



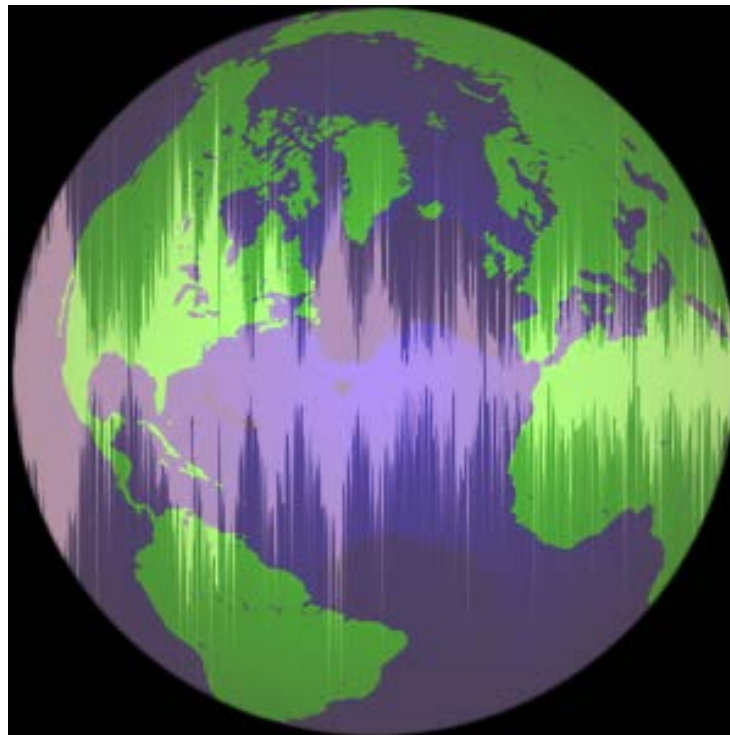
**Universität  
Zürich**<sup>UZH</sup>

Geographisches Institut

## **Effizienzanalyse der akustischen Wahrnehmung einer Parameter Mapping Sonification eines digitalen Höhenmodells durch interaktive Datenexploration**

---

*Masterarbeit über die Verwendung von Sonifikation in der GIScience*



---

Autor: Joram Schito (06-709-240)

Betreuerin: Prof. Dr. Sara I. Fabrikant

Modul: GEO511 – Masterarbeit

Abgabedatum: 31.1.2012



## Inhalt

1	Abstract.....	1
2	Einleitung.....	2
2.1	Wissenschaftliche Motivation.....	2
2.2	Problemstellung.....	3
2.3	Zielsetzung und Forschungszweck.....	4
2.4	Forschungsleitfragen.....	4
2.5	Zielpublikum.....	5
3	Literaturrückblick.....	6
3.1	Semiotik.....	6
3.1.1	Triadische Relation der Semiotik.....	6
3.1.2	Semantik.....	7
3.2	Musiktheoretische Grundlagen.....	10
3.2.1	Terminologie der musikalischen Grundbegriffe.....	10
3.2.2	Grundbegriffe der Akustik.....	11
3.3	Sinneswahrnehmung.....	18
3.3.1	Optische Sinneswahrnehmung.....	19
3.3.2	Akustische Sinneswahrnehmung.....	20
3.4	Sonifikation und Auditory Display.....	25
3.4.1	Die kurze Geschichte der Auditory Displays.....	28
3.4.2	Vorteile und Schwierigkeiten von Auditory Displays.....	31
3.4.3	Einsatzgebiete von Auditory Displays.....	32
3.4.4	Verschiedene Sonifikationsmethoden.....	34
3.5	Sonifikation in der GIScience.....	46
3.5.1	Generelle Einsatzmöglichkeiten in der GIScience.....	47
3.5.2	Forschungen in der GIScience über Sonifikation diskreter Raumdaten.....	50
3.5.3	Forschungen in der GIScience über Sonifikation stetiger Raumdaten.....	52
4	Material und Methode.....	54
4.1	Study Design.....	54
4.1.1	Dimensionen und Verlauf des Study Designs.....	54
4.1.2	Entwicklung von Arbeitshypothesen.....	56
4.1.3	Definition der Variablen.....	62
4.1.4	Operationalisierung der Variablen (generell).....	64
4.2	Probanden.....	66
4.3	Apparate, Materialien und Programme.....	68
4.3.1	Technische Vorüberlegungen.....	68
4.3.2	Verwendete Apparate.....	71
4.3.3	Fragebogen und spezifische Operationalisierung.....	74

4.3.4	Verwendete Programme .....	102
4.4	Durchführung.....	115
4.4.1	Durchführungskonzept.....	115
4.4.2	Pilottest .....	117
5	Resultate.....	120
5.1	Auflistung der in der Analyse verwendeten Variablen .....	120
5.2	Resultate zur Forschungsleitfrage a).....	122
5.2.1	Deskriptive Statistik der einzelnen Tests .....	122
5.2.2	Analyse der absoluten Höherermittlung .....	129
5.2.3	Analyse der Schätzungsgenauigkeit zu den sonifizierten, relativen Werten.....	130
5.2.4	Qualitative Erkennung geographischer Einheiten .....	131
5.3	Resultate zur Forschungsleitfrage b) .....	131
5.3.1	Within-Subject-Test.....	132
5.3.2	Between-Subject-Test .....	137
5.3.3	Finden von Extremwerten .....	139
5.4	Resultate zur Forschungsleitfrage c).....	140
5.5	Resultate zur Forschungsleitfrage d) .....	145
5.5.1	Korrelationsanalyse Pre-Test vs. Main-Test .....	145
5.5.2	Regressionsanalyse.....	147
5.6	Weiterführende Resultate .....	152
5.6.1	Einfluss des Geschlechts auf die Resultate des Main Tests .....	152
5.6.2	Einfluss der Altersgruppe auf die Resultate des Main Tests.....	153
6	Diskussion.....	157
6.1	Technische Hürden .....	157
6.1.1	Programmierungsumgebung .....	157
6.1.2	Stetigkeit der Daten.....	157
6.1.3	Tongenerierungsprinzip.....	158
6.1.4	Akustische Anpassungen .....	158
6.1.5	Eingabemedium .....	159
6.2	Operationalisierung der Variablen und Objektivität der Testmethoden.....	160
6.2.1	Technischer Hintergrund .....	160
6.2.2	Musikalischer Hintergrund .....	160
6.2.3	Geographischer Hintergrund.....	161
6.2.4	Genauigkeit.....	161
6.2.5	Empirisch festgelegte Toleranzwerte und Gewichtungen.....	162
6.3	Menschliche Grenzen .....	162
6.3.1	Einschränkung der Datenexploration durch Top-Down-Suchmuster.....	162
6.3.2	Alterseinfluss beim Verständnis über Sonifikation.....	163
6.3.3	Einfluss des Geschlechts .....	163
6.3.4	Einfluss des Sehvermögens .....	163

6.4	Sonifikation in der GIScience .....	165
6.4.1	Einfluss des Massstabs, des Extents und der Auflösung.....	165
6.4.2	Einblenden zusätzlicher Informationen.....	166
6.4.3	Kritik zu Krygiers Veröffentlichung (Krygier 1994).....	166
6.4.4	Die Suche nach optimalen Sonifikationsmethoden in der GIScience .....	167
7	Schlussfolgerungen .....	169
8	Danksagung.....	170
9	Literatur .....	171
10	Abbildungs- Tabellen- und Formelverzeichnis.....	177
A	Anhang.....	181
A.1	Fragebogen .....	181
A.2	Antworten und Auswertungen des Fragebogens .....	193
A.3	Processing-Codes .....	213
A.3.1	Tablet-Pre-Test (pre_test_tablet_accuracy.pde).....	213
A.3.2	Umwandlungsprogramm von Graustufen in DHM (preliminary_loadImage.pde) .....	217
A.3.3	Programm zum Croppen eines DHM (preliminary_readFile.pde) .....	218
A.3.4	Methode A <sub>1</sub> (jschito_sonificationMethod_a1.pde) .....	221
A.3.5	Methode A <sub>2</sub> (jschito_sonificationMethod_a2.pde) .....	230
A.3.6	Methoden B und C (jschito_sonificationMethod_bc.pde) .....	238
A.4	Wortle des gesamten Texts.....	250
A.5	Eigenständigkeitserklärung.....	251



