

Forschungsthema

Registrier-Nr.

**PSI**

**744/95**

Sachbericht

## **Verfahren und Prototyp zur Erzeugung von Präzisionsbildern akustischer Laufzeitfelder durch Nutzung paralleler und serieller Interferenz**

Kurztitel

**PSI**

Projektlaufzeit

**01.06.95 bis 31.05.96**

Projektleitung

Dr. G. Heinz

Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFal)  
Rudower Chaussee 5, Geb. 13.7, D-12484 Berlin

Tel. +49 (30) 6392 1600

Fax. +49 (30) 6392 1602

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

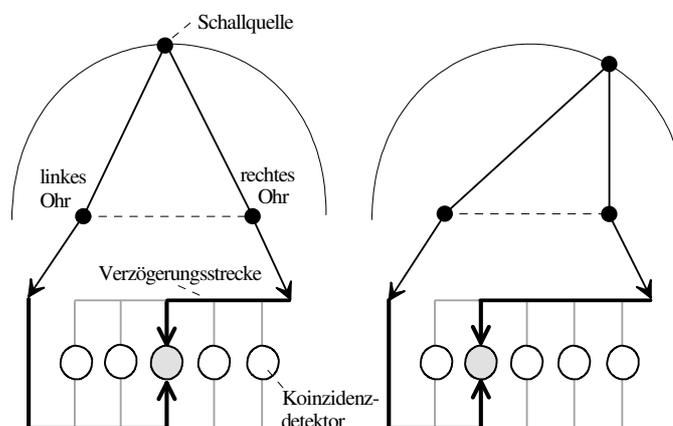
Berlin, den 01.12.96

# 1 Einführung

*Im Projekt ist auf eine neue Technik, die der interferenziellen Rekonstruktion der Lage von Schallquellen in einem akustischen Raum mittels Software gerichtet. Holographisch wird ein Wellenfeld mit mehreren Mikrofonen an wählbaren Orten aufgenommen. Vorausgesetzt, die Koordinaten der Mikrofone sind bekannt, kann das Erregungsfeld mittels Interferenztransformation (HIT) approximativ rückgerechnet werden. Die Approximation gelingt umso besser, je mehr Kanäle aufgenommen werden. Im Projekt PSI hatten wir erstmalig die Chance, 16 Kanäle mit Abtastraten bis zu 50 kHz exakt parallel zueinander aufzuzeichnen, wobei die Kanaldaten von Meßmikrofonen hochgenau aufgenommen wurden. Ein wesentliches Ziel des Projekts bestand darin, die Leistungsmöglichkeiten und -grenzen der 16-Kanal Variante für Industrieapplikationen auszuloten, da hierfür ein theoretischer Zugang noch unzureichend ist.*

*Im Projekt gelang es, erste Schallbilder anzufertigen. Herausragende Ergebnisse sind die Aufnahme der Geschwindigkeit eines Busses, der in einer Entfernung von 170 Metern auf einer entfernten Straße kreuzt, oder die Rückrechnung der Erregungskartierung an einer Brief-Ettiketiermaschine von AEG-Postautomation. Insbesondere diese Aufnahme stieß auf großes Interesse. Damit wird es möglich, an Maschinen aus großer Entfernung die Orte zu lokalisieren, die im Mittel zum Lärmpegel beitragen, bzw. deren Lärmpegel höchste Spitzenwerte aufweist.*

Delphine und Fledermäuse nutzen ein akustisches Ortungsprinzip, das für technische Anwendungen erschlossen werden soll. Fledermäusen ist es möglich, mit Lauten im Frequenzbereich um 60 kHz zielgenau Insekten zu jagen. Orientierende Versuche im Projekt NEURO3D zeigen, daß sich mit dem dort entwickelten Interferenzverfahren auch Schallquellen orten lassen.



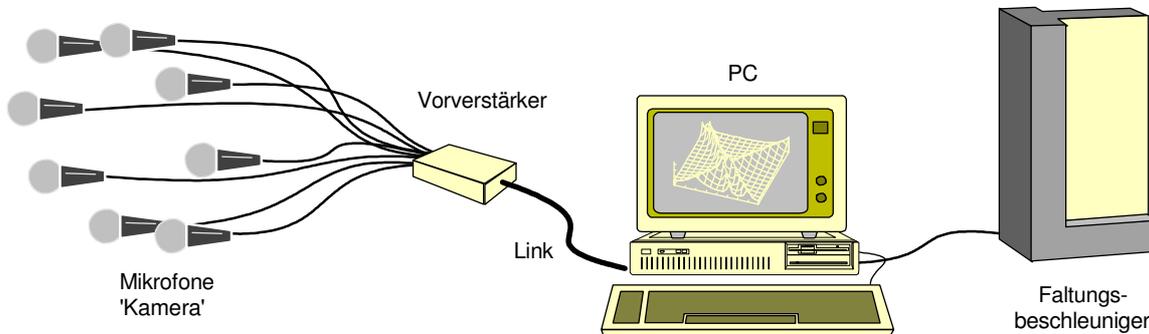
**Fig. 1: Erster intermedialer Interferenzkreis von Lloyd A. Jeffress. Das Bild zeigt die Veränderung der Erregung eines Neuronenfeldes unter dem Einfluß einer Lageänderung der Schallquelle**

Im Projekt sollte durch Interferenzverfahren die Qualität akustischer Interferenzbilddarstellungen gesteigert werden. Die Qualitätssteigerung soll insbesondere auch durch überlagerte Mehrfachaufnahmen des Objekts erfolgen. Entsprechende Aufnahmetechniken waren soft- und hardwaremäßig zu entwickeln.

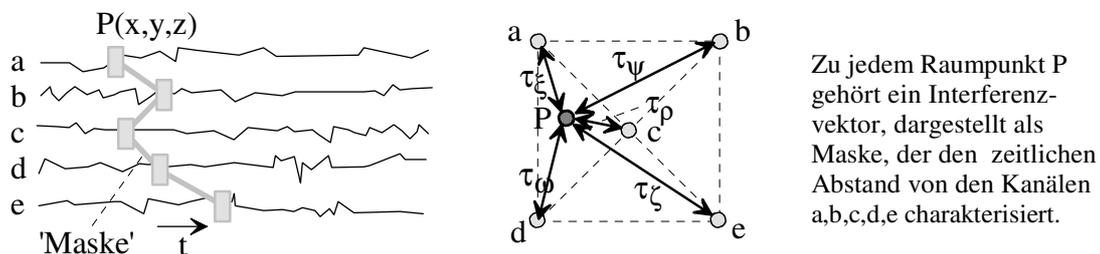
Die akustische Kamera sollte recht uniform anwendbar sein. Zunächst waren Schallfeldaufnahmen in Luft bei Frequenzen von 10 kHz (3 cm) zur Perfektion zu bringen. Die dabei zu entwickelnde Apparatur könnte direkt genutzt werden, um Schallquellenbilder z.B. von Kraftfahrzeugen

anzufertigen, um z.B. unzulässige Lärmemissionen am Auspuff oder Emissionsquellen am Motor zu lokalisieren.

