

“UNDERGROUND SOUNDS” - SONIC EXPLORATIONS WITH EARTHQUAKE DATA

Dokumentation Projekt Computermusik,
Institut für Elektronische Musik und Akustik (IEM)

Manuela Meier, Anna Saranti

27. Februar 2008

Zusammenfassung

Ausgehend von einem tsunamiauslösenden Erdbeben der Stärke 7.8 nach Richter-Skala, das sich am 01. April 2007 in der Nähe der Solomon-Inseln ereignete, beschäftigt sich das aus vier Teilen bestehende Werk “underground sounds” mit dem Phänomen der sich ständig bewegenden und damit klingenden Erde.

Über den Echtzeit-Datenserver des Netzwerkes GEOFON werden Daten zu einzelnen seismischen Ereignissen geliefert und mittels speziell entwickelter Programme in Audiospuren umgewandelt. Die Aufzeichnungen des Seismometers dienen als Ausgangsmaterial für die Komposition, welche in ihren Teilen auf unterschiedliche Charakteristika von seismischen Ereignissen eingeht.

Als wichtige Entscheidungsträger bei kompositorischen Fragen dienen die auf mehreren Stationen aufgezeichneten Klänge ein und desselben Bebens, deren Messgeräte und weiters die getrennte Verwendung der von den impulshaften Schwingungen des Bebens ausstrahlenden und jene des Erdkörpers als eigenständige “Instrumente”.

“underground sounds” - sonic explorations with earthquake data
Elektroakustische Komposition in vier Teilen

Dauer: 14:32

1.tremor 3:52
2.trigger 6:10
3.wake 2:53
4.vacillation_1_2_3 1:37

Die für “underground sounds” benutzten Daten beinhalten die Bebenaktivität des Tages der größten Erschütterung am 01. April 2007 bis hin zu einigen Tagen nach diesem Ereignis.

1 Einleitung

Über die Beschäftigung mit den Publikationen von Chris Hayward’s “Listening to the earth sing”, vorgestellt auf der ICAD (International Conference of Auditory Display) 1992, und Florian Dombois “Using Audification in planetary seismology” [1] (ICAD, 2001) hinaus haben wir uns besonders mit dem Aspekt der Vorhersagbarkeit von Erdbebenereignissen beschäftigt. Weitere Intentionen für die Komposition waren die Erkundung und Untersuchung von erdbebenspezifischen Klängen und Organisationen, die während eines seismischen Ereignisses auftauchen, wobei die Konzentration auf den folgenden Charakteristika lag:

1. Klang des Erdbebenereignisses
2. Erde als Resonanzkörper
3. Messinstrumente und die harmonischen Anteile derer Klänge, aufgenommen während der Messung
4. Erdbeben auslösende Einflüsse

Weiters wurde versucht, menschliche Wahrnehmung und Gefühle während eines Erdbebens zu erörtern und in Form der Spatialisation umzusetzen.