## 1 Abstract

This work presents three solutions of sonifying continuous geographical data with sound parameters. In detail, *Parameter Mapping Sonification* was chosen to represent the three dimensions of a *Digital Elevation Model* operated through human interaction. By using a mixed factorial design with 61 subjects it was the aim to find out, how precise height and location estimations were, which sound parameters would lead to a best fit and how background knowledge of technics, music and geography would impact the results. Finally, the subject's answers were statistically evaluated to obtain accuracy in interpretation of *Auditory Displays*. Due to intuitive perception, methods which used pitch to represent height values and furthermore simulated an immersive navigation feeling led in general to significant higher accuracies than a parameter setting which used duration for height values and pitch for navigation. Depending on the sonification method, aberrations between the estimated and the sonified height values could be observed between 6% and 19.5%. Methods which displayed height as profile curves between two points could not be interpreted more accurate than through mouseovering whereas background knowledge had a weak effect of maximally 24% on the interpretation skills. The more interactive, intuitive, immersive and informative a specific method was, the more successful it could be interpreted. Thus, *Parameter Mapping Sonification* offered flexible methods to reliably sonify continuous geographical data which don't have to be limited only on elevation models. By involving ideas of the arts existing terms of reference could open new possibilities for scientific, auditory data displays.

## 2 Einleitung

Viele Menschen sind es sich heutzutage gewohnt, geographische Daten mühelos zu lesen und zu interpretieren. Das vielfältige Angebot an Karten und Online-GIS lässt sich in unterschiedlicher Weise nutzen und in unser Leben integrieren. Beispielsweise werden je länger je mehr mobile Navigationssysteme eingesetzt, um an einen bestimmten Ort zu gelangen. Der nächste Urlaub wird häufig durch die Unterstützung eines Geovisualisierungsprogramms geplant, um einen virtuellen Rundflug rund um den Globus zu machen und sich dabei Informationen des Zielorts anzeigen zu lassen. Des Weiteren nutzen viele Firmen und Organisationen GIS als Entscheidungshilfe, wie z. B. bei der Suche nach einem neuen Produktionsstandort, in der Marktforschung bei der Auswertung von Kundenrückläufen auf Werbekampagnen oder bei der Einsatzplanung der lokalen Feuerwehr. Der Mensch nutzt somit GIS und geographische Daten als integrativen Teil des alltäglichen und beruflichen Lebens.

In all den genannten Beispielen werden geographische Daten *betrachtet* – jedoch nicht durch einen anderen Sinn als über das Sehen wahrgenommen. Der Mensch hat deren jedoch fünf, worauf sich unweigerlich die Frage stellt, weshalb gerade beim Erkunden oftmals nur auf die visuelle Wahrnehmung fokussiert wird und die anderen Sinne weitgehend ausgelassen werden. Somit dominiert das sogenannte *Primat des Sehens* nicht nur unser alltägliches Leben, sondern auch die GIScience. Gerade hier versucht diese Arbeit Alternativen im Bereich der *Sonifikation* aufzuzeigen.

Auch wenn eine akustische Wahrnehmung geographischer Daten für viele als futuristisch oder visionär klingen mag, so liegt in soziologischer Hinsicht ein aktueller Trend vor, dem Hören wieder eine höhere Bedeutung zuzusprechen, als dies noch vor hundert Jahren der Fall war (siehe Kapitel 3.3.2 «Akustische Sinneswahrnehmung»). Gerade deshalb wird durch diese Arbeit ernsthaft versucht, für die GIScience Sonifikationsmethoden aufzuzeigen, welche technisch umsetzbar sind und durch den Menschen interpretiert werden können. Die erarbeiteten Methoden sollen einerseits den Sehsinn beim Kartenlesen unterstützen oder gar ersetzen können und andererseits den Menschen Informationen genauer wahrnehmen lassen, als dies über die bloße optische Wahrnehmung möglich ist.

### 2.1 Wissenschaftliche Motivation

Die wissenschaftliche Motivation der Forschungsarbeit liegt darin, die Effizienz der Sonifikation geographischer Daten näher zu untersuchen. Die Sonifikation als Methode der Datendarstel-



lung wurde daher ausgewählt, da sie im Bereich der GIScience erst spärlich vorkommt, wohingegen ihr seitens verschiedener Forscher auch anderer Disziplinen ein hohes Potenzial zugesprochen wird (siehe Kapitel 3.4.1 «Die kurze Geschichte der Auditory Displays» und Kapitel 3.5 «Sonifikation in der GIScience»). Es sollen Methoden erarbeitet und aufgezeigt werden, die dieses Potenzial für die GIScience bestätigen.

Sonifikation in der GIScience kann beispielsweise blinden Menschen eine Methode zur Ortung in einem virtuellen Oberflächenmodell anbieten und für sie eine Möglichkeit darstellen, kontinuierliche Daten über den Hörsinn wahrzunehmen. Sehende Menschen sollen durch Sonifikation räumliche Daten exakter extrahieren können als bloss über den Sehsinn und bei der Datenexploration dadurch zu neuen Erkenntnissen gelangen. Bezüglich dieses Aspekt sei folgende Passage genannt (Brauen 2006, S.63):

«THE POSSIBLE USES OF SOUND IN RELATION TO IMAGE ARE REALLY LIMITED ONLY BY IMAGINATION.»

In Anlehnung an einige Arbeiten mit beschriebenen Zukunftsperspektiven, wie geographische Daten am besten durch Klänge wiedergegeben werden können (Krygier 1994; Théberge 2005; Laakso & Sarjakoski 2010) liegt eine weitere Motivation darin, die angegebenen Vorschläge zu überprüfen, zu diskutieren und im Gegensatz dazu allenfalls effizientere Sonifikationsmethoden vorzuschlagen.

## 2.2 Problemstellung

Aufgrund eines Mangels an Standards und der hohen Flexibilität der einzusetzenden musikalischen Parameter besteht in der Sonifikationsforschung bis heute die Frage nach dem «geeignetsten Mapping» für einen spezifischen Datensatz, wobei eine Antwort darauf nur schwer zu fassen sei (B. N. Walker & Nees 2011, S.386–387). Vor allem im Synthesebereich der spezifischen Sonifikationsmethode *Parameter Mapping Sonification* (siehe Kapitel 3.4.4.4 «Parameter Mapping Sonification») und der GIScience wurden erst wenige Studien über deren Effizienz bezüglich der menschlichen Perzeption durchgeführt.

Dieser Mangel an Studien über Sonifikation in der GIScience spitzt sich hauptsächlich im Forschungsfragen zu, in welchem *stetige* Daten durch *stetige* musikalische Parameter wiedergegeben werden, während bereits einige Studien über diskrete Auditory Displays existieren.

Auch beschränkten sich bisher die meisten Forschungsarbeiten in diesem Themengebiet auf die Darstellung thematischer Karten mit einem reduzierten Informationsgehalt. Was jedoch noch kaum erforscht wurde, ist die Perzeption von Auditory Displays ganzer Landschafts- bzw. Hö-

GEEIGNETE  
MUSIKALISCHE  
PARAMETER

STETIGES  
MAPPING

PERZEPTION  
DHM

henmodelle. Zudem konnte bis anhin nur wenig über die *Genauigkeit* der durch Auditory Displays wahrgenommenen Informationen ausgesagt werden.