So der Gesetzgeber es wünscht, könnte damit die Geräuschemission eines Kraftfahrzeugs in Form einer Photographie zweifelsfrei in die TÜV-Untersuchung eingebunden werden.



**Fig. 2: Prinzip der im Projekt PSI benutzten Aufnahmeanordnung. An frei wählbaren Koordinaten werden 16 Mikrofone angeordnet. Die Rekonstruktion sowohl des Wellenfeldes als auch der Erregungskartierung erfolgt per Software. Zur Beschleunigung kann ein Parsytec-Power'Xplorer eingesetzt werden**



**Fig. 3: Prinzip der Interferenztransformation. Jeder Raumpunkt P besitzt eine typische Maske in den Kanaldaten, über die das Vorhandensein einer Erregung an diesem Punkt festgestellt werden kann**

Theoretischer Ausgangspunkt für das Projekt war die Nutzung der im Projekt NEURO3D entwickelten Interferenztransformation. Hintergrund der Entwicklungen zu PSI ist die Erfahrung, daß eine Verbesserung jeglicher akustischer Verfahren (medizinische und technische Sonographie, Geologie etc.) im Grundansatz nur durch eine Erhöhung des Geräuschabstandes über Mittelung durch erhöhte Parallelität erreicht werden kann. Per Software ergeben sich interessante und völlig neue Möglichkeiten der Auswertung und Berechnung von (holographisch) aufgenommenen Wellenfeldern.

## 2 Darstellung der erzielten Ergebnisse

Das Projekt befaßte sich mit der Entwicklung und Erprobung einer international unbekanntem, neuen Technologie, mit der Schallemissionskarten von Geräten, Maschinen und Anlagen bestimmt werden können. Entsprechende Hard- und Software war zu entwickeln.

Die Reduzierung der Schallemission technischer Geräte ist ein komplexes Problem. Lärm entsteht nicht punktuell. Verschiedenste Teilkomponenten liefern verschiedene Anteile. In der Wirkung sind völlig unterschiedliche Phänomene zu beobachten: einerseits emittieren Komponenten, die alternierend Spitzenemissionen aussenden, andererseits existieren Baugruppen, deren Lärmanteil sehr gering, dafür aber stationär wirkt. Bei der Lärmbekämpfung sind entsprechend unterschiedliche Gegenmaßnahmen erforderlich. Voraussetzung allerdings ist eine Meßbarkeit der unterschiedlich wirkenden Emissionen in deren Ortszuordnung.

Bislang existierte keine Möglichkeit, diese Ortszuordnung einigermaßen objektiv vornehmen zu können.

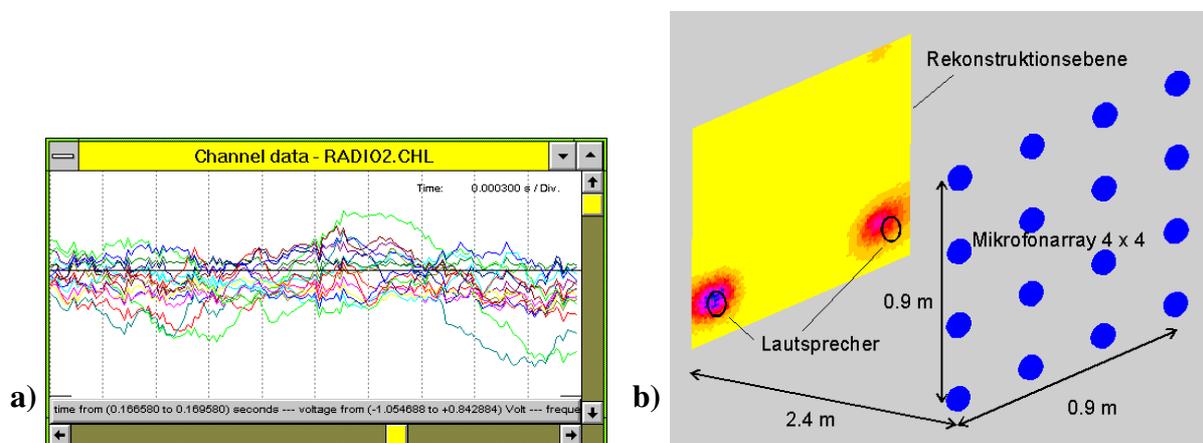
### 2.1 Ergebnisse mit Grundlagencharakter

Mit einem interdisziplinären Ansatz aus Neuroinformatik, Akustik und Optik gelingt es im Projekt, ein neues Verfahren, basierend auf der Heinz'schen Interferenztransformation (HIT) zu entwickeln, mit dem computergestützt 'akustisches Sehen' möglich wird. Ein 16-Kanal Mikrofonarray wirkt als Kamera, die das Schallbild aufnehmen kann. Per Software werden aus den aufgenommenen Kanaldaten die interessierenden Bildebenen berechnet. Erste, interessante Ergebnisse sind z.B. die Aufnahme der Geschwindigkeit eines Busses, der in einer Entfernung von 170 Metern auf einer entfernten Straße kreuzt, oder die Rückrechnung der Erregungskartierung an einer Brief-Ettiketiermaschine.

Eine besondere Problematik der bestand darin, daß mit den zu entwickelnden Verfahren aus real existierenden, i.a. stark gestörten Kanaldaten Bilder zu berechnen sind, der theoretische Zugang zur Materie aber noch Jahre intensivster Forschungsarbeit bedarf. Einerseits war es nutzlos, zu einfache Versuche z.B. im schalltoten Raum durchzuführen, andererseits fehlen auch heute noch hinreichende Erfahrungen, um Störungen vorhersehen zu können.

#### 2.1.1 Verfahrenserprobungen in Innenräumen

Eine der ersten Versuche war es, mit einfachen Elektretmikrofonen und einer elementaren Versuchsanordnung Erkundungen im Innenraum vorzunehmen.



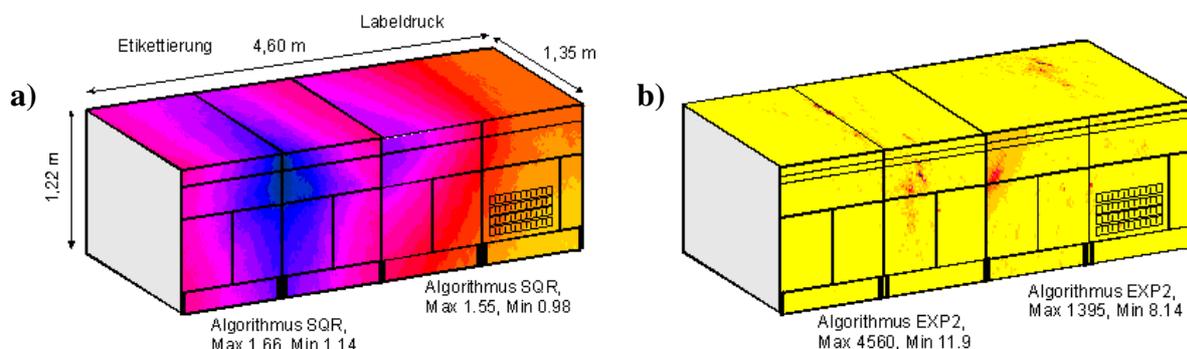
**Fig. 4: Geräuschkarte eines Stereoradios. Kanaldaten a) und Versuchsaufbau mit berechneter Erregungskartierung b)**

Wir begannen mit einem Stereoradio, daß unauffällig spielte. Die Kanaldaten zeigen, daß die Radiomusik im Umgebungsgeräusch nahezu untergeht. 16 Mikrophone wurden an der dem Radio gegenüberliegenden Wand angebracht. Fig. 1a) zeigt, daß eine gewisse Gleichförmigkeit in den Kanaldaten auf die vom Radio stammende Musik oder Sprache hindeutet. Umso erstaunlicher ist es, daß diesen Kanaldaten tatsächlich eine genaue Erregungskarte entnommen werden kann, Fig. 1b).