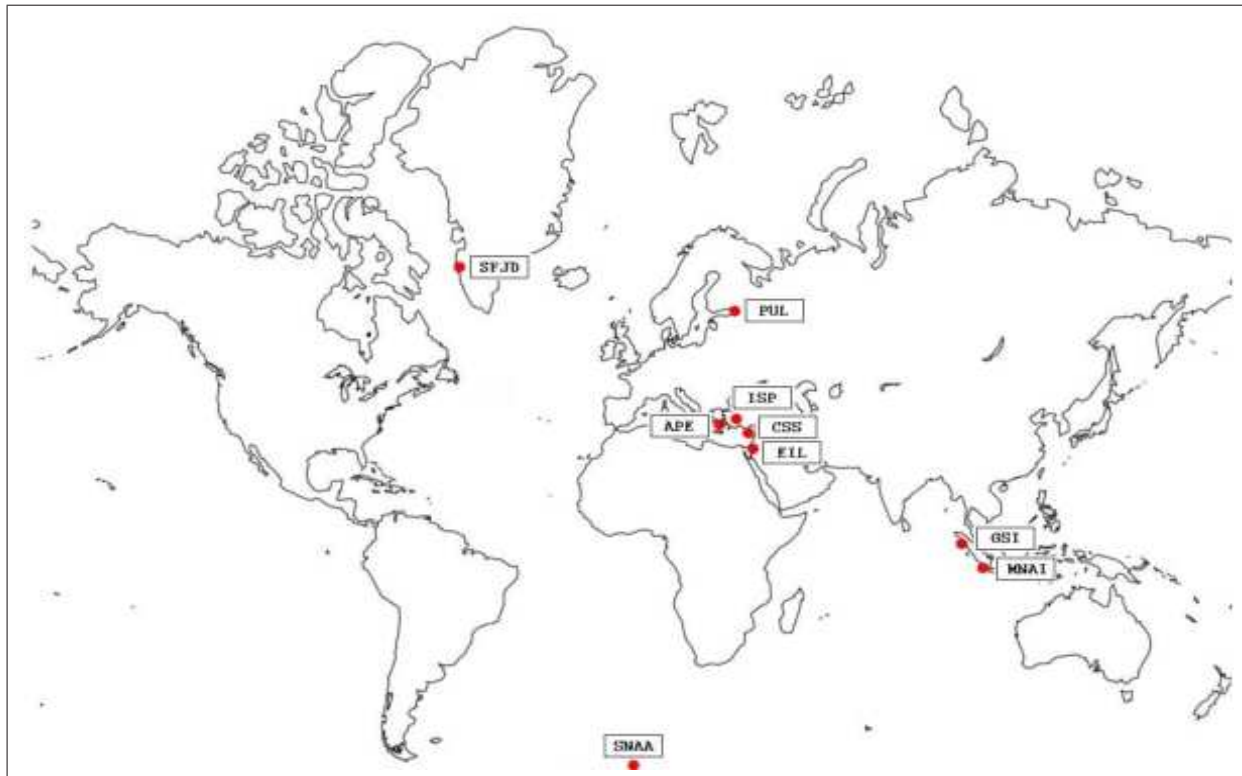


Abbildung 1: Verwendete Stationen, Netzwerk GEOFON [2]

2 Datenumwandlung

2.1 Formate

Mit der Hilfe von speziellen Programmen von IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) war es möglich, die Verfügbarkeit von near real-time Daten und deren Latenz, als auch die Möglichkeit des Bezuges von near-real-time Wellenform-Datenströmen und Download-Möglichkeiten von Datenarchiven abzurufen. Über das seismische Netzwerk GEOFON [3] wurden Daten von Erdbebenereignissen im SEED-Format (Standard for the Exchange of Earthquake Data) bezogen. Diese erhalten sowohl Daten in Kontroll- als auch Wellen-Form und müssen später noch in Audiodaten umgewandelt werden.

2.2 miniSEED-Format

Gründe für die Verwendung des SEED-Formates [4] sind seine gute Dokumentation und das Faktum, dass SEED besonders detaillierte Informationen wie Glitches und Abtastraten enthält. SEED kann in zwei Teile unterteilt werden, nämlich datenlose SEED volumes und data-only SEED records (miniSEED). Datenlose SEED volumes enthalten Kontroll- und Meta-Daten, welche hauptsächlich Informationen über Erdbebenstationen liefern und aus Volume Index Control, Abbreviation Dictionary Control und Station Control Headers bestehen. miniSEED [5] data records besitzen keine Information über Control Headers, enthalten aber die seismische Wellenform.

Informationen zu speziellen Erdbebenereignissen und die Auswahl der Stationen wurde schon im Vorhinein ausgewählt bzw. getroffen, sodass das Format miniSEED in Zuge der Arbeit an diesem Projekt vollkommen ausreichend war.

2.3 slinktool

Im Laufe des Projektes wurden mehrere, als request tools für Datenbeschaffung dienende Programme getestet. Als GUI-orientierte Beispiele seien SeismiQuery und jweed genannt, während jrseed, verseed und SeisComp (mit slinktool als Teil davon) auf Basis einer Kommandozeile funktionieren.

Das SeisComp-Paket, das von GEOFON entwickelt wurde, benützt das Datenübertragungs-Protokoll Seed-Link [6], wobei angeforderte Datenströme auf ausgewählte Stationen, Orte oder Kanäle limitiert sein können. Alle Datenpakete sind miniSEED records.