### 2.3 Zielsetzung und Forschungszweck

IDEE

Mit einem Programm soll ein Ausschnitt eines DHM sonifiziert und unterschiedliche Codierungsmethoden, mit welchen stetige Raumdaten akustisch dargestellt werden, statistisch evaluiert werden. Dies soll anhand einer Studie mit Probanden unterschiedlicher Hintergründe geschehen (siehe Kapitel 4.1 «Study Design»). Das Ziel ist es dabei, die Genauigkeit der ausschliesslich über den Hörsinn wahrgenommenen Informationen zu messen und herauszufinden, welche musikalischen Parameter und welche Interaktionsmethoden sich besonders für die Wiedergabe stetiger Raumdaten eignen.

ZWECK

Der Zweck der Forschungsarbeit ist es, mittels *Parameter Mapping Sonification* Methoden zu entwickeln, die das Lesen stetiger Geodaten bzw. die Ortung für blinde Menschen überhaupt ermöglicht. Gleichzeitig soll die genannte Methode die optische Wahrnehmung sehender Menschen unterstützen. Durch eine zusätzliche Sinneswahrnehmung und durch die Ausnutzung der perzeptiven Wirkung von Klängen kann *Parameter Mapping Sonification* bei der Datenexploration verborgene Informationen aufdecken und daher zu einem Erkenntnisgewinn führen.

### 2.4 Forschungsleitfragen

Um die im Kapitel 2.3 «Zielsetzung und Forschungszweck» genannte Zielsetzung zu erreichen, wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit versucht, die vier folgenden Forschungsleitfragen zu beantworten, um dadurch einen Teil der im Kapitel 2.2 «Problemstellung» genannten offenen Fragen unter einem hohen Aktualitätsbezug für die GIScience beantworten zu können.

- a) Wie genau können die eingesetzten Methoden interpretiert werden?
- b) Welche musikalischen Parameter eignen sich am besten zur salienten Wiedergabe eines kontinuierlichen Oberflächenmodells?
- c) Ist die Perzeption der interaktiven Höhenermittlung einzelner Punkte genauer als das Abspielen eines Höhenprofils zwischen zwei Punkten?
- d) Nehmen Probanden mit ausgeprägtem räumlichen Vorstellungsvermögen und Hörsinn die sonifizierten Daten genauer wahr als Probanden mit wenig ausgeprägtem räumlichen Vorstellungsvermögen und Hörsinn?

## 2.5 Zielpublikum

### ASPEKT 1: SEHVERMÖGEN

Wie bereits im Kapitel 2.3 «Zielsetzung und Forschungszweck» erwähnt, sollen Sonifikationsmethoden primär unter dem *Aspekt des Sehvermögens* für folgende zwei Gruppen erarbeitet und evaluiert werden:

- BLINDE KARTENLESER
- SEHENDE KARTENLESER

Blinden Kartenlesern soll durch Sonifikation überhaupt eine Möglichkeit angeboten werden, Raumdaten wahrzunehmen, während sehende Kartenleser bei der Datenexploration die Informationswahrnehmung durch die Unterstützung des Hörsinns erweitern können. Gerade dem letzten Punkt wird gemäss den Resultaten rezenter Forschungen im Synthesebereich zwischen Sonifikation und GIScience eine hohe Bedeutung zugesprochen (siehe Kapitel 3.5 «Sonifikation in der GIScience»).

### ASPEKT 2: NUTZUNG

Unter einem generellen *Aspekt der Nutzung* soll sich das Resultat der vorliegenden Arbeit primär an jene Benutzergruppen richten, die im Bereich GIScience oder Sonifikation tätig sind und Raumdaten nutzen. Namentlich sind dies:

- KARTENLESER DIGITALER KARTEN
- MOBILE-GPS-NUTZER
- FORSCHER IM BEREICH DER GISCIENCE
- FORSCHER IM BEREICH DER SONIFIKATION / AUDITORY DISPLAYS

### 3 Literaturreückblick

In diesem Kapitel werden die Grundlagen behandelt, welche für das Verständnis dieser Arbeit von Bedeutung sind. Zu Beginn soll die Beziehung zwischen einem Signal und dessen Bedeutung in der *Semiotik* erklärt werden. Anschliessend folgen Erläuterungen zu musikalischen Grundbegriffen, zur perceptiven Wahrnehmung mit Fokus auf das Hören und zu *Auditory Displays*, ehe abschliessend ein Literaturreückblick die Sachlage über rezente Forschungen über Auditory Displays in der GIScience erklärt.

#### 3.1 Semiotik

Die Aufgabe der Kartografie ist es, nicht die reale Welt, sondern ein vereinfachtes Modell von ihr auf exakte Weise so salient und doch mit einem künstlerischen<sup>1</sup> Aspekt darzustellen. Wie viel von der Realität abgebildet wird, hängt dabei einerseits vom *Abstraktionsgrad* und andererseits vom gewählten *Massstab* und somit vom *Level of Detail (LOD)* ab (Heuten u. a. 2006, S.159). Reale Objekte und Grössen werden durch *Zeichen* abstrahiert, wobei ein primäres Merkmal eines geschickt ausgewählten Zeichens darin besteht, dass es von möglichst vielen Betrachtern als *intuitiv* wahrgenommen (Zhao 2006, S.45; Alencar de Mendonça & Delazari 2011, S.164) und so exakt als möglich interpretiert wird.

Um die Übermittlung einer Bedeutung durch ein Zeichen zu verstehen, wird in den nächsten Unterkapiteln näher in den Bereich der *Semiotik* eingegangen, also in den Bereich, den Cuddon die «Wissenschaft der Zeichen (und Signale)» nannte (Cuddon 1991, S.853).

##### 3.1.1 Triadische Relation der Semiotik

Eine zentrale Frage, um die sich diese Arbeit dreht, besteht in der Informationsvermittlung durch Klänge. Um den Sachverhalt zwischen einer Information und einem Signal zu verstehen, sei folgend das *semiotische Dreieck* erklärt.

Das Modell geht auf Aristoteles zurück und wurde in der gängigen triadischen Form 1931 erstmals von Peirce (Peirce 1931) publiziert und 1938 durch Morris (Morris 1938) ergänzt. Ein Zeichen wird durch folgende drei Aspekte definiert, welche in Relation zueinander stehen (Oswald 2012, S.252):

---

<sup>1</sup> Anmerkung: Auf die Frage nach der Eingliederung der Kartografie zwischen *art* und *science* (u.a. Chrisman 1991, S.232–233; Krygier 1995, S.3; Bláha 2011, S.57) wird nicht weiter eingegangen..

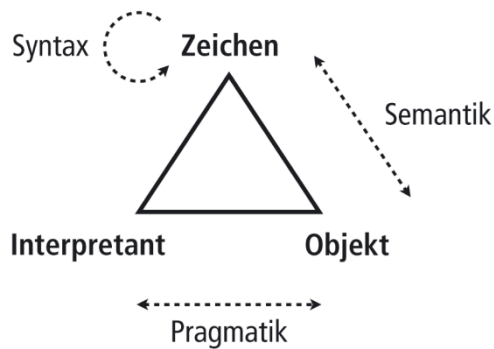


Abbildung 1: Semiotisches Dreieck nach Peirce und Morris (Quelle: (Oswald 2012, S.252)).

- Das *Zeichen* steht für ein Signal als hör- oder sichtbaren Zeichenträger.
- Das *Objekt* bezeichnet die Sache, wofür das Zeichen steht.
- Der *Interpretant* ist die Interpretation oder die Wirkung, die das Zeichen beim Rezipienten erzeugt.

Die einzelnen Aspekte stehen in verschiedenen Relationen zueinander, die wie folgt beschrieben werden (Oswald 2012, S.252):

- Die *Pragmatik* beschreibt die Relation zwischen dem Interpretanten und dem Objekt, was sich in der Bedeutung des Objekts für den Rezipienten äussert.
- Die *Syntax* steht für das Verhältnis der Zeichen untereinander und definiert deren Aufbau und Struktur.
- Die *Semantik* bezeichnet die Relation zwischen dem Zeichen und dem Objekt, worin die Bedeutung des Zeichens dargelegt wird.