Es stellte sich heraus, daß die Lage der Lautsprecher (als schwarze Kreise eingezeichnet) recht gut detektiert werden konnte. Wird die Lautstärke reduziert, vermindert sich die Ortbarkeit. Untersuchungen zum Maß der Störbarkeit stoßen auf ein Problem: Es erweist sich als wertlos, periodische Signale als Störsignale einzusetzen. Erstens haben diese eine maximal störende Wirkung auf das Verfahren, zweitens treten sie in der Natur selten in Reinkultur auf. Rauschquellen hingegen stören das Verfahren prinzipbedingt erst dann, wenn der Grenzwertsatz (siehe HIT) nicht mehr gilt.

## 2.1.2 Schallkartierung im Industrieinsatz

Mit 16 Meßmikrofonen der Fa. Gefell wurden in einem Innenraum Erregungskarten an einer Briefetikettiermaschine gemessen. Fig. 2a) zeigt eine gemittelte Lärmemissionskarte, Fig. 2b) zeigt hingegen die Orte von Spitzenemissionen an der Briefetikettiermaschine. Es wird deutlich, daß nicht unbedingt Orte höchster Emission den meisten Lärm emittieren.



**Fig. 5: Erste Schallkartierungen mit PSI-Tools: Schallemissionsbild an einer Briefetikettiermaschine<sup>1)</sup>: a) integraler Schall (höchste Leistung) b) Spitzenemission (höchste Energie), Farben: max. blau, min. gelb  
Aufnahmedauer 3 Sekunden**

Überraschend ist die hohe, erreichbare Schärfe in der Auflösung der Lokalisierung von Spitzenemissionen ebenso, wie die Tatsache, daß trotz geschlossenem Gehäuse (!) eindeutige Zuordnungen zu lärmverursachenden Teilen möglich sind. Dies verwundert insofern, als die Messungen in einem relativ engen, geschlossenen Raum erfolgten. Bei einer Messzeit von 3 Sekunden gehen sämtliche Raumechos störend in die Kanaldaten ein.

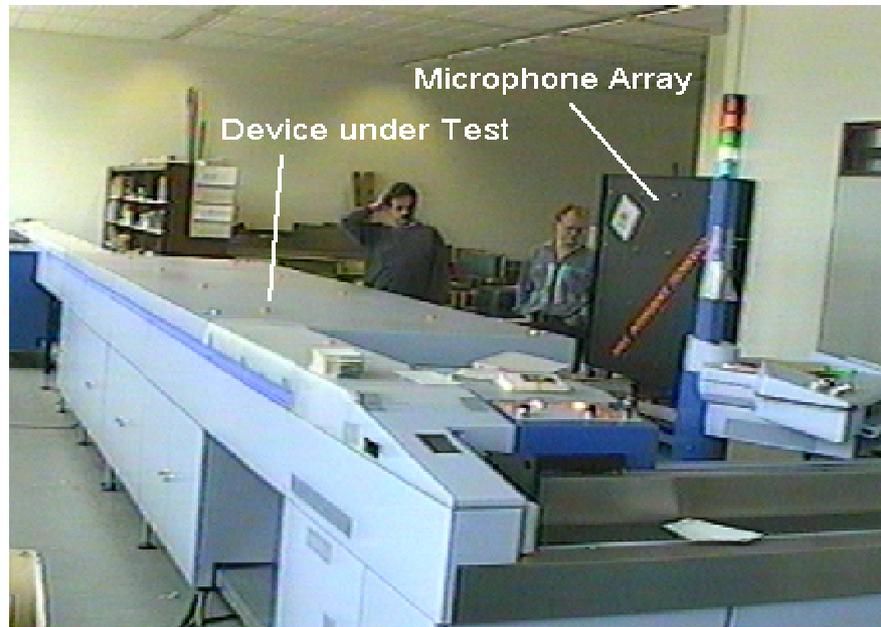
Auch überrascht, daß die Kartierungen vollkommen mit der subjektiv empfundenen Lautstärke der einzelnen Komponenten übereinstimmen. Wir hatten den Eindruck, daß der meiste Lärm aus der Gegend in der Mitte der linken Maschine kommt (siehe Fig. 2a, links). Deutlich ist in der integralen Kartierung ein Maximum (blau) genau am Spalt der Etikettiermaschine zu erkennen.

Hingegen konnten wir subjektiv auch beobachten, daß laute Knallgeräusche auch vom Abziehen des Labelbandes stammen, dies entspricht der in Fig. 2b) zu sehenden roten Färbung in der Bildmitte. Um eine Möglichkeit zu haben, die wesentlich schwächeren Geräusche der rechten Seite zu erkennen, wurden linker und rechter Teil der Aufnahmen verschieden normiert. Leider ist es aus Urheberrechtsgründen nicht möglich, ein Foto der geöffneten Maschine hinzuzustellen, dies hätte die hohe Übereinstimmung der Kartierung mit geräuschemittierenden Modulen noch besser verdeutlichen können.

Der Projektpartner war von den Aufnahmen so überrascht, daß Messungen an weiteren Maschinen bereits vereinbart werden konnten. Im Moment ist allerdings noch sehr viel Detailarbeit nötig, um das Verfahren in Soft- und Hardware serienreif zu gestalten. Neben Arbeiten zur Vereinfachung des

<sup>1)</sup> Mit freundlicher Unterstützung durch AEG-Postautomation Berlin

Versuchsaufbaus sind Kopplungen mit 3D-Modellierungssystemen vorzunehmen. Die Karten werden derzeit noch getrennt für jede Ebene gerechnet, und folgend mit einem Grafikprogramm (Corel Draw) zusammengesetzt. In Zukunft wäre es günstiger, wenn die zu bestimmende Oberfläche sofort als Fläche im 3D-Raum berechnet werden könnte.



**Fig. 6: Zugehöriger Versuchsaufbau. Im Vordergrund ist die (geschlossene!) Briefetikettiermaschine zu erkennen, im Hintergrund rechts steht das 16-Kanal-Mikrofonarray (schwarz) mit dem Meßplatz**

Gewisse Schwierigkeiten bereitet im Moment auch noch die ungewöhnliche Physik. Es sind weitere algorithmische Untersuchungen und Entwicklungen nötig, um eine amplitudengeeichte Farbskala zu den Kartierungen angeben zu können. Im Moment können Absolutwerte und Farbzuoordnungen nur geschätzt werden.

