



## **SonEnvir – Eine Sonifikationsumgebung für wissenschaftliche Daten**

Projektleiter: Gerhard Eckel (eckel@iem.at)  
Mitarbeiter: Alberto De Campo (decampo@iem.at)  
Christopher Frauenberger (frauenberger@iem.at)  
Robert Höldrich (hoeldrich@iem.at)

Die anerkannten Verfahren, innere Strukturen von Daten darzustellen und zu untersuchen, sind Visualisierung und statistische Analyse. Visualisierung – also die bildliche Darstellung – wird in unserer Gesellschaft schon von Kindesbeinen an geübt; fast jeder kann das Auf und Ab der Finanzmärkte anhand der „Fieberkurven“ der Kursentwicklungen nachvollziehen. Trotz dieser starken Einbettung in unsere Kultur sind die Einsatzmöglichkeiten von Visualisierung durch die perzeptuellen Schwächen des Sehsinns begrenzt. So ist die zeitliche Auflösung des Auges relativ gering; es genügen schon 25 Bilder pro Sekunde, um uns im Film eine kontinuierliche Bewegung vorzugaukeln. Darüber hinaus sind nur wenige Datendimensionen gleichzeitig darstellbar. Die Statistik wiederum stellt zwar eine umfangreiche Werkzeugkiste zur Analyse und Interpretation von Daten zur Verfügung, allerdings erfordert ihre Anwendung meist tieferes mathematisches Verständnis, was die Komplexität der Verfahren und deren Bedeutung für die zu analysierenden Daten betrifft.

Als Ergänzung zum visuellen Modus und zur Statistik stellt Sonifikation einen relativ neuen Weg zur Repräsentation und Analyse von Daten durch Klang dar, der in den letzten 20 Jahren Sonifikation erfolgreich auf konkrete Einzelprobleme angewandt wurde.

### *Das Ohr als Highend-Messgerät*

Die Eigenschaften des menschlichen Gehörs sind außerordentlich. Die leisesten wahrnehmbaren Schalle liegen nur wenig über der Brown'schen Molekularbewegung der Luft, der vom Ohr verarbeitete Dynamikbereich zwischen Hörschwelle und Schmerzgrenze umfasst 12 Zehnerpotenzen. Im Tonhöhenbereich nimmt das Ohr Frequenzen zwischen 20 Hz und 20.000 Hz wahr, dieser auditiven Bandbreite von 1000 : 1 steht eine optische von nicht einmal 2 : 1 gegenüber. Die kombinierte Zeit-Frequenz-Auflösung des Ohres kann selbst heute mit technischen Mitteln kaum nachgebildet werden. Wir benutzen unser Gehör als „Wächter“-Organ ständig zur Orientierung in der Umgebung, wir können fein differenzierte Klangeigenschaften auf der Mikroebene wahrnehmen, aber auch makroskopisch mehrere Klangquellen gleichzeitig verfolgen (z.B. einzelne Stimmen im

Gewirr erkennen).

Kurz gesagt: Der menschliche Gehörssinn hat sich im Laufe der Evolution zu einem Messinstrument entwickelt, das in seiner Genauigkeit, Adaptionfähigkeit, Fehlertoleranz und hierarchischen Strukturierungsfähigkeit jedes technische System in den Schatten stellt.

Daher wird das Hören schon lange als praktische Analysemethode für mechanische Systeme angewandt. Gute Automechaniker können sehr genau am Klang feststellen, welche Subsysteme einer Maschine oder eines Motors vom Sollzustand abweichen. Auskultation, das Abhören von Organen auf Schallphänomene, ist ein hocheffektives Diagnoseverfahren, setzt allerdings (wie beim Mechaniker) langes Training und Erfahrung voraus. In allen Fällen analysiert die auditive Wahrnehmung: woher kommt der Klang, welche Quellen sind identifizierbar, welcher mechanische Vorgang erzeugt den Klang, welche Beschaffenheit haben die schwingenden Körper, und welche zeitlichen Muster wiederholen sich im Klang.