Da in der vorliegenden Arbeit hauptsächlich die Beziehung zwischen einem Zeichen und seiner Bedeutung im Vordergrund steht, wird der Fokus in den folgenden Abschnitten auf die *Semantik* gelegt.

### 3.1.2 *Semantik*

Wie bereits erwähnt, regelt die Semantik die Beziehung zwischen dem Zeichen und dem bezeichneten Objekt. Doch ohne einen Betrachter, der dem Zeichen eine Bedeutung zuspricht, und ohne eine objektive Bedeutung des Zeichens existiert keine Relation zwischen dem Zeichen und dem Objekt (Oswald 2012, S.253). Berücksichtigt man diesen Aspekt, so seien drei Prinzipien der Bedeutungsvermittlung genannt, wobei die kursiven Begriffe als spezifizierte Zeichen

innerhalb eines Kontinuums aufzufassen sind (Scaletti & Craig 1991, S.4; B. N. Walker & Nees 2011, S.22–23; Oswald 2012, S.253):

- Ein *Index* zeigt analoge Kausalität zum bezeichneten Objekt.
- Ein *Ikon* ist dem bezeichneten Objekt ähnlich.
- Ein *Symbol* repräsentiert Bestimmungen ein Objekt nach konventionellen.

#### INDEX, IKON UND SYMBOL

##### SEMANTISCHES KONTINUUM

Index, Ikon und Symbol können in ein semantisches Kontinuum eingegliedert werden, welches von *analog* nach *symbolisch* reicht (siehe Abbildung 2). Am analogen Ende des Spektrums steht als Extremwert der *Index*, während sich am entgegengesetzten, symbolischen Ende das *Symbol* befindet. Den gesamten Raum dazwischen nehmen *Ikone* ein, welche eher analoger oder symbolischer Natur sein können.



Abbildung 2: Kontinuum zwischen *analog* und *symbolisch* (eigene Darstellung).

##### INDEX

Ein *Index* verweist direkt auf das bezeichnete Objekt, indem Geräusche des Alltagshörens mit Erfahrungen über physikalische Ereignisse konnotiert werden. Sie sind dadurch intuitiv und schnell verständlich (B. N. Walker & Nees 2011, S.23; Oswald 2012, S.254). Als Beispiel dafür seien während eines Gewitters das Aufleuchten des Himmels (ohne direkte Sichtbarkeit eines Blitzes) und der anschließende Donner genannt, wobei das Aufleuchten als optischer und der Donner als akustischer Index für einen Blitz stehen.

##### IKON

Ein *Ikon* ist seinem bezeichneten Objekt ähnlich und lässt dadurch dessen Betrachter das Gedankenmodell des realen Pendants konstruieren und ihn an dieses erinnern (Oswald 2012, S.255). Eine maximale Ähnlichkeit zum bezeichneten Objekt (= *Ikonozität*) steht für ein Zeichen, welches mit dem Objekt identisch und somit kein Zeichen mehr ist. Ein akustisches Ikon kann durch Nachahmung eines realen Klangs entstehen, was im Kapitel 3.4.4.2 «Auditory Icons» näher beschrieben wird.

##### SYMBOL

Ein Zeichen, welches keine faktische, natürliche oder physikalische Beziehung zum bezeichneten Objekt aufweist und ihm arbiträr zugeordnet ist, wird als *Symbol* bezeichnet (B. N. Walker & Nees 2011, S.23; Oswald 2012, S.255–256). Da es keine Ähnlichkeit zum bezeichneten Objekt besitzt, erlangt es durch das Setzen einer Konvention eine Bedeutung, die im historischen Ver-

lauf oder innerhalb einer Kultur weitergegeben werden kann (Oswald 2012, S.256–257,260). Im Kapitel 3.4.4.3 «Earcons» werden akustische Symbole genauer behandelt.

#### ZUORDNUNG EINES DIGITALEN SIGNALS ZU INDEX, IKON ODER SYMBOL

Zeichen und Signale haben eine metaphorische Wirkung, indem sie auf ein Objekt hinweisen oder es repräsentieren. Während bei der Entstehung der GUIs akustische Ikonen als Repräsentanten für virtuelle Prozesse eingesetzt wurden, um den Nutzern bei deren Verständnis zu helfen, wurden die Metaphern mit der Zeit verinnerlicht und als Indices aufgefasst, obwohl Klänge «in digitalen Interfaces nicht kausal entstehen» (Oswald 2012, S.254). Je nach Erfahrung und Wahrnehmung des Nutzers kann daher z. B. das Entleeren des virtuellen Papierkorbs als Index (Hinweis auf virtuellen Entleerungsvorgang), Ikon (Ähnlichkeit zu realem Entleeren) oder Symbol (durch Programmiercode ausgelöst) verstanden werden (Oswald 2012, S.262–263).

Wird – wie in der vorliegenden Arbeit – von einer Verinnerlichung akustischer Zeichen innerhalb digitaler Interfaces ausgegangen, gilt folgende Systematik, wobei die einzelnen Sonifikationsmethoden im Kapitel 3.4.4 «Verschiedene Sonifikationsmethoden» nachzulesen sind (Oswald 2012, S.263–264):

	Index	Ikon (hohe Ikonozität)	Ikon (geringe Ikonozität)	Symbol
<b>Auditives Zeichen</b>	Parametrisierte Geräusche	Imitierte Geräusche	Musikalische Motive	Einzelne Töne
<b>Entsprechende Sonifikationsmethode</b>	Parametric Auditory Icons	Auditory Icons	Compound, Transformational oder Hierarchische Earcons	Earcons

**Tabelle 1: Semiotikbasierte Systematik der auditiven Zeichen in digitalen Interfaces (Nach: Oswald 2012, S.264; ergänzt durch Joram Schito).**

- *Parametrisierte Geräusche* sind Ikonen, welche aufgrund von Erfahrung mit der Zeit als Indices wahrgenommen werden.
- *Imitierte Geräusche* können abhängig vom Grad der Gewohnheit und der Ausprägung des Zeichens sowohl als Index als auch als Ikon wahrgenommen werden.
- *Musikalische Motive* können durch musikalische Parameter Bedeutungen repräsentieren und emotionale Assoziationen hervorrufen. Sie besitzen deshalb sowohl ikonischen als auch symbolischen Charakter.
- *Einzelne Töne*, deren musikalischen Parameter nicht mit dem Objekt in Verbindung stehen, sind ausschliesslich Symbole.

## 3.2 Musiktheoretische Grundlagen

### 3.2.1 Terminologie der musikalischen Grundbegriffe

TON

KLANG

Der Begriff «Ton» oder «Klang» wurde bereits im antiken Griechenland differenziert betrachtet und bis zur Zeit Aristoxenos' in drei Begriffen abgegrenzt. Durch spätere Übersetzungen ins Lateinische und anschliessend in moderne Sprachen haben sich jedoch die ursprünglichen Begriffe verschoben, was beim Betrachten der Abbildung 3 ersichtlich wird. Als Resultat existiert heute in der deutschen Sprache mit dem Begriff «Ton» *ein* Definiens, welches *zwei* unterschiedliche Definiendi abbilden soll.