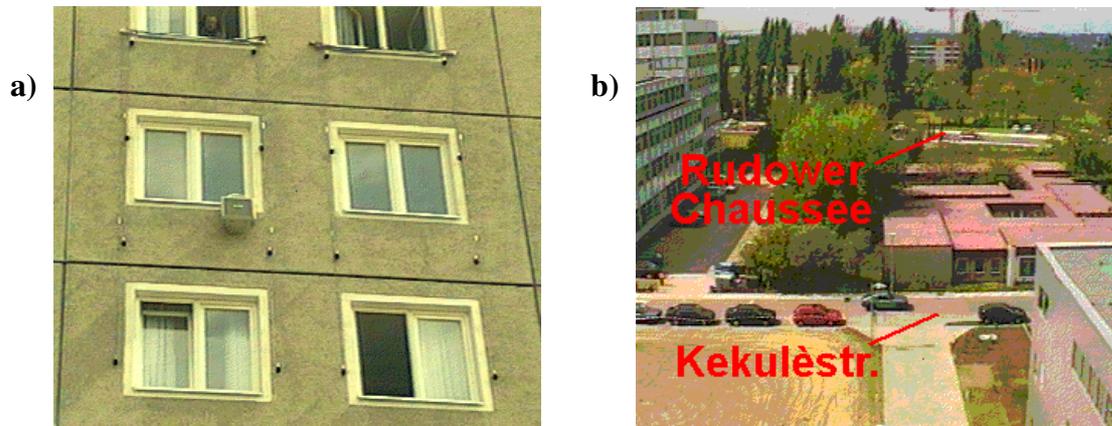
### 2.1.3 Außenaufnahmen

Um Verfahrensgrenzen im Außenbereich abstecken zu können, wurde eine spezifische Mikrofonanordnung (16 Kanäle) an der Außenwand des Hauses installiert. Es sollte untersucht werden, inwiefern es möglich ist, Fahrzeuge auf den 70 und 170 Meter entfernten Straßen (siehe Bild) zu entdecken. In Hinblick auf die im Schwerpunkt niederfrequenten Schallemissionen der Fahrzeuge im Bereich zwischen 25 bis 50 Hz - dem entsprechen Wellenlängen von 14 bis 7 Meter(!) wurde eine entsprechend den Möglichkeiten maximal große Anordnung des Mikrofonarrays gewählt. Realisierbar war eine Array mit einer Fläche von 4x5 Metern, siehe Bild 4a) und 4b). Theoretisch wäre eine Arraygröße von mehr als 20 Metern im Quadrat erforderlich, um optimale Fahrzeugaufnahmen zu machen. Der hierfür nötige Aufwand überstieg aber die im Projekt möglichen Aufwendungen mehr als angenommen.

Mit den Versuchen wurden zwei Ziele verfolgt: zum einen war zu verifizieren, inwiefern eine Bewegung der Schallquellen zu Problemen führt, zum anderen bestand ein Rest an Zweifel, ob denn die bislang georteten Quellen tatsächlich als Schallbilder zu bezeichnen sind. Gelänge es, so die Hypothese, die Fahrzeuge in Bewegung zu 'schallographieren', so wären alle weiteren Zweifel unberechtigt.

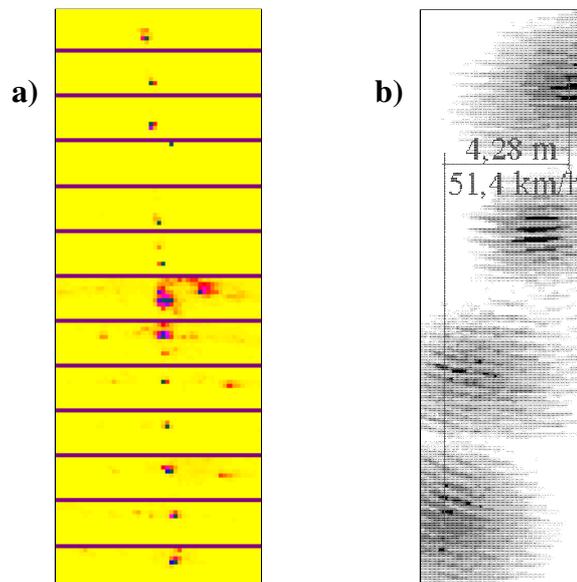
Von den verschiedenen Aufnahmen dieser Versuche sollen hier zwei dargestellt werden. Im ersten Versuch gelang es, die Vorbeifahrt eines PKW auf der 70 Meter entfernten Kekulestrasse akustisch mitzuschneiden. Für die Rekonstruktion wurden Kurzzeitintegrale von jeweils 0,1 Sekunden gewählt, die lückenlos aneinander die im Bild 5a) dargestellte Bildserie ergaben.

Im Bild 5b) wurde ein Bus aufgenommen, der auf der 170 Meter entfernten Rudower Chaussee vorüberfuhr. Auch hier wurden Kurzzeitintegrale von je einer Zehntelsekunde lückenlos aneinander gesetzt.



**Fig. 7: Mikrofon-Anordnung a) und Mikrofon-Horizont b)**

Die Mikrofone wurden an zwei Stangen in vier Bündeln zu je vier Mikrofonen aus dem Fenster gehangen. Ein Problem besteht darin, die Reflexionen der Hauswand unwirksam zu machen. Dazu werden die Mikrophone sehr Nahe an die Hauswand gebracht, Fensternischen wurden gemieden. Ein anderes problem bestand im enormen Inneschall des Gebäudes. Der herausdringende Lärm übertrifft tagsüber im Pegel den von außen kommenden Schall. Um dieses Problem zu lösen, wurden die Aufnahmen nachts vorgenommen.



**Fig. 8: Kurzzeitintegrale. Die Bildserien sind schlüssig über je eine zehntel Sekunde entwickelt, Algorithmus MULT**  
**a) Ford Fiesta auf der Kekulestraße. Deutlich ist die Erregungsspur von links nach rechts zu erkennen. Bildausschnitt 50 x 10 Meter;**  
**b) Bus in einer Entfernung von 170 Metern: Bildausschnitt 6x5 Meter**

Die Geschwindigkeit des Busses kann noch recht gut bestimmt werden, wir finden ihn ein wenig zu schnell.

Gemessen an international vergleichbaren Techniken zeigen diese Aufnahmen eindeutig, daß es dem Team gelang, mit Hilfe und Unterstützung durch das BMWi eine Spitzenstellung im Bereich

akustischer Ortungsverfahren zu erlangen. So erschien erst kürzlich im Scientific American [3] ein Aufsatz über akustische Bildaufnahmen im Unterwasserbereich. Auch hier will man das Geräusch von Schiffsschrauben nutzen, um eine Lokalisierung vornehmen zu können. Im Vergleich benötigen Buckingham und Co. 128 Mikrofone, mit denen man sicher 30 Meter weit sehen kann.

## 2.1.4 Zusammenfassung

Das Projekt spielte und spielt somit eine Schlüsselrolle zur Erschließung verschiedener, neuer Techniken, die auf intelligente Signalverarbeitung abzielen.