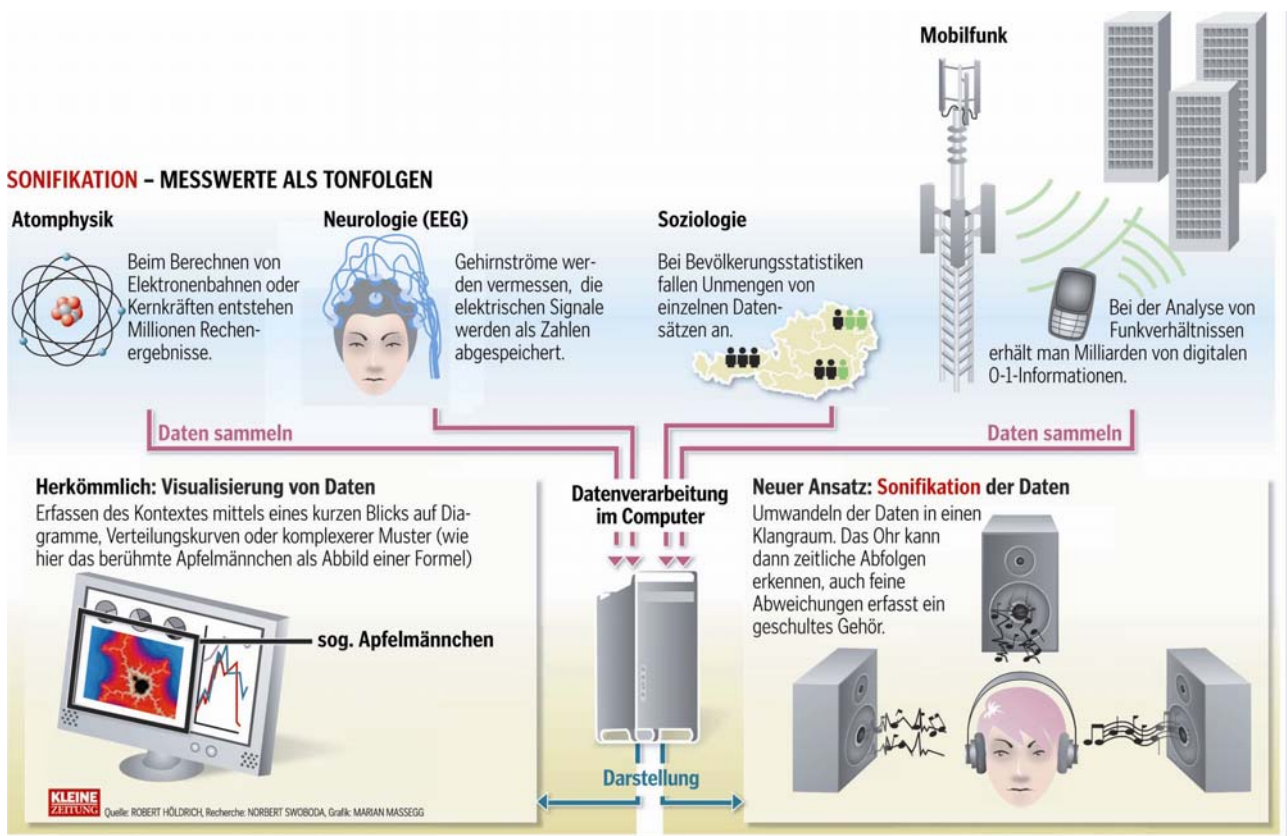
In der Sonifikation tritt im Gegensatz zum unmittelbar physikalisch verursachten Schall der oben genannten Beispiele eine bewusste Gestaltungsebene zwischen Daten und Klang. Dadurch entstehen neue Anwendungs-, Wahrnehmungs- und Steuerungsmöglichkeiten, die jene Eigenschaften der Daten wahrnehmbar machen, die in der physikalischen Anordnung zu leise oder durch anderes verdeckt wären. Durch die freie Wahl, welche Dinge momentan wie ‚groß‘ dargestellt werden sollen (und welche temporär gar nicht), lassen sich Details der Daten fokussiert untersuchen. Als erster Schritt zur bewusst gestalteten Sonifikation kann die Anwendung in der Seismologie gesehen werden: das Verhalten des schwingenden und streuenden Körpers „Erde“ wird untersucht, indem die Frequenz-, Zeit- und Amplitudenverhältnisse der seismischen Wellen so skaliert werden, dass sie für das Ohr wahrnehmbar werden.