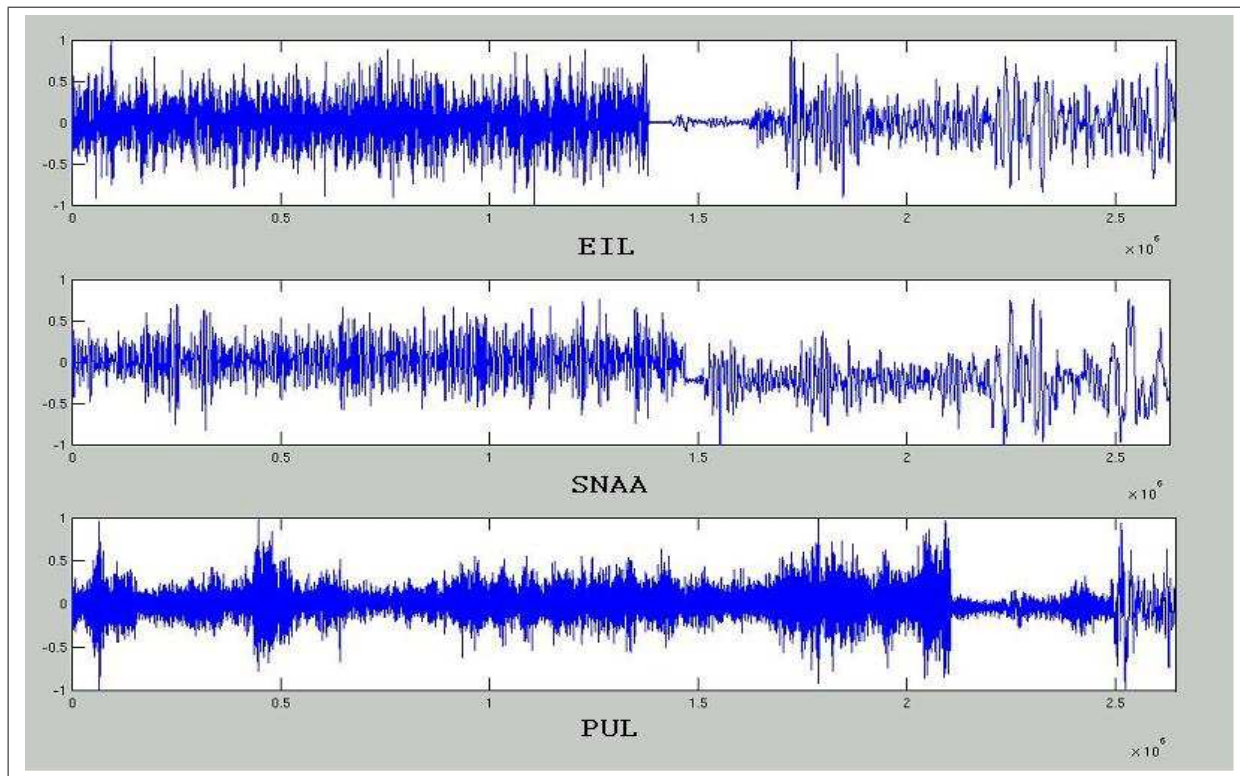


Abbildung 2: Ausschnitte von parallel ablaufenden Audiospuren der Stationen EIL (Israel), SNAA (Antarktis) und PUL (Russland)

Für das Projekt wurde slinktool, ein Kommandozeilen-SeedLink protocol client und Teil des SeisComp-Paketes, in der Version 3.8 verwendet, ein non-GUI command-line tool, mit welchem man die Möglichkeit besitzt, Datenströme in Wellenform über eine user-definierte Zeitdauer zu beziehen.