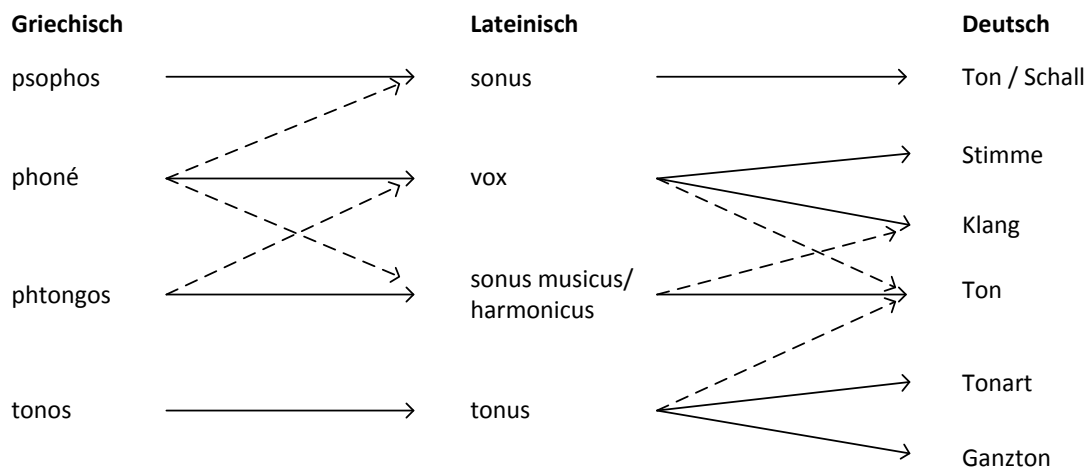


Abbildung 3: Verschiebung musikalischer Termini (eigene Darstellung, nach (Riethmüller & Zamminer 1989, S.271)).

Aufgrund dieses Dilemmas entschied sich der Autor für die Anwendung folgender Regeln:

- Definition:** Ist nichts anderes angegeben, so bezieht sich die Grundeinheit der Musik, *der musikalische Ton*, auf das altgriechische Äquivalent *phongos* (Riethmüller & Zamminer 1989, S.270).
- Definition:** Der Begriff *Klang* deckt ebenfalls das altgriechische Äquivalent *phongos* ab, jedoch nicht unter einem musisch-künstlerischen, sondern einem physikalisch-technischen Aspekt.
- Definition:** Wird der Begriff *Schall* verwendet, so bezieht er sich auf *psophos* (Riethmüller & Zamminer 1989, S.270) und ist hauptsächlich unter einem physikalischen Aspekt zu verstehen.



### 3.2.2 Grundbegriffe der Akustik

Bereits Aristoteles hielt fest, dass Töne durch «bewegte Luft» entstehen (Seidl 1995, S.105). Tatsächlich handelt es sich dabei um Druckunterschiede, welche von einer Schallquelle ausgehen, den atmosphärischen Luftdruck überlagern und über Luftmoleküle kugelförmig weitergegeben werden. Schall wird in Gasen und Flüssigkeiten als *Longitudinalwelle* und in festen Körpern auch als *Transversalwelle* weitergeleitet. Die *Schallgeschwindigkeit* in der Luft beträgt hierbei ungefähr  $v_{Schall} = 340 [m \cdot s^{-1}]$  (Goldstein 2002, S.375).

Eine Welle wird in der Physik durch die Variablen *Amplitude*, *Frequenz* und *Phase* definiert. Überlagern sich mehrere Wellen, so werden alle Teilwellen durch *Fouriersynthese* zu einer einzigen Kurve aufsummiert oder umgekehrt durch *Fourieranalyse* wieder in die einzelnen Teilwellen separiert (Campenhausen 1993, S.64; Goldstein 2002, S.377). In der Praxis können die Amplitude als auch die Frequenz direkt eingesetzt werden, wohingegen sich die abstrakte Phase in der *Dauer* und der *Klangfarbe* äussert. Demnach gelten für die vorliegende Arbeit folgende vier *akustische Grundparameter*, welche in den nächsten Unterkapiteln näher behandelt und deren drei in der Abbildung 4 visuell dargestellt werden:

- AMPLITUDE
- FREQUENZ
- DAUER
- KLANGFARBE

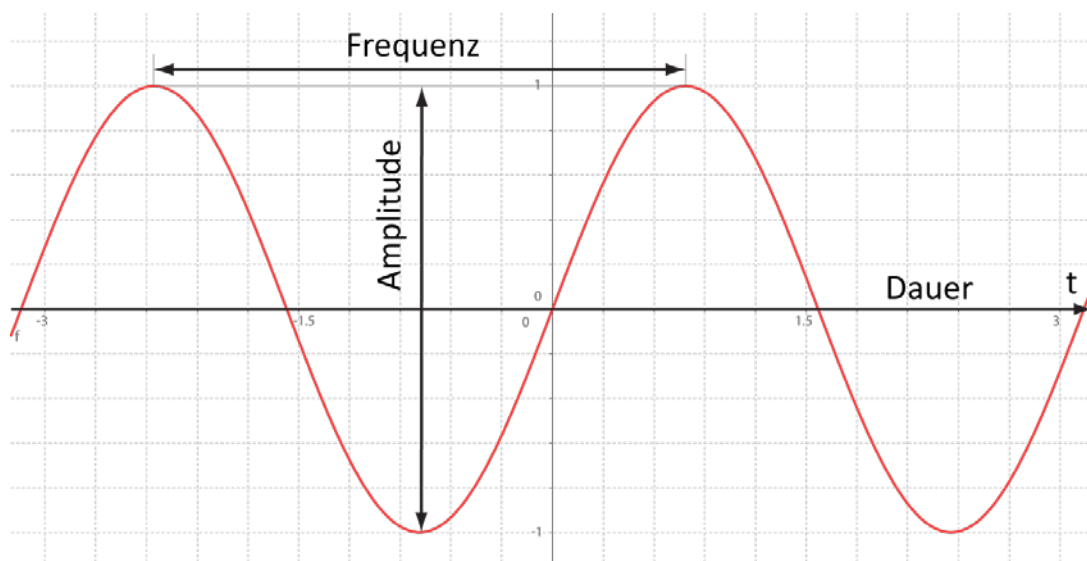


Abbildung 4: Amplitude, Frequenz und Dauer einer Sinuswelle schematisch dargestellt (eigene Abbildung).

### 3.2.2.1 Amplitude

#### AMPLITUDE

Die *Amplitude* ist das physikalische Mass für die Auslenkung einer Schwingung. Sie gibt an, wie laut ein Ton erklingt. Dabei muss zwischen physikalisch messbaren und subjektiv wahrgenommenen Amplituden unterschieden werden. Die folgenden Unterabschnitte haben das Ziel, die dazu verwendeten Begriffe zu definieren.

#### SCHALLDRUCK- PEGEL [dB]

Da die Angabe von Luftdruckänderungen für die Spannbreite, die der Mensch wahrnehmen kann, sehr hoch ausfallen würde, verwendet man in der Akustik den logarithmischen *Schalldruckpegel* (Goldstein 2002, S.376). Die Luftdruckänderung  $\langle \frac{p}{p_0} \rangle$  nimmt als Bezugsschalldruck den Wert  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} [Nm^{-2}]$  an. Der Schalldruckpegel wird in *Dezibel* [dB] angegeben, wobei sich der Minimalwert 0 [dB] die menschliche Hörschwelle bei der Frequenz  $f = 2 [kHz]$  bezieht. Die Definition des Schalldruckpegels lautet folgendermassen (Campenhausen 1993, S.65):

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \frac{p}{p_0} [dB]$$

Der Schalldruckpegel ist einerseits von der Distanz  $r [m]$  zur Schallquelle abhängig, wobei dessen Faktor  $k = \frac{1}{r^2} [m^{-2}]$  beträgt. Andererseits sind die Schallleitungsverluste bei hohen Frequenzen höher als bei tiefen, wonach die Schallenergie abnimmt, wenn die Frequenz oder der Abstand zur Tonquelle steigt (Campenhausen 1993, S.61).

#### LAUTSTÄRKE

#### [PHON]

Werden Töne unterschiedlicher Frequenzen mit dem gleichen Schalldruck wiedergegeben, ändert sich deren empfundene Lautstärke je nach Frequenz. Dabei sind die menschlichen Ohren im mittleren Bereich sensitiver als im tiefen oder hohen Frequenzspektrum. Die Lautstärke ist demnach ein subjektiv empfundenes Mass. Dabei entspricht die Lautstärkeskala in [phon] bei 1 [kHz] der Dezibelskala (orange Linie Abbildung 5) und verbindet Schalldruckpegel gleicher Hörempfindung über *Isophone* (schwarze Linie Abbildung 5), wobei 10 [phon] die Lautstärke verdoppeln bzw. halbieren. Das Lautheitsspektrum des Menschen liegt zwischen der Hörschwelle bei 3 [phon] und der Schmerzgrenze bei ca. 120 [phon] (Goldstein 2002, S.383; Genuit 2010, S.40). Die Bestimmung der Isophone erfolgte seit 1933 in mehreren Studien, woraus sich 1985 die ISO-Norm *ISO 226* ergab, die 2003 letztmals revidiert wurde (Genuit 2010, S.41).