Abstrakte Daten werden oft in Klang übersetzt, um Echtzeitvorgänge zu überwachen: Der Geigerzähler macht das Auftreffen von radioaktiven Partikeln hörbar; das Pulsoximeter übersetzt wichtige Lebensfunktionen von Patienten in ein komplexes Klangbild, bei dem Abweichungen wie plötzlicher fallender Blutdruck o.ä. sofort wahrnehmbar werden. Die genaue Art der Übersetzung (das Mapping) ist hier auf beste Wahrnehmbarkeit hin gestaltet.

Im Rahmen des durch den steirischen Zukunftsfonds geförderten Forschungsprojekt **„SonEnvir - Eine Sonifikationsumgebung für wissenschaftliche Daten“** soll erstmals versucht werden Sonifikation als allgemein einsetzbares fachübergreifendes Analyse- und Darstellungsverfahren für verschiedene Wissenschaftsdisziplinen zu etablieren. Das 2005 unter der Leitung des IEM begonnene Projekt stellt das ERSTE Forschungsprojekt der vier Grazer Universitäten dar.

Im Rahmen von *SonEnvir* sollen unterschiedlichste Fragestellungen aus den Zielwissenschaften durch die Darstellung in Klang untersucht werden: von mehrkanaligen EEG-Ableitungen in der Neurologie über Symmetrien in den Quantenspektren von Elementarteilchen oder die Unterscheidbarkeit zwischen chaotischen und zufälligen Prozessen bis zur Analyse soziologischer Daten.

Neu ist an *SonEnvir* vor allem auch die starke Fokussierung auf die räumliche Dimension von Klang. Dadurch können höherdimensionale Daten so organisiert werden, dass neben dem Ort, der Ausgangspunkt der Klangquelle ist und damit drei Dimensionen kodiert, zusätzliche Klangeigenschaften wie Tonhöhe, Anschlagshärte, Schärfe oder Rauigkeit in die Darstellung einbezogen werden und so mehrere Datendimensionen gleichzeitig mit der räumlichen Lokalisation abbilden: Daten als räumliche Klangskulptur, die es zu erforschen gilt. Bereits bestehende Forschungsarbeiten am IEM zur „Spatialisation“ (=Klangverräumlichung) bieten dafür eine ideale Voraussetzung.



Neu ist an *SonEnvir* vor allem auch die starke Fokussierung auf die räumliche Dimension von Klang. Dadurch können höherdimensionale Daten so organisiert werden, dass neben dem Ort, der Ausgangspunkt der Klangquelle ist und damit drei Dimensionen kodiert, zusätzliche Klangeigenschaften wie Tonhöhe, Anschlagshärte, Schärfe oder Rauigkeit in die Darstellung einbezogen werden und so mehrere Datendimensionen gleichzeitig mit der räumlichen Lokalisation abbilden: Daten als räumliche Klangskulptur, die es zu erforschen gilt. Bereits bestehende Forschungsarbeiten am IEM zur „Spatialisation“ (=Klangverräumlichung) bieten dafür eine ideale Voraussetzung.



## Sonifikationsmodell für Echtzeit-EEG

Projektleiter: Gerhard Eckel (eckel@iem.at)

MitarbeiterInnen: Robert Höldrich, Alberto de Campo, Annette Wallisch

Im Rahmen des Forschungsprojekts SonEnvir, das am IEM Graz stattfindet, wird ein Sonifikationsmodell für die Echtzeit-Überwachung von EEG-Datenaufzeichnungen entwickelt. Die geplante Anwendungssituation ist eine Langzeit-EEG-Aufzeichnung bei einem Patienten, bei dem Epilepsieverdacht besteht; diese Aufnahmen werden routinemäßig auch beim kooperierenden Partner, der Neurologischen Abteilung and der Medizin-Universität Graz gemacht. In dieser Situation soll die Sonifikation Prädiktion von bevorstehenden Anfällen ermöglichen.