Beispiel einer Kommandozeile:

```
slinktool [options] [host][:][port]
```

```
./slinktool -s 'BHZ.D' -S 'GE_APE'
-tw 2008,01,16,00,00:2008,01,16,00,01,00
-o data.mseed -nt 10 -p -u -vv geofon.gfz-potsdam.de:18000
```

Optionen:

- s 'BHZ.D' : type of seismic data, specifying certain physical configuration (see 3.2: The seismometer's channels)
- S 'GE_APE' : name of station in: Network_Name form
- tw yyyy,mm,dd,hh,mm,ss: yyyy,mm,dd,hh,mm,ss : time span: year, month, day, hour, min, sec. (of beginning): year, month, day, hour, min, sec. (of end)
- o data.mseed : miniSEED output files (in ASCII)
- nt timeout : network timeout (in sec.) for trying to establish a new connection to the network's data server when there is no data delivered in timeout seconds, default 600
- p : details of currently downloaded miniSEED data, including information of header and 100/1000/1001 blockettes
- u : number of data samples in data package
- P: to check if station is active and delivers data

Die Anzahl der Samples von Data Blockettes der selben zeitlichen Länge ist variabel, obwohl das Format selbst dies als Konstante definiert.

2.4 Umwandlung in Audio Daten

Für die Umwandlung in Audiodaten wurden drei libraries verwendet: SeisFile [7], eine library für das Auslesen unterschiedlicher Typen von seismischen Files, SeedCodec [8], eine Sammlung von Kompressions- und Dekompressions-Routines für standardisierte seismische Datenformate und jMusic [9], benötigt für die Umwandlung von seismischen Wellenformdaten zu akustischen Daten.

Nachdem Daten unterschiedlichster Stationen mit unterschiedlichen Algorithmen komprimiert sein können, müssen diese zuerst dekomprimiert werden. Eine der üblichsten Methoden, welche auch für das beschriebene Projekt in Frage kam, ist die Steim1-Kompression [10].

Ein miniSeed2Aiff.java-Programm wurde speziell für das Öffnen und die Validierung eines Files, die Extraktion der Parameter, die Anwendung eines Algorithmus für die Dekompression, die Normalisierung und das Schreiben von Wellenform-Daten als Audiofile entwickelt.

3 Seismische Netzwerke und Kanäle

Die Erdbebendaten für die Komposition wurden über den Data Center Provider des Netzwerkes GEOFON bezogen. Die unterschiedlichen Kanäle der neun verwendeten Stationen mit Messgeräten unterschiedlichster Sampleraten und physikalischen Konfigurationen besitzen einen eindeutig unterscheidbaren Charakter je nach Position der jeweiligen Station auf der Erde.

Code	Location	Latitude	Longitude	Altitude	Streams
APE	Apirathos, Naxos, Greece	37.0689	25.5306	620.0	HH/SH/BH/LH/VH
CSS	Mathiatis, Cyprus	34.9611	33.3310	396.0	HH/BH/LH/VH
					HH/BH/LH/VH
EIL	Eilat, Israel	29.6699	34.9512	210.0	HH/SH/BH/LH/VH
					HH/SH/BH/LH/VH
GSI	Gunungsitoli, Nias, Indonesia	1.3039	97.5755	107.0	HH/SH/BH/LH/VH
					HL/BL/LL
ISP	Isparta, Turkey	37.8433	30.5093	1100.0	BH/LH/VH
					BH/LH/VH
MNAI	Manna, Sumatra, Indonesia	-4.450	102.917	0.0	HH/SH/BH/LH/VH
					HL/BL/LL
PUL	Pulkovo, Russia	59.767	30.317	65.0	HH/BH/LH/VH
					HH/BH/LH/VH
SFJD	Sondre Stromfjord, Greenland	66.9960	-50.6215	80.0	00_BH/LH/VH
					10_HN/LN
SNAI	Sanae, Antarctica	-71.6707	-2.8379	846.0	HH/BH/LH/VH
					HH/BH/LH/VH
					BH/LH/VH

Tabelle 1: Verwendete Stationen und verfügbare streams [3]

Das SEED-Format verwendet drei Buchstaben, um seismische Kanäle zu benennen [11]. Der erste Buchstabe bezeichnet die Samplerate, in welcher die Erdbebendaten aufgenommen sind, der zweite Buchstabe beschreibt die Familie des Sensors und der dritte die physikalische Konfiguration der Teile eines multiplen Achsenmessgerät-Paketes oder anderer Parameter, welche für jedes Messgerät spezifiziert sind.