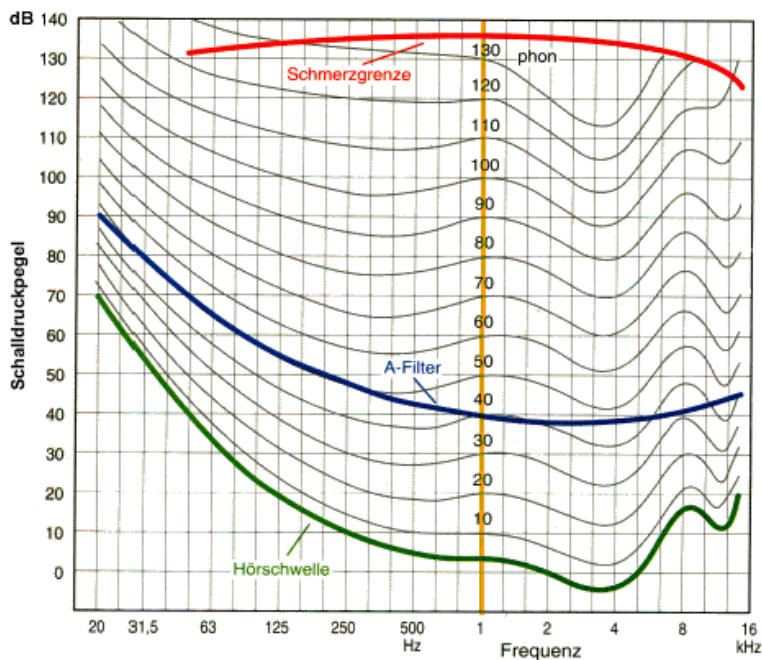


Abbildung 5: Phon-Kurven in Abhängigkeit des Schalldruckpegels und der Frequenz (Quelle: laermorama.ch; Zugriff: 10.1.2012).

#### LAUTHEIT

Die Lautheit ist eine umgerechnete Grösse der Lautstärkenskala in [*phon*], welche in [*sone*] angegeben wird und eine einfachere Vergleichbarkeit erlaubt. Eine Lautheit mit 2 [*sone*] ist doppelt so laut wie mit 1 [*sone*] und analog mit 10 [*sone*] doppelt so laut wie mit 5 [*sone*]. Als Referenzpunkt wurden 40 [*phon*] gewählt, welche einem [*sone*] entsprechen (Goldstein 2002, S.384).

[SONE]

#### A-BEWERTUNG

Mit sogenannten *Bewertungen* wird auf technische Weise versucht, den physikalischen Schalldruck an die Hörempfindung des Menschen anzupassen. Der populärste Bewertungsfilter, «A-Bewertungsfilter» oder «A-Filter» genannt, verbindet ausgehend von 40 [*phon*] bei 1 [*kHz*] Schalldruckpegel ähnlicher Hörempfindung miteinander (blaue Linie Abbildung 5) und berechnet sich gemäss der DIN-Norm *DIN EN 61672* (Genuit 2010, S.36). Die Korrektur, die angebracht werden muss, um Töne unterschiedlicher Frequenzen ähnlich laut erklingen zu lassen, entspricht dem Inversen der A-bewerteten Isophonenkurve (Goldstein 2002, S.377). Die mit dieser genormten Korrektur behaftete Lautstärke wird als *A-bewertetes Dezibel* [*dB(A)*] angegeben.

[dB(A)]

#### Fazit:

Während der Schalldruck physikalisch messbar ist, folgen die Lautstärke und die Lautheit der subjektiven Wahrnehmung des Menschen, da das Gehör nicht in allen Frequenzbereichen gleich sensitiv ist.

### 3.2.2.2 Frequenz

EINFLUSS AUF  
TONHÖHE

Die *Tonhöhe* ist direkt abhängig von der Frequenz, welche durch die Anzahl an Kompressions- und Dilatationsvorgängen einer Schallwelle dividiert durch eine Sekunde [s] definiert ist. Die Frequenz  $f$  wird in *Hertz* [Hz] oder *Kilohertz* [kHz] angegeben und bildet den Kehrwert der *Schwingungsperiode*  $T$ :

$$f \text{ [Hz]} = \frac{1}{T \text{ [s]}} \therefore \text{[Hz]} = \text{[s}^{-1}\text{]}$$

KNACKLAUTE

Im Gegensatz zur *Schwingung*, die durch das Anschlagen einer Saite entsteht, kann ein Ton auch durch das Aneinanderreihen von *Knacklauten* erfolgen. Die Tonhöhe, die dabei entsteht, ist abhängig von der Frequenz, in welcher die Knacklaute abgespielt werden (Houtsma 1995, S.283).

EIGENMETRIK

Die Frequenz kann jedoch auch über den *Schalldruck* geändert werden, wobei ein Ton einer bestimmten Frequenz an Schwingungen zunimmt, wenn sich der Schalldruck erhöht. Dieses Phänomen wird als *Eigenmetrik* bezeichnet.

DOPPLEREFFEKT

Wie bereits erwähnt, beträgt die Schallgeschwindigkeit  $v_{\text{Schall}} = 340 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$ . Bewegt sich zusätzlich dazu die Schallquelle in die Richtung des Rezipienten, verringert sich die Zeit, indem eine neue Schwingungsamplitude das Ohr erreicht – demnach erhöht sich die Frequenz und somit die Tonhöhe. Bewegt sich die Schallquelle vom Rezipienten weg, so verringert sich die Frequenz entsprechend. Dieser Effekt wird als *Dopplereffekt* bezeichnet.

**Fazit:** Die Frequenz bestimmt die Tonhöhe und kann durch die Eigenmetrik oder den Dopplereffekt beeinflusst werden.

### 3.2.2.3 Dauer

DAUER

Durch die Änderung verschiedener Zustände beinhaltet die Phase einer Welle unter anderem die Dimension *Zeit* und somit den akustischen Parameter *Dauer* in sich. Eine bestimmte Tondauer bedeutet nach dieser abstrakten Betrachtung eine Aneinanderreihung von Phasen einer jeweils infinitesimal kleinen Zeitdauer, die einer bestimmten Kurve folgen und die zeitlich aufsummiert die gewünschte Dauer ergeben. Die Dauer als akustische Einheit beeinflusst musikalische Parameter wie den *Rhythmus*, das *Tempo* und – gekoppelt mit der Lautstärke – die *Metrik* und die *Agogik*.

Die Dauer, mit welcher ein Schall erklingt, wird nicht nur durch die materiellen Gegebenheiten des Instruments oder der Anspieldynamik, sondern auch durch raumakustische Einflussgrößen definiert (Frießecke 2007, S.59), auf welche jedoch nicht weiter eingegangen wird. Die Dauer, welche durch die Klangfarbe beeinflusst wird, wird im Kapitel 3.2.2.4 «Klangfarbe» genauer erläutert.

*Stille* würde gemäss obiger Ausführung mehreren aneinandergereihten Phasen des Werts null gleichkommen. Wie lange ein Schall klingt, hängt davon ab, nach welcher Zeit eine wahrnehmbare Stille<sup>2</sup> eintritt (wobei Raumeffekte ausgelassen werden). Somit kann durch das regelmässige Wechselspiel zwischen Stille und Schall ein *Tempo* erzeugt werden, welches schliesslich durch die Ausprägung der Phase zu einer bestimmten Zeit geäussert wird.