Erkundende Untersuchungen zeigen, daß sich Schallquellen hervorragend orten lassen. Im internationalen Vergleich wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem sich erstmalig akustische Bilder universell aufnehmen und berechnen lassen. Die mit 16 Kanälen erreichten Qualitäten übertrafen teilweise erheblich die Erwartungen.

Versuche zur passiven Reflexion und Brechung an Grenzflächen durch Mehrfachaufnahmen und Überlagerung von Echos zeigen noch nicht die gewünschten Ergebnisse. Probleme bestehen in einer tatsächlichen Unsichtbarkeit aller spiegelnden Flächen im Bereich derzeit verwendbarer Wellenlängen größer als die Rauigkeit der Körperoberflächen. Auf eine Darstellung wurde deshalb verzichtet.

Wir sind optimistisch, dieses Verfahrensprinzip auch erfolgreich in die Ultraschall Diagnostik einführen zu können. Durch die mehrkanalige Aufnahme ist ein Vielfaches an bildlicher Auflösungsqualität im Vergleich zu Echo-basierenden Verfahren erreichbar. Arbeiten zur Entwicklung eines universellen, hochkanaligen Datenrecorders wurden in zwei Richtungen aufgenommen. Es entstanden prototypische Lösungen für niederfrequente und gepufferte (hochfrequente) Abtastung hoher Kanalzahlen [5].

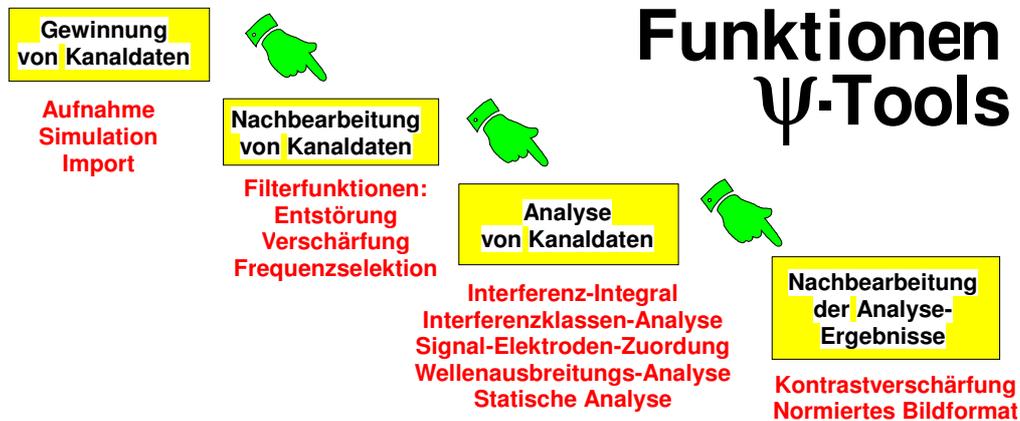
Perspektivisch wird es interessant sein, dieses Verfahren zu einem 64 Kanal-Standardverfahren auszubauen. Schwachstellen liegen noch in der graphischen Darstellbarkeit der Ergebnisse.

### Literatur

- [1] Pohlmann, R.: Über ein mit einem akustischen Hohlspiegel arbeitendes Abbildungsverfahren, bei dem das entworfene Bild mittels eines Empfängers zeilenweise abgetastet wird. Zeitschr. Physik 113, 697 (1939); Forsch. Fortschr. 16, 248 (1940); Z. angew. Physik 1, 181 (1948); Die Technik 3, 465 (1948). Zitiert aus Trendelenburg: Akustik. Springer Heidelberg, Zweite Auflage 1950, S.207
- [2] vgl. Ferdinand Trendelenburg: Akustik. Springer Heidelberg, Zweite Auflage 1950, S.200 ff. Je nach Stärke eines Windgradienten erfolgt danach eine Abbiegung des nach oben aufsteigenden Schalls in Windrichtung nach unten.
- [3] Buckingham, M.J., Potter, J.R. Epifanio, Ch. L.: Seeing Underwater with Background Noise. Scientific American, Febr. 1996, pp. 40-44

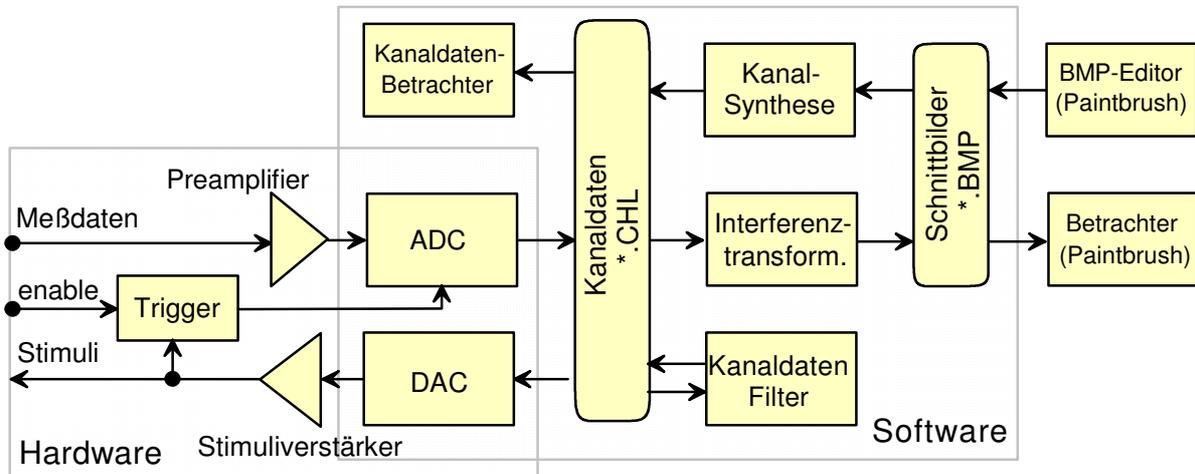
## 2.2 Messplatz PSI

Im Projekt entwickelte Soft- und Hardware sind Unikate. Prinzipfindung, Entwicklung und Erprobung waren stets in Einheit zu vollziehen. Der PSI-Meßplatz verfügt deshalb über eine Reihe von scheinbar unnötigen Test- und Verifikationsfunktionen. Im Bild ist ein typischer Meßablauf mit Varianten dargestellt.



**Fig. 9: Typische Funktionen von PSI-Tools**

Da bislang kein Verfahren bekannt wurde, mit dem es möglich ist, computergestützt Schallbilder aus Kanaldaten zu entwickeln, sind alle wesentlichen Funktionen durch deren Inverse ergänzt. Oft wurde es nur mit dieser Strategie möglich, Fehler zu entdecken.



**Fig. 10: Vermaschung von Soft- und Hardware beim PSI-Messplatz. Es ist möglich, Kanaldaten in Erregungskarten umzurechnen. Zu Testzwecken steht eine inverse Funktion zur Verfügung.**

## 2.3 Hardware

Um die im Projekt zu erbringenden Schallbilder realisieren zu können, war eine Vielzahl von Soft- und Hardwareentwicklungen vorzunehmen. Im Projekt NEURO3D entwickelte Soft- und Hardwarekomponenten wurden soweit als möglich genutzt.

