
- [5] Programming a Control Unit of High Density Data Recorder Based on NET+50 Micro-Controller. Dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of "Master of Science" in network centred computing. Faculty of Science, University of Reading. Submitted by Frank Hoffmann. University Supervisor: Prof. Dr.-Ing. habil. Vesselin Iossifov, Placement Supervisor: Dr. Gerd Heinz. 22. March 2004
- [6] Innovationsmanagement dargestellt am Beispiel der Akustischen Kamera. Diplomarbeit zur Erlangung des akad. Grades Diplom-Wirtschaftsingenieur (FH). Vorgelegt im Fachbereich 4 der Wirtschaftswissenschaften II an der FHTW Berlin von Gunnar Heilmann. Gutachter: Dr.-Ing. Gerd Heinz, Prof. Dr. Günther Heger, 8.10.2003
- [7] Hintergründe und Methoden zur Verringerung der Lärmbelastung durch Maschinen. Matura-Fachbereichsarbeit Physik von Eva-Maria Eschböckl. Gymnasium Dachsberg, Oblaten des hl. Franz von Sales, Dachsberg 1, 4731 Prambachkirchen, Österreich. Betreuer: Mag. Johannes Ehrenguber, (Dr. Ing. Gerd Heinz) 27.2.2004
- [8] Vergleich von Multimikrofonverfahren zur Lokalisation von Schallquellen. Diplomarbeit vorgelegt von Anika von Heymann, Universität für Musik und darstellende Kunst Graz, Institut für Elektronische Musik und Akustik, Betreuer: Univ.Prof. Dr. Robert Höldrich, (Dr. Pflüger, AVL Graz), 2005
- [9] Darstellung und Auswertung des Standes der Technik zur systematischen Identifikation von Schallquellen und Schallabstrahlern in Maschinen und Anlagen. Vorgelegt von Joachim Bokemeyer am Fritz-Süchting-Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal. Gutachter: Prof. Dr. P. Dietz, Prof. Dr. N. Müller, Betreuer S.-G. Backhaus, November 2004

8. Veröffentlichungen im Projektzeitraum

- [10] Heinz, G.: Interference Networks - a Physical, Structural and Behavioural Approach to Nerve System. Conference on "Brain Inspired Cognitive Systems" (BICS), 29 Aug. - 1 Sept. 2004, University of Stirling, Scotland, UK
- [11] Heinz, G.: Interference Networks - a Physical Approach to Nerve System in Structure and Behaviour. The lecture hold: Dr. Olaf Jaeckel (GFal). Congress "Bionik 2004", April 22-23, 2004, HANNOVER MESSE Convention Center (Germany)
- [12] Heinz, G.: Introduction to Interference Networks. Invited plenary speech and regular paper. First International ICSC Congress on NEURO FUZZY TECHNOLOGIES. January 16-19, 2002, Havana, Cuba

9. Andere über uns

2004

- [13] Fellner Newsletter 02/2004 "Professionelle Schallmesstechnik"
- [14] Automobil Industrie 7-8/2004 "Auf der Suche nach dem guten Ton"
- [15] Automobilwoche 12, 07. Juni 2004 "Allein am Sound erkennen"
- [16] Umwelt Journal Wien/Österreich, Ausgabe Mai/Juni 2004 "Schallemissionen optisch orten"
- [17] European Automotive Design, April 2004 "Look, listen, learn"
- [18] Maschinen Markt, Das Industriemagazin, 05.April 2004 "Akustische Kamera zur Lärmanalyse"
- [19] 3sat, hitec. die dokumentation, Sonntag, 14.03.2004 "Schall - Klang der Welt" - André Rehse
- [20] Bayerischer Rundfunk, 11.03.2004 Eisenbahningenieur (55) 3/2004 "Schwingungs- und Lärmentstehung an der Oberkasseler Brücke"
- [21] Berlin Umwelt - Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Februar 2004 "Auf dem Weg zu mehr Lebensqualität"
- [22] ARD Ratgeber Bauen & Wohnen, 07.02.2004 "Lärmschutz bei Haushaltsgeräten"
- [23] Jahr der Technik 2004, 28.01.2004 "Aktuelles aus dem Jahr der Technik"
- [24] RBB Berlin, Abendschau vom 25.01.2004 "Akustische Kamera" Filmbericht von K. Zauter
- [25] Adlershofer Aktuell Januar/Februar 2004 "Eine Kamera, die Lärm sieht" Innovationspreis Berlin-Brandenburg 2003

2003

- [26] FAB/Fernsehen aus Berlin, Dez. 2003/Januar 2004 Filmbericht über den Innovationspreis Berlin/Brandenburg 2003
- [27] Elektroniknet, 26/2003 Technik und Trends "Schall fotografieren und filmen"
- [28] Berliner Kurier, 09.12.2003 "Berliner Erfindung mit Innovationspreis belohnt"

- [29] SWR, Die verlorene Stille, 29.11.2003 "Vom Klangbild unserer Landschaft" Film von R. Schneider
- [30] Tagesspiegel, 29.11.2003 Innovationspreis "Wie aus Wissen Arbeit wird"
- [31] Tagesspiegel, 29.11.2003 Innovationspreis "Wofür gibt's den Preis?"
- [32] Tagesspiegel, 29.11.2003 Innovationspreis "Wenn Geräusche sichtbar werden"
- [33] BerliNews, 29.11.2003 "Völker, seht die Signale"
- [34] Spiegel, Oktober 2003 "Leiden auf hohem Niveau bei Porsche"
- [35] Technologiestiftung Berlin, 16.10.2003 Innovationspreis Berlin/Brandenburg 2003
- [36] SAT1 Planetopia, 21.09.2003 TV-Bericht "Bionik und Akustische Kamera"
- [37] OÖN Oberösterreichische Nachrichten, 16.09.2003 "Lärminfotage im Ursulinenhof in Linz"
- [38] Lange Nacht der Wissenschaften, 14.06.2003 Presseinformation
- [39] Hessischer Rundfunk, 28.05.2003 Abenteuer Erde "Kamera lernt hören"
- [40] Sensor Review, Volume 23 Number4, May 2003 "Little and large at Sensor 2003 Nuremberg"
- [41] Betrieb und Instandhaltung, Mai 2003 "Mit den Ohren sehen"
- [42] TGA-Fachplaner Heft 4, 2003 "Eine Kamera sieht Lärm rot"
- [43] Novum, das Innovationsmagazin, Heft 1, 2003 "Den Lärm fotografiert"
- [44] Isernhagener Kreisblatt, 22.3.2003, Beilage "Vivaldi unter der Haube"

Berlin, den 24.12.2004

Ort, Datum

Unterschrift des Projektleiters
(Dr. Gerd Heinz)