Die Dauer bestimmt auch, mit welcher Genauigkeit sich die Frequenzen eines Schalls erkennen lassen. Je länger ein Schall – in einem Bereich von 5–200 Millisekunden – wahrgenommen wird, desto präziser lässt sich seine Frequenz einem bestimmten Wert zuordnen (Houtsma 1995, S.273–274).

**Fazit:** Die Dauer eines Tones wird durch die Anspieldynamik (bzw. die Einstellung), das Instrument (bzw. den Lautsprecher) und durch raumakustische Einflüsse definiert und äussert sich als Zeit, in welcher ein Schall zwischen zwei Phasen der Stille oder umgekehrt wahrgenommen wird.

### 3.2.2.4 Klangfarbe

Die Klangfarbe widerspiegelt sich als komplexes Gebilde verschiedener Faktoren, welche – wie die Dauer auch – auf Eigenschaften der Phase zurückzuführen sind. Dabei kann eine Welle in ihrer Form oder in ihrem zeitlichen Verlauf so verändert werden, dass eine individuelle Klangcharakteristik entsteht.

Eine naheliegende Methode, den Verlauf einer Welle zu ändern ist ein Eingriff in deren Form. Die bekannteste und im Falle der Akustik typische Wellenform stellt die *Sinuswelle* dar. Ebenso ist es möglich, nebst der Sinuswelle (engl.: *sine*) auch *Rechtecks-* (engl.: *square*), *Dreiecks-* (engl.: *triangle*) oder *Impulswellen* (engl.: *sawtooth*) einzusetzen (Frießecke 2007, S.207), wel-

<sup>2</sup> Anmerkung: Die Fasern des Hörnervs nehmen bis 5 000 Impulse pro Sekunde wahr, während die Nerven jedoch nur 1 000 Impulse pro Sekunde weiterleiten und der *auditorische Cortex* nur 500 Signale pro Sekunde verarbeitet (Goldstein 2002, S.404–407), womit sich der Begriff «wahrnehmbare Stille» auf mehr als 2 Millisekunden beziehen muss.

che den Klangcharakter massgeblich prägen. Die genannten Formen sind der Abbildung 6 zu entnehmen.

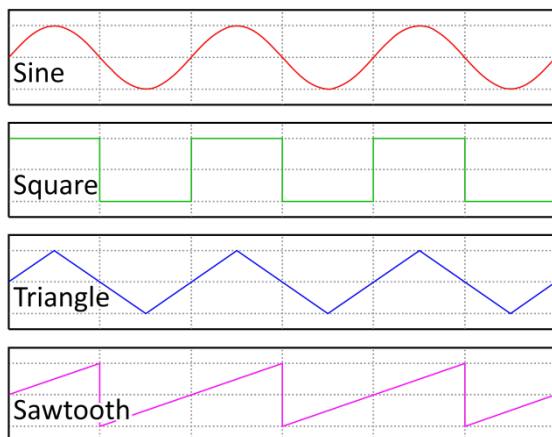


Abbildung 6: In der Akustik eingesetzte Wellenformen (Quelle: wikipedia.org; editiert durch Joram Schito; Zugriff: 28.12.2011).

#### HÜLLKURVE

Ebenso ergibt die zeitliche Abfolge der Phase eine *Hüllkurve* (engl.: *envelope*), welche sich im Verlauf der Klangfarbe äussert (Genuit 2010, S.61–62). Diese Hüllkurve umfasst die Parameter *Attack*, *Decay*, *Sustain* und *Release*, welche den zeitlichen Verlauf der Phase – eingeteilt in vier Zeitabschnitte – steuern (Russ 2009, S.120–122), welche in der Abbildung 7 ersichtlich sind.

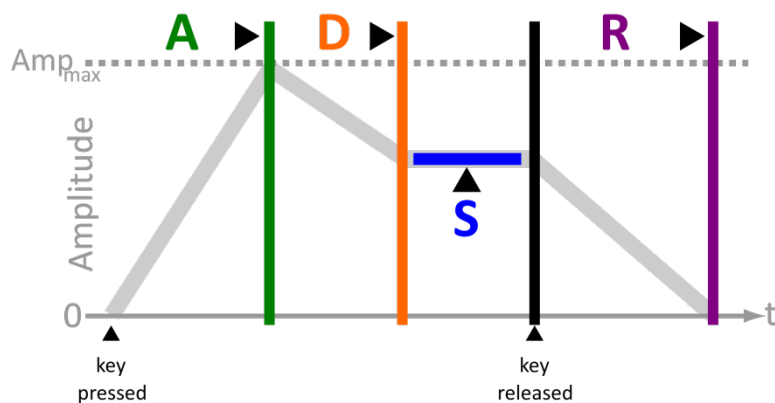


Abbildung 7: Hüllkurvenparameter im zeitlichen Ablauf (Quelle: wikipedia.org; editiert durch Joram Schito; Zugriff: 28.12.2011).

Der *Attack* definiert die Dauer ab Beginn des Klangs bis zu seinem Amplitudenmaximum, während der *Decay* die Zeit umfasst, welche vom Verlauf des Amplitudenmaximum bis zur beständigen *Sustain*-Ebene vergeht. Danach wird während des *Sustains* die Amplitude gehalten, bevor der *Release* die Zeit des Rückgangs vom Ende des *Sustains* bis zur Stille beschreibt, (Russ 2009, S.121–122).

Klangfarben vermögen mit ihrem beschreibenden Charakter häufig eine Stimme oder ein Instrument anhand einer spezifischen Klangcharakteristik zu orten. Sie entstehen durch Wellenüberlagerungen, wenn sogenannte *Oberwellen* oder *Obertöne* über ihren Grundtönen erklingen. Diese lassen sich aus dem Schwingen einer Saite durch *Flageolles* erzeugen und betragen jeweils ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz. Daraus entsteht eine *Obertonreihe*, welche einem spezifischen tonalen Muster folgt und in der Abbildung 8 festgehalten ist (Wolf 1985, S.36; Amon 2005, S.209–210). Das erzeugte Tongemisch wird dabei als *Klangspektrum* bezeichnet und unterscheidet sich in einer speziellen Klangcharakteristik, die durch die erzeugten Obertöne bestimmt wird (Amon 2005, S.209).

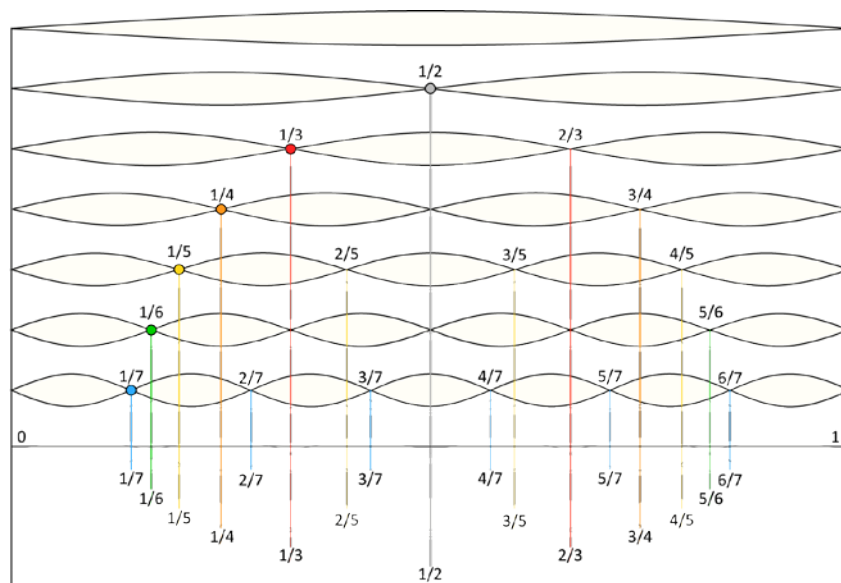


Abbildung 8: Obertonreihe und Einteilung in harmonische Schwingungen einer Grundfrequenz (wikipedia.org; editiert durch Joram Schito; Zugriff: 18.12.2011).