Die verfolgte Strategie beruht auf folgender Annahme: Die Daten sollen möglichst 'roh' sonifiziert werden, also durch keine vorgelagerteren Detektionsalgorithmen bearbeitet sein. Da es keine allgemein gültigen EEG-Merkmale für den prä-epileptischen Zustand gibt, soll das Gehör verschiedene Zustände im sonifizierten Signal erkennen und klassifizieren.

Als erstes Ziel werden zunächst Fälle von Temporallappen-Epilepsie untersucht, da diese Anfälle meist gut lokalisiert sind. Geeignete EEG-Daten mit ausreichenden prä- und post-iktalen Zeitdauern werden zur Zeit an der Neurologischen Abteilung erhoben.

Die EEG-Diagnostik unterscheidet Frequenzbänder zwischen 0.5Hz und ca. 30 Hz; aus diesem Grund wird das EEG-Signal in mehrere Subbänder aufgeteilt, die sonifiziert werden. Die genaue Wahl der Frequenzbänder (Grenzfrequenzen und Überlappung) ist ein gestaltbarer Parameter.

Für die Sonifikation werden die durch Filterung gewonnenen Bandpasssignale auf verschiedene Trägerfrequenzen durch Amplituden- und Frequenzmodulation aufmoduliert. Die Trägerfrequenzen stehen in einem (quasi-)harmonischen Frequenzverhältnis, um bei Aktivitätsverschiebungen zwischen den EEG-Bändern Formantverschiebungen zu erzeugen und damit gewohnte und leicht unterscheidbare Hörereignisse zu produzieren.



- B.) Filterung in viele (10 und mehr) überlappende Bänder. Das entspricht einer feineren Klassifizierung in Teilbereiche der klassischen EEG-Bänder, und die vorgesehene Filterung hier ist mit Butterworth-Filtern 4. Ordnung sanfter.
- C.) Als dritte Alternative wird die signal-abhängige Zerlegung des EEG-Signals mit der Empirical Mode Decomposition (siehe Huang et al) eingesetzt. Die EMD eignet sich besonders für nichtstationäre und nicht-lineare Prozesse, scheint also für EEG günstig. In der Literatur sind noch keine Anwendungen für EEG zu finden. Sie liefert mehrere Komponenten (=Moden), die üblicherweise disjunkte Frequenzbereiche belegen, wobei die ersten Komponenten die hohen Frequenzen extrahieren und in einem iterativen Prozess immer tieffrequenteren Moden aus einem Residualsignal gebildet werden.

### **Sonifikation mittels Frequenz- und Amplitudenmodulation**

Jedes Band moduliert die Tonhöhe eines Teiltons in einem Spektrum, und die Amplitude jedes Bandes moduliert die Lautstärke des gleichen Teiltons. Für die Proportionen der Teiltöne gibt es zwei Varianten:

Wenige Bänder (z.B. 5) können mit Teiltönen in Oktavabstand dargestellt werden; bei mehr Bändern (z.B. ca. 10) ist ein quasi-harmonisches Spektrum naheliegend, d.h. Teiltöne in ganzzahligen Proportionen, einstellbar um einen Inharmonizitätsfaktor zw. 1.0 und 1.3 gedehnt.

Die Amplitude jedes Teiltons wird von der Einhüllenden des entsprechenden Frequenzbands moduliert, wobei ein Expansionsfaktor zwischen 1.5 und 3 dazu eingesetzt wird, Bänder dann hervortreten zu lassen, wenn die Aktivität dort auffällig erhöht ist.

Die Sonifikationssignale aller Bänder eines Kanals werden gleichzeitig wiedergegeben, und das Prinzip ist bei Verwendung verschiedener Grundtonhöhen für verschiedene EEG-Kanäle auch für mehrkanalige Darstellung der EEG-Aktivität in Echtzeit gut erweiterbar.