Die Messgeräte produzieren hochfrequente harmonische Klänge in Bezug auf deren Eigenfrequenz.

4 Anwendung von Effekten auf die Audiowellenform

Das Abspielen der Audiodaten in unterschiedlichen Geschwindigkeiten ermöglicht das Hören von unterschiedlichsten Klängen und die Konzentration auf eindeutig wahrnehmbare Phänomene. Source-Filter Separation [12], Hoch- und Tiefpass- als auch Bandpass-Filter wurden für "underground sounds" verwendet.

4.1 Source Filter Separation

Die Erdresonanz in der cepstralen Domäne ist von langsamer, während das Signal der Erschütterung von schneller Änderung ist. Das vom Messgerät aufgenommene Signal entspricht dem Output-Signal in der Zeit-Domäne, das Signal der Erschütterung dem Quellsignal (source) und die Erdresonanz zwischen dem Hypozentrum und der Erdbebenstation der Impulsantwort. In der Cepstrum-Gleichung wird die Erdresonanz als linear und zeitinvariant angenommen. In G.P. Angeleris Artikel "A statistical approach to the extraction of the seismic propagating wavelets" [13] wird das Modell einer seismischen Spur als Faltung zwischen dem propagierendem wavelet (source) und der reflektierten Abfolge der Erde (Filter) mit zur Spur hinzugefügtem weißen Rauschen konstruiert.

Mit Hilfe eines Matlab-Programmes wurde der schnelle, impulshafte Teil eines Erdbebens von den sich langsam verändernden Bewegungen der Erde getrennt, was die künstlerische Vorstellung und Verwendung jener zwei getrennten Teile als eigenständige "Instrumente" ermöglicht.

5 "underground sounds"

5.1 1_tremor

Hinsichtlich eines jederzeit möglichen, unvorhersehbaren Ereignisses wird die Position und Befindlichkeit des Menschen überdacht. Nur rückblickend ist ersichtlich, ob dem Höhepunkt des Bebens ein weiterer und vielleicht sogar stärkerer Impuls folgt.

Mit Material unterschiedlicher Erdbebenstationen wird der Verlauf eines Erdbebens künstlerisch nachgebildet.

Veränderungen des Audiomaterials beinhalten schnelle und langsame Abspielgeschwindigkeiten, um mit den jeweiligen Geschwindigkeiten unterschiedliche Aspekte des Erdbebenklanges hervorzuheben. Die Hauptrichtung der Klänge bei der Spatialisation des ersten Teiles von "underground sounds" weist - vom Publikum aus gesehen - von hinten bzw. hinten-oben in Richtung Zentrum, um ein Gefühl einer immanenten Gefahr zu vermitteln, wie es auch die Situation eines Erdbebens hervorruft.

5.2 2_trigger

Die Hüllkurve der Aufnahme einer Station ist ausschlaggebend für die Form des zweiten Teils der Komposition, indem sie Zeitfenster öffnet, in welchen man eine andere Klangebene hören kann. Die Hüllkurve selbst ist so charakteristisch, sodass der Hörer immer eine Art erdbebenverwandten Klang assoziiert, auch wenn die zweite Ebene des Klanges von harmonischer oder auch geräuschhafter Natur ist.

Jene zweite Klangebene besteht aus den gefilterten harmonischen Klängen der Messinstrumente, die durch die Anregung der Eigenfrequenz der Seismometer generiert wird. Der Wechsel zu einer anderen Mess-Samplerate beeinflusst diese resonierende Frequenz nicht.

Nachdem die Erde selbst Resonanzkörper ist, kamen Fragen zu einem möglichen Klang von Mondbeben auf. Ein Beispiel von wissenschaftlicher Arbeit auf diesem Gebiet wird in T.F. Sonnemanns Diplomarbeit [14] behandelt, in welcher er Daten von lunaren seismischen Ereignissen evaluiert. Da auch das elektromagnetische Feld der Sonne einen großen Einfluss auf das erdmagnetische Feld besitzt und die Erdbebenaktivität beeinflusst wurden Audio-Files des elektromagnetischen Feldes der Sonne verwendet [15] und Source-Filter Separation - wie zuvor mit der Erde - angewendet. Die langsamen Bewegungen der Sonne wurden wiederum mit der Faltung des impulshaften Anteiles eines Erdbebens verbunden - was aus künstlerischer Sicht als Wiederanregung des elektromagnetischen Feldes der Sonne durch den Impuls eines Erdbebens interpretiert werden kann.