Aufgrund der Analyse der Schwingungsverhältnisse der Obertöne wurde im antiken Griechenland des 4. Jh. v.Chr. durch *Aristoxenos* eine Musiktheorie geschaffen, deren Harmonik Bezug auf die Seele des Menschen nahm (Zaminer 2006, S.54; Leman u. a. 2008, S.16–17). Durch das Bestreben, möglichst ganzzahlige Verhältnisse zwischen Grund- und Obertönen und damit einen *harmonischen* Klang zu bilden, steht die Psychophysik am Anfang jeder Harmonielehre (Campenhausen 1993, S.63).

**Fazit:** Die Klangfarbe bildet sich aus der Klangcharakteristik der Obertöne zu ihrer Grundfrequenz, welche durch das natürliche Mitschwingen einer Saite oder Membran erzeugt werden. Sie definiert das Schallspektrum und ist abhängig vom Instrument, von der Aufnahme- und der Spieltechnik.

### 3.3 Sinneswahrnehmung

Bereits im 4. Jh. v.Chr. hat der Philosoph *Aristoteles* die menschliche Perzeption auf unterschiedliche Sinneswahrnehmungen untersucht und seine Resultate und Gedanken in seinen Schriften «De Anima» (dt.: «Über die Seele») festgehalten (Seidl 1995). Sein *System der fünf Sinne*, deren Einteilung bis heute noch Gültigkeit hat, wird von verschiedenen Autoren über Wahrnehmungspsychologie oder Psychophysik übernommen (Blake & Sekuler 2005; Goldstein 2002) und als grundlegend betrachtet (Campenhausen 1993, S.4). Aristoteles gliederte die fünf Sinne entsprechend den subjektiven Sinneserfahrungen und den damals bekannten Sinnesorganen in folgende fünf Bereiche (mit den entsprechenden Sinnesorganen):

- SEHEN (AUGEN)
- HÖREN (OHREN)
- RIECHEN (NASE)
- SCHMECKEN (ZUNGE)
- FÜHLEN (HAUT)

Dabei sind die Sinne nicht voneinander entkoppelt, sondern bilden ein Zusammenspiel zwischen den Reizen, die von den Sinnesorganen aufgenommen, als Nervenimpulse weitergeleitet und im Gehirn zusammengesetzt werden (Campenhausen 1993, S.4). Der Mensch setzt sich somit eine Momentaufnahme der Welt zusammen, wie er sie von seinem subjektiven Empfinden augenblicklich über seine Sinnesorgane wahrnimmt. Dabei verarbeitet das erkennende und wiedererkennende Bewusstsein im Lehr- und Lernprozess alle empfangenen Sinneseindrücke mit (Baumann 1993, S.128). Die *Wahrnehmung* – auf die der Mensch kognitiv eingreifen kann – soll letztlich dem Menschen dabei helfen, «sich über die Eigenschaften der Umwelt zu informieren» und «in der Umwelt angemessen agieren zu können» (Goldstein 2002, S.3).

Aus heutiger Sicht greift Aristoteles' *System der fünf Sinne* zu wenig weit, da die fünf klassischen Sinne noch weiter differenziert werden können (Goldstein 2002, S.3). Während das Fühlen in Tasten, Schmerzempfinden und Temperatursinn aufgeteilt werden kann, ist über das Gehör auch möglich, Schallquellen zu orten oder eine Aussage über deren Materialeigenschaften zu tätigen<sup>3</sup>. Anthroposophische Ansätze (Schneider 1995) ergänzen das aristotelische System um weitere Sinnesbereiche, wobei teilweise auch auf Erkenntnisse der modernen Psychophysik zurückgegriffen wird.

---

<sup>3</sup> Für eine komplette Auflistung und eine vertiefte Behandlung wird auf Arbeiten im Bereich der Wahrnehmungspsychologie bzw. Psychophysik von Campenhausen (Campenhausen 1993), Goldstein (Goldstein 2002) und Blake und Sekuler (Blake & Sekuler 2005) verwiesen.



Doch welches ist der wichtigste menschliche Sinn? – Geht man vom aristotelischen *System der fünf Sinne* aus, tendiert der Mensch dazu, seine Sinne gemäss seinen Präferenzen und gemäss seiner biologischen Empfindungsintensität nach deren Wichtigkeit zu kategorisieren. Sehen, Fühlen und Hören bieten den Vorteil, eine mehrschichtige Information in kurzer Zeit wahrzunehmen, während sich das Riechen und das Schmecken im Laufe der Evolution beim Menschen zurückgebildet haben, was auch Aristoteles bemerkt hatte (Seidl 1995, S.41):

«DENN NUR UNGENÜGEND RIECHT DER MENSCH [...] WEIL EBEN DAS SINNESWERKZEUG NICHT SCHARF IST.»

Da in der GIScience dem Sehsinn eine hohe Bedeutung zugesprochen wird, wird der Fokus im nächsten Unterkapitel auf das *Primat des Sehens* gerichtet, bevor in einem weiteren Unterkapitel der Hörsinn behandelt wird. Der Tastsinn stellt in der vorliegenden Arbeit zwar ein passiver Bestandteil des Experiments dar, wird jedoch nicht näher behandelt.

### 3.3.1 Optische Sinneswahrnehmung

Obwohl die griechische Kultur durch *Pythagoras* anfänglich vom Hören bestimmt wurde, löste das Sehen ab dem 4. Jh. v.Chr. das Hören als wichtigste Sinneswahrnehmung ab. Heraklits Meinung, dass «die Augen die genaueren Zeugen als die Ohren» seien (Eggenschwiler 2011, S.5) ging dabei zur Zeit Platons einher mit der Ausbreitung der Literarität durch die Schrift (Wulf 1997, S.461). Bis heute besteht weitgehend die Auffassung, dass der Mensch primär durch das Sehen geprägt ist, was man auch *Primat des Sehens* oder *Visualprimat* bezeichnet (Trabant 1993, S.64; Krygier 1994, S.150; Wulf 1997, S.461; Crampton 2002, S.88; Schiemann 2004, S.1; Brauen 2006, S.60; Eggenschwiler 2007, S.1).

Die unmittelbare Erkennung potentieller Gefahren durch Lichtübertragung, das Stereosehen durch die Ausrichtung der Augen nach vorne, die Akkommodation und das Farbsehen waren vermutlich Merkmale des Visualprimats, welche für die Evolution des Menschen vorteilhaft gewesen waren (Campenhausen 1993, S.199; Schiemann 2004, S.1). In soziologischer Hinsicht offenbart der Austausch von Blicken durch die Mimik zwischenmenschliche Beziehungen, was als Bestandteil der nonverbalen Kommunikation aufgefasst werden kann (Schulz von Thun 1981). Die hohe Bedeutung des Sehens kann auch als Relikt der positivistisch geprägten Aufklärung aufgefasst werden, bei welcher die Ratio direkt an den Sehsinn geknüpft wurde. Instinkt und Erkenntnisse aufgrund nichtbeobachtbarer Ereignisse wurden dabei vehement verleugnet (Schiemann 2004, S.1).

Sehen ist ein aktiver Vorgang, der Aufmerksamkeit erfordert. Durch die hohe Dichte an Lichtrezeptoren in der Sichtgrube (*Fovea centralis*) wird der zentrale Sichtbereich im Gegensatz zur Peripherie sehr scharf wahrgenommen (Campenhausen 1993, S.131; Goldstein 2002, S.65). Somit werden unnötige Informationsverarbeitungen minimiert, was bei einer *Top-Down-Suche* nach bekannten Mustern hilfreich sein kann. Eine erhöhte Abstraktionsfähigkeit erfordert das Zuordnen von *Symbolen* oder *Ikonen* (siehe Kapitel 3.1 «Semiotik») an Objekte, Prozesse oder Systeme, da eine Metapher erkannt und interpretiert werden muss.

### 3.3.2 Akustische Sinneswahrnehmung