In der Internet-Homepage sind die Ergebnisse zusammenfassend dargestellt [11].

Ausgehend von einer vergleichbaren Entwicklung im Projekt 'Neuronale Interferenzrekonstruktion' wurde ein kompletter Meßplatz aufgebaut, bestehend aus:

- 16-Kanal-Mikrofonarray
- 16-Kanal-Vorverstärker mit Netzteil
- Laptop mit Dockingstation und Analog-Digitalwandler
- Software 'Parallele und Serielle Interferenz - Werkzeuge' (PSI-Tools)
- Help-Filesystem PSI.HLP

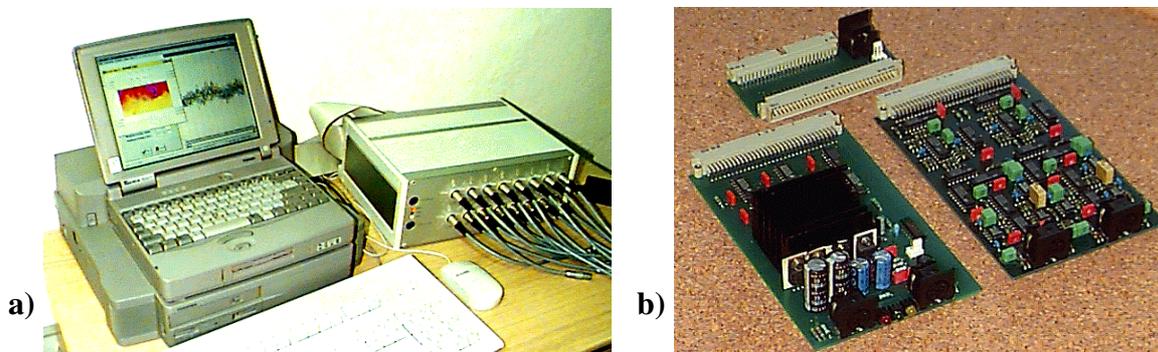
Zur Untersuchung akustischer Daten wurde ein vollständig digital steuerbarer mehrkanaliger Vorverstärker entwickelt, der folgende Eigenschaften besitzt:

- Digital steuerbarer 19-Zoll Verstärker, pro 19"-Rack für 16 diff. Kanäle
- Anpassung an Gefell-Meßmikrofone mit zusätzlicher Spannungsversorgung 40V
- Anschließbarkeit von preiswerten Elektretmikrofonen
- höchste Kanalsymmetrie
- Eignung für Samplingraten bis 100kHz
- exakt parallele, zeitgleiche Abtastung auf allen Kanälen
- Eingangsspannungsbereich halbdekadisch von 10 $\mu$ V bis 100mV

Digitale Steuerfunktionen (insges. 32 Schalter):

- Testquelle zuschaltbar
- Eingänge mono/differentiell
- Verstärkung halbdekadisch stellbar
- doppelte Hoch- und Tiefpässe dekadisch stellbar
- schaltbare Kopplung AC/DC
- externe/interne Triggerung
- Ausgabe eines Startimpulses für echobasierende Aufnahmen

Für die Echo-Vermessung wurden Spezielschaltungen in den Vorverstärker integriert.



**Fig. 11: a) Entwickelter Meßplatz, bestehend aus Laptop mit Dockingstation und Vorverstärker (rechts)  
b) Speziell entwickelte Leiterkarten des Vorverstärkers**

Die derzeit leistungsfähigste Lösung zur Analog-Digital-Wandlung basiert noch auf einem zugekauften AD-Wandler als PC-Slot. Diese Lösung hat den Nachteil, daß störbare Analogdaten über Kabel zu übertragen sind. Im Projektrahmen wurde eine prototypische Eigenentwicklung dieser Wandler entsprechend der Zielstellungen im Projektantrag vorgenommen. Leider aber war es bis zum Projektende noch nicht möglich, die erheblichen, zusätzlichen Softwareanpassungen zum Betrieb dieser Karten zu erbringen. Auch werden neue Gehäuselösungen erforderlich. Eine Kompatibilität mit vorhandenen Schaltungslösungen (Preamplifier) ist leider nicht vollständig erreichbar, Steckerbelegungen und Gehäusegrößen verhindern hier einen allzu raschen Fortschritt. Schlußfolgernd wurden die Kräfte darauf konzentriert, das eigentliche Anliegen des Projekts, die Entwicklung akustischer Bilder, zunächst mit den verfügbaren Komponenten zu lösen.

Die Kopplung zum PC erfolgt im Interrupt-Mode. Analogdaten werden von der ADC-Karte gesammelt. Sobald der RAM-Speicher voll ist, löst ein Interrupt dessen Entsorgung zum Hauptspeicher des PC aus. Entsprechende Lese- und Interrupt-Handler-Routinen wurden entwickelt bzw. modifiziert. Entsprechende, prototypische Lösungen konnten von den Ergebnissen aus dem Projekt NEURO3D genutzt werden. Zur Aufnahme von Echos wurde eine spezielle Steuerungshardware als Zusatz zur AD-Wandlerkarte entwickelt, die die Ereignissynchronisation vornimmt. Damit wird es möglich, verschiedene Testsignale auszugeben, und folgend eine synchronisierte Echo-Aufnahme zu starten. Der parallele Interface Controller vom Typ 8255 der AD-Wandlerkarte wird genutzt, um die für die Einstellung der Kanalverstärker nötigen 32 Bit an den Preamplifier zu übertragen.

## 2.4 Ergebnisse der Softwareentwicklung

Ausgehend von Algorithmen und Modulen der Neuroinformatik wurde eine spezifische Programmentwicklung für akustische Probleme vorangebracht. Im Detail konnten an vielen Stellen wertvolle Prinziplösungen genutzt werden. Ein Kernproblem der Arbeiten bestand darin, die Software zuverlässig zu gestalten, Fehler übernommener Module zu erkennen und zu beseitigen. Verschiedene Anpassungen an Problemstellungen der Akustik waren vonnöten, neue Module waren zu entwickeln. Ein umfangreiches Help-Filesystem wurde erstellt.

Es zu weit führen, den Umfang der Softwareentwicklung im Detail darzustellen. Stattdessen befindet sich im Anhang eine Installationsdiskette mit dem im Projekt entwickelten Werkzeug PSI-Tools. Das Programm ist intuitiv erlernbar, ein Helpfile PSI.HLP erläutert hunderte möglicher Suchbegriffe.

Installieren Sie die Testversion durch Eingabe von

*a:\setup.exe*

PSI-Tools installiert sich selbständig auf einem im Dialog abfragbaren Directory. Löschen Sie dieses Directory nach Abschluß der Arbeiten. SETUP installiert alle Komponenten automatisch und nur in dem bei Installation angegebenen Directory.

Der Gesamtentwicklung von PS-Tools liegt ein Filekonzept zugrunde. Alle irgendwie an einer Faltung beteiligten Daten sind als Files speicherbar, und bei späteren Anlässen wieder lesbar.