Die Klangverteilung ist ähnlich zu "1_tremor", da sich die Klangquellen immer noch hauptsächlich hinter dem Publikum befinden. Jedoch kommen einzelne Klänge auch von vorne bzw. beinahe von Bodenhöhe, sodass das Publikum ein Gefühl von Umgebensein von Klang entwickeln kann, was die Unvermeidbarkeit der Situation verdeutlichen soll.

5.3 3_wake

Der Aktivität des Erdbebens folgt eine Phase der relativen Ruhe, in welcher die Wellenform scheinbar wieder zu ihrem mäßig bewegten Mittel zurückkehrt. Impulshafte Bebenaktivität und Klänge verschiedener Erdbebenstationen sind klangtragende Komponenten in diesem Abschnitt der Komposition, welche mittels source-filter Separation implementiert wurde. Verschiedene source-filter separierte Audio-Files wurden in linearer Folge (Faltung) hintereinander gestellt, um ein konzentriertes, aus mehreren Erdresonanzen bestehendes Audio-File mit dem Ergebnis einer "Hyper-Erde", in die ein Erdbebenimpuls (source-filter

separiert) gesendet wird, zu beschreiben. Weiters wurden unterschiedliche Abspielgeschwindigkeiten verwendet.

Der Wechsel vom zweiten Teil in den dritten Teil der Komposition beinhaltet einen hörbaren Sprung der Klänge von Bodennähe weg in die Höhe. Die Entfernung des Klanges repräsentiert den Abstand zu einer Situation, welche erst nach dem Ereignis eingenommen werden kann.

5.4 4_vacillation

In drei Teilen werden verschiedene Klangwelten, die allesamt der Phase des Nachbebens entstammen, vorgestellt. Außer Source-Filter Separation wurden unterschiedliche Abspielgeschwindigkeiten verwendet. Dieser Teil schließt den Kreis, der mit "1_tremor" zu Beginn von "underground sounds" begonnen hat: "4_vacillation" eröffnet die Möglichkeit eines neuerlichen, unvorhersehbaren Ereignisses wieder.

6 Schlussfolgerung

Die Beschäftigung mit der Thematik rund um seismische Klänge führte zu der vorliegenden Komposition und der Projektbeschreibung.

Das gesamte Projekt mit der Komposition als Endresultat war - vom künstlerischen Standpunkt aus gesehen - von sowohl technischen als auch künstlerischen Elementen beeinflusst, der Klang selbst wurde immer primär berücksichtigt.

Die wissenschaftliche (jedoch nicht künstlerische) Verwendung ausgewählter Tools kann hinsichtlich des Faktums, dass sich der Erdkörper ständig in Bewegung befindet, in Frage gestellt werden. Im Falle der Verwendung der Source-Filter Separation etwa werden die Bewegungen der Erde als linear verlaufend angenommen und eine tatsächliche Unterscheidung zwischen "normalen" Erdbewegungen und Bewegungen, die zum Erdbebenprozess gehörig sind, kann nicht wirklich getroffen werden. Die künstlerische Adaption des bezogenen Materials ist ihrerseits sozusagen mit einem Augenzwinkern versehen, denn die Verwendung der Source-Filter Separation und die Einbeziehung des Klanges des elektromagnetischen Feldes der Sonne etwa darf in wissenschaftlicher Hinsicht nicht als gänzlich ernsthaft gemeint interpretiert werden.

Bei der Beziehung von Data Blockettes derselben Länge ergaben sich Schwierigkeiten, welche vor allem bei einer Audifikation von Erdbebendaten besonders auffallend sind. Wechselnde Sampleraten der Messgeräte verkomplizieren eine adäquate Umwandlung in Audiodaten.