## Science By Ear – Fitting the Pieces of the Puzzle International Workshop on Sonification

This project is part of the SonEnvir project at IEM.

Project Manager:       Gerhard Eckel (eckel@iem.at)  
Contributors:           Alberto de Campo  
                              Christopher Frauenberger  
                              Christian Dayé  
                              Katharina Vogt  
                              Annette Wallisch

### Introduction

A 3-day interdisciplinary workshop on sonification will be held at the Institute of Electronic Music and Acoustics (IEM) in Graz from March 16-18, 2006. This workshop will bring together international experts in the area of sonification with distinguished scientists from sonification application domains. Researchers from such diverse areas as quantum physics, neurology, social sciences, assistive technologies and nonlinear signal processing will have the opportunity to make firsthand experiences with sonification for research questions from their fields; sonification experts will receive valuable feedback on their sonification design approaches. Furthermore, we hope to gain insights on interdisciplinary collaboration processes.

### Background

Whereas statistical data analysis as well as data perceptualization by visualization data renditions are accepted standards, the logical complement, sonification, is not as well-established, and not readily available as a technology. The technical and conceptual development of sonification into an equal alternative and complement is being addressed in a number of research projects; among others, the SonEnvir project hosted at IEM, which forms the context of this workshop. The crucial issue in sonification research is its interdisciplinary nature: audio experts need to understand the domains for which they design auditory displays and their requirements more deeply. Scientists in these target domains need to understand sound as an information carrier, and its benefits for them, more profoundly. Both need to learn to communicate effectively for such an interdisciplinary venture to succeed - this is what the workshop aims to achieve.

### Aims

Finally, the workshop aims at exploring new application fields of sonification, demonstrating and discussing the current state of the art in sonification research, and encouraging the knowledge transfer among sound experts and application domain experts. The latter are strongly encouraged to submit data sets from their current research problems and a short description to the workshop organizers prior to the workshop. By preparing initial sonification designs for these data sets, we expect to generate interesting material for experimentation and discussion during the workshop.

## **Participants**

The sonification experts invited include several board members of the International Community for Auditory Display (ICAD); they are:

Gregory Kramer, organizer of the first ICAD conference and founding figure of the scientific discipline of sonification;

Terri Bonebright, perceptual psychologist, researcher and ICAD board member,

Tony Stockman, computer scientist, specialist in assistive technologies for the visually impaired, ICAD board member, and organizer of ICAD 2006 in London,

Thomas Hermann, physicist, ICAD board member, inventor of Model-Based Sonification,

Florian Dombois, seismologist, head of Y, the Institute of Transdisciplinarity at Hochschule der Künste Bern,

Till Bovermann,

Sandra Pauletto,

Julian Rohrhuber, sonification researchers and programmers.

The scientists from Sonification application domains ('target scientists') are:

Gerold Baier, researcher in EEG analysis, Univ. Morelos, Mexico

Michael Feichtinger, neurologist, Med-Univ. Graz

Christian Fleck, sociologist, Univ. Graz

Marianne Egger de Campo, sociologist, Compass Graz

Anton Huber, chemist, Univ. Graz

Florian Grond, chemist, ZKM

Susanne Schweitzer, environment and systems sciences, Univ. Graz

Willibald Plessas, physicist, Univ. Graz

Harald Markum, physicist, Univ. Vienna

Lothar Fickert, electrical power systems, TU Graz

Klaus Witrisal, Signal Processing and Speech Communication, TU Graz

## **Lectures and Sessions**

The workshop will feature a keynote address by Gregory Kramer, and short lectures by the sonification experts, covering topics from 'Auditory Perception and Sonification' to 'Interdisciplinary Interests in Sonification (1878-Now)' to 'Sonification in Assistive Technology'.

However, most of the time will be spent in interdisciplinary work sessions: The invited scientists from sonification application domains have submitted data sets for experimentation with Sonification strategies. Small working groups (6-8 persons) will discuss how to go about rendering data properties of these data sets into sound, developing different approaches, and the results will be compared and discussed between the groups.