Folgende Datentypen sind speicherbar, bzw. wieder rücklesbar:

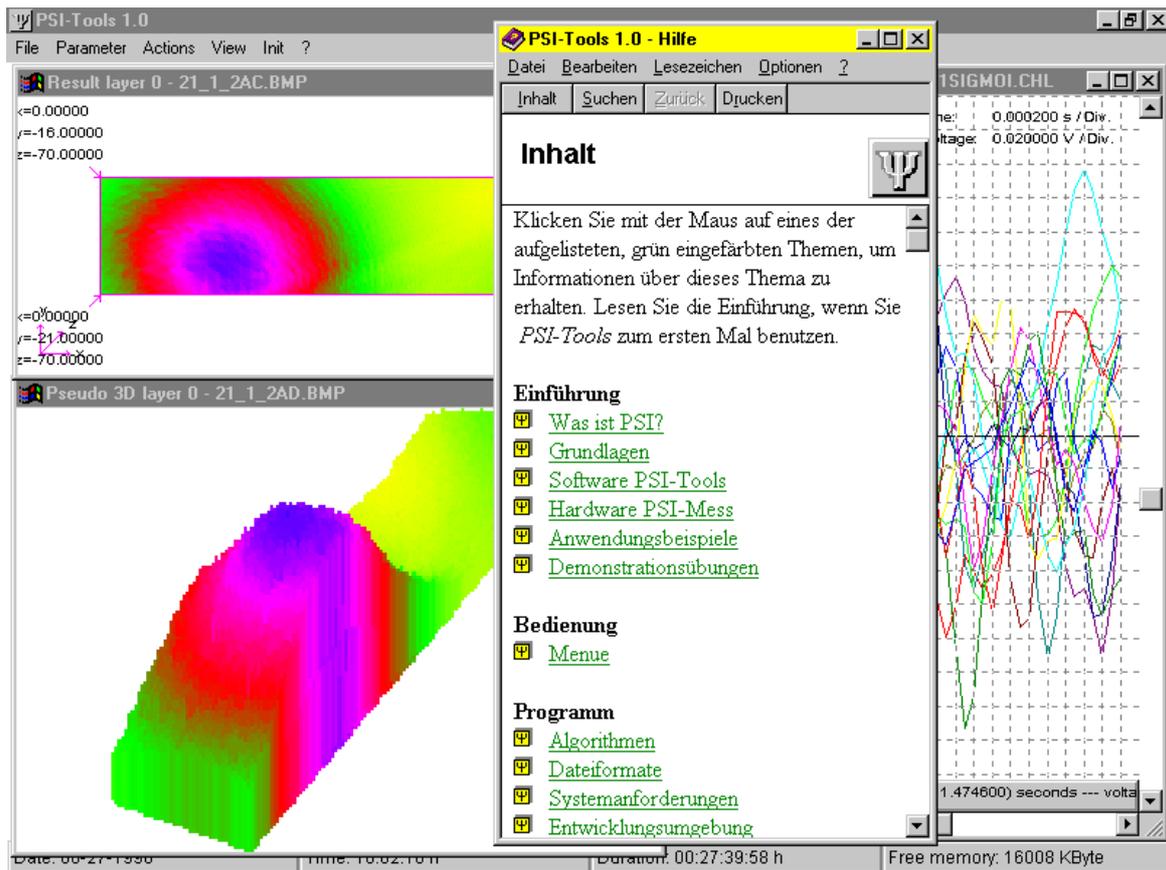
- Model-Bitmaps für simulative Zwecke
- Kanaldaten
- Interferenzbilder
- Initialisierungswerte
- Farbtabelle
- Export/Importdaten für die Faltungsbeschleunigung mit Parallelrechner via Ethernet

Zur Konfiguration der Hardware sind 32 binäre Ausgänge zur Steuerung der Preamplifier statisch einzustellen. Die 32 Bit werden in einem bitseriellen Protokoll über die PIA der AD-Wandlerkarte übergeben.

Der Datenaustausch mit der AD-Wandlerkarte ist zu steuern. Analogwerte zur Einstellung der Parameter können an die DA-Wandler der WIN30DS übergeben werden. Die gewonnenen Kanaldaten werden synchronisiert eingelesen. Signalparameter, wie Abtastrate und Amplitudenskalisierung können variiert werden.

Die gesamte Hardwarekonfiguration wird per Software gesteuert. An der Hardware befinden sich in der Finalversion keine Schalter oder Bedienelemente. Daraus resultierend können alle Einstellungen der Hardware in einem Initialisierungsfile gespeichert werden. Beim Start der Software wird die Hardware korrekt auf die Parameter früherer Sitzungen eingestellt, Fehlbedienungen werden reduziert. Einfachste Bedienung wird auch durch ungeschultes Personal möglich.

PSI-Tools wird über insgesamt etwa 130 Parameter gesteuert. Parameter, Koordinatenlisten der Mikrofone, Namenslisten, Hardwarekonfiguration etc. werden in einem Initialisierungsfile wählbaren Filenamens (\*.INI) gespeichert. Es wurde eine Initialisierungsroutine entwickelt, die bei Programmstart einen gewünschten Initialisierungsfile lädt.



**Fig. 12: Oberfläche PSI-Tools. Aufnahme eines PKW in 70 Metern Entfernung. In der Mitte ist der geöffnete Help-File zu erkennen; rechts sind die Kanaldaten zu erkennen, aus denen der PKW-Ort (links) berechnet wurde (Windows'95/Windows for Workgroups 3.11)**

Aufgenommenen Kanaldaten sind zunächst Rohdaten. Oftmals ist es erforderlich, diese zu verändern. Folgende Routinen wurden weiterentwickelt oder angepaßt:

- automatische Amplitudennormierung
- pro Kanal einstellbarer Zeitoffset
- Amplituden-Offset-Kompensation
- steiles Bessel-Hoch- und Tiefpaßfilter mit 68 Taps, zentriert  $0.01 \cdot f_{\text{sample}}$
- Resampling auf binäre Vielfache
- Zentrierung auf Spannungspegel-Intervalle:  $[0 \dots 1]$ ,  $[-1 \dots +1]$
- Gleichtakt-Befreiung
- nichtlineare Verzerrung/Entzerrung durch exp-Funktion
- Sigmoid-Verzerrung
- Betragsbildung
- Detektion lokaler Maxima, Konversion in Spikes vorgegebener Zeitfunktion

Für simulative Aufgaben wurden verschiedene Programme zur Synthese von Kanaldaten entwickelt. Folgende Möglichkeiten stehen zur Verfügung:

- Vorgabe einer Periode der gewünschten Zeitfunktion in Tabellenform
- Vorgabe einer Periode der gewünschten Zeitfunktion in analytischer Form
- periodische Wiederholung von Zeitfunktionen mit wählbarer Dämpfung
- Interpolation einer in Stützstellen vorgegebenen Funktion

Zwei Grundroutinen, deren Faltungsalgorithmen grundverschieden sind, können ausgeführt werden:

- a) eine schnelle, bildpunktbezogene Faltung
- b) und eine langsame, zeitschrittbezogene Faltung

Der Vorteil letzterer liegt darin, daß pro Zeitschritt die Entwicklung des Bildes beobachtbar wird. Auf diese Weise wurde es möglich, die im Internet ausliegenden Movies zu entwickeln.