Kooperationen mit Seismologen würden wertvolle Einblicke und Erkenntnisse hinsichtlich erdbebentechnischer Inhalte ermöglichen, und weiters gleichzeitig die künstlerische Seite des Projektes bereichern und es den Künstlern erlauben, auf weitere Details einzugehen. Sowohl die weitere Exploration von seismischen Klängen als auch die Zusammenführung von unterschiedlichen Daten zu einem einzelnen Ereignis ist von großem Interesse. Ein Beispiel könnte etwa die Kombination von Daten des elektromagnetischen Feldes der Erde mit den entsprechenden Erdbebendaten darstellen, obgleich zu hinterfragen bleibt, ob solch eine große Menge an Daten eine Erdbebenvorhersage oder andere Bereiche wissenschaftlicher Untersuchungen tatsächlich verbessern oder vertiefen würde. Weiters müssen auch die technischen Bedingungen und Möglichkeiten, als auch die Verfügbarkeit des entsprechenden Materials ausreichend berücksichtigt werden.

7 Danksagung

Vielen Dank an: Georg Holzmann, Gerhard Eckel, Johannes Zmölnig, Winfried Ritsch, Markus Noisternig, Thomas Musil, Florian Hollerweger, Robert Höldrich, Alois Sontacchi, Brigitte Bergner.

Literatur

- [1] Dombois, F.
"Using audification in planetary seismology"
Proceedings of the International Conference on Auditory Display, Espoo, Finland, 2001
- [2] Webseite von GEOFON über Network Stations
<http://www.gfz-potsdam.de/geofon/new/netabs/ge.html>
aufgerufen am 2. Feb. 2008

- [3] Webseite von Seismic Network GEOFON
<http://www.gfz-potsdam.de/geofon/>
aufgerufen am 2. Feb. 2008
- [4] Webseite von IRIS über SEED manual
http://www.iris.edu/manuals/SEEDManual_V2.4.pdf
aufgerufen am 2. Feb. 2008
- [5] Webseite von IRIS über SEED manual
http://www.iris.edu/manuals/SEEDManual_V2.4.pdf
Appendix G, Data-Only SEED Volumes (Mini-SEED), S.185-188
aufgerufen am 2. Feb. 2008
- [6] Webseite von IRIS über SeedLink
<http://www.iris.edu/data/dmc-seedlink.htm>
aufgerufen am 2. Feb. 2008
- [7] Webseite von Lithospheric Seismology Program (Department of Geological Sciences University of South Carolina) über seisFile library
<http://www.seis.sc.edu/software/seisFile/>
aufgerufen am 2. Feb. 2008
- [8] Webseite von Lithospheric Seismology Program (Department of Geological Sciences University of South Carolina) über SeedCodec routines
<http://www.seis.sc.edu/software/SeedCodec/>
aufgerufen am 2. Feb. 2008
- [9] Webseite von jMusic
<http://jmusic.ci.qut.edu.au/>
aufgerufen am 2. Feb. 2008
- [10] Webseite von IRIS über SEED manual
http://www.iris.edu/manuals/SEEDManual_V2.4.pdf
Appendix B, Compression Algorithms: Stein1 Compression Scheme, S.131-140
aufgerufen am 2. Feb. 2008
- [11] Webseite von IRIS über SEED manual
http://www.iris.edu/manuals/SEEDManual_V2.4.pdf
Appendix A, Channel Naming, S.123-129
aufgerufen am 2. Feb. 2008
- [12] Zölzer, U.
DAFX - Digital Audio Effects
Kapitel 9.2.3, Cepstrum, S.310-315
John Wiley and Sons, West Sussex England, 2005
- [13] Angeleri, G.P.
"A statistical approach to the extraction of the seismic propagating wavelet"
In *Geophysical Prospecting Volume 31 Issue 5*, S.726-747, 1983.
- [14] Sonnemann, T. F.
"Neue Auswertung der Daten des Apollo Lunar Seismic Program zur Suche nach Tiefbeben auf der erdfernen Seite des Mondes"
Diplomarbeit, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Deutschland, 2005
- [15] Webseite von Royal Astronomy Society über das magnetische Feld der Sonne
http://www.ras.org.uk/index.php?option=com_content&task=view&id=1206&Itemid=2
aufgerufen am 2. Feb. 2008