Folgende Aufgaben können erledigt werden, entsprechende Programme wurden entwickelt:

- (integrative) Interferenz-Transformation (a)
- Serie von Momentanaufnahmen, Movie (b)
- Zerlegung in  $n$  Interferenzklassen,  $n$  ist wählbar (a)
- statische Analyse, Interpolation des Potentialgebirges (b)

Verschiedene Darstellungsprogramme wurden weiterentwickelt:

- Kanaldaten-Fenster
- Farbtabellewechsel (grau/farbig)
- automatische Farbzurordnung zwischen Minimum und Maximum
- manuelle Farbkorrektur
- Kontrastkorrektur
- Bildfilterung, selektive Unterdrückung hoher oder tiefer Werte
- Pseudo-3D-Darstellung des Interferenzgebirges

### 3 Auswirkungen auf die technische Entwicklung und Nutzen für kleine und mittlere Unternehmen

Folgende Zielgruppen bzw. Marktsegmente werden mit der Entwicklung erreicht:

- Geräte- und Anlagenbau
- Motoren- und Getriebeherstellung
- Schallemissionsuntersuchungen in der Umwelt (Fahrzeuge, Flugzeuge, Motorboote etc.)

Insbesondere für technische Untersuchungen steht mit dem Projektergebnis ein Weg offen, um objektive Erregungskarten in stark gestörten Räumen anfertigen zu können. Störungen, die eine einkanalige Messung erheblich verfälschen, können sein:

- a) unvermeidbare Lärmemissionen der Umwelt,
- b) unvermeidbare Stehwellen-Interferenzen durch konstruktive Gegebenheiten,
- c) unvermeidbare Echowirkungen bei Innenraum-Messungen

Bisher war es mit nur einem Mikrofon aufgrund stets störender Interferenzerscheinungen kaum möglich, objektive Schallemissionswerte bei Vorliegen eines dieser Probleme zu bestimmen.

Mit dem Verfahren wird es erstmals möglich, Emissionen bestimmter Baugruppen in Relation zueinander zu bestimmen. Auch steht erstmals ein Verfahren zur Verfügung, mit dem eine Differenzierung zwischen Spitzenemission (hoher Energie einer Einzelwelle) und integrelem Schall (hohe Dauerleistung) zu unterscheiden.

Nutzen wird überall dort entstehen, wo Unternehmen bemüht sind, ihre Anlagen kleiner, leistungsfähiger und zugleich leiser zu gestalten. Erstmals steht damit ein Verfahren zur Verfügung, objektiv relativierende Messungen vornehmen zu können.

Mit dem Projekt gelang es ebenfalls, eine wesentliche Vorstufe in Richtung der Entwicklung neuer, verbesserter Schalltomographieverfahren zu erreichen. Diese Techniken sind aufgrund ihrer gesundheitlichen Unbedenklichkeit unbedingt interessant und förderungswürdig.

## 4 Zusammenstellung aller Veröffentlichungen

Eine Veröffentlichung der Projektergebnisse in Papierform vergleichbar zur Internet- Homepage ist in Vorbereitung. Es ist beabsichtigt, die Ergebnisse einem renommierten Wissenschaftsjournal anzubieten. Die Untersuchungen stehen in Verbindung zu Veröffentlichungen, die folgend der Vollständigkeit halber ebenfalls aufgeführt sind.

- [4] Heinz, G.: Projektergebnisse siehe Internet-URL  
[http://www.gfai.fta-berlin.de/www\\_open/perspg/g\\_heinz/demradio/radio.htm](http://www.gfai.fta-berlin.de/www_open/perspg/g_heinz/demradio/radio.htm)
- [5] Dehm, Christoph: Entwicklung einer PC-Erweiterungskarte zur Ansteuerung von bis zu 256 Analog-Digital-Wandlern. Praktikumsbericht 9/1996 GFal/FHTW, 60 S.
- [6] Nguyen, Tan Than: Channel Data Converter. Praktikumsbericht GFal/Befak/IHK, 30.9.1996
- [7] Kieselberger, Sven: Entwicklung eines Faltungsmoduls für parallele Interferenzfaltung. Praktikumsbericht, HUB/GFal Berlin, Betreuer: G. Heinz, 30.9.1995, 65 S.
- [8] 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. BioNet'96: Third Workshop 'Bio-Informatics and Pulspropagating Networks', 14.-15. Nov. 1996 Berlin, ISBN 3-00-001107-2
- [9] Heinz, G., Höfs, S., Koepp, 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
- [10] Heinz, G., Hoefs, S., Koepp, I., Kittner, D., Busch, C.: Verfahren und Prototyp zur Rekonstruktion eines dreidimensionalen, neuronalen Interferenzraumes. GFal Jahresbericht 1994, Mai 1995, Seiten 63-72
- [11] 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 GFal e.V. Berlin
- [12] 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 GFal e.V. Berlin
- [13] 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
- [14] Heinz, G.: Neuronale Interferenzen oder Impulsinterferenzen in elektrischen Netzwerken. Autor gleich Herausgeber. GFal Berlin, Dez. 1994, 400 S. Nur zur pers. Information
- [15] 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.
- [16] Schulze, Peter: Entwicklung eines Programms zur Visualisierung und Manipulation elektrisch oder akustisch aufgenommener Kanaldaten. Praktikumsarbeit für die Prüfung zum mathematisch-technischen Informatiker, IHK/GFal Berlin, 30.10.1995, 30 S.
- [17] Rädisch, Jörg: Studie zu einem systolischen Faltungsprozessor für schnelle Interferenzfaltung. TFH Berlin/GFal Berlin, Betreuer: G. Heinz, 6.3.1995, 70 S.
- [18] Werner, Jörg: Untersuchung der Echtzeitfähigkeiten des Signalprozessors TMS320C26 für Filter-, Interpolations-, Differentiations- und Integrationsanwendungen. Praktikumsarbeit TFH Berlin/GFal, Betreuer: G. Heinz, Mai 1995, 26 S.
- [19] Fischmann, Vadim: Programm für die dreidimensionale Darstellung zweidimensional vorliegender Amplitudenverteilungen. Praktikumsarbeit BEFAK/GFal, Betreuer: G. Heinz, Mai 1995, 37 S.
- [20] Fritsch, Michael: Untersuchung und Entwicklung eines rauscharmen und programmierbaren Meßverstärkers für neurographische Aufnahmen. Diplomarbeit, FHTW Berlin FB3/GFal, Betreuer: G. Heinz, 27.9.1994., 62 S.

## 5 Schutzrechtsauskunft

Im Rahmen des Projekts wurden keine Schutzrechte angemeldet, da eine wirtschaftliche Verwertung derzeit noch bevorsteht. An interessierte Partner werden Testinstallationen vergeben, um Probleme im Umgang mit den Tools besser erkennen und beseitigen zu können.

  
Dr. Gerd Karl Heinz  
Projektleiter



## **Anlage**

Anlage A Installationsdiskette: PSI-Tools und PSI.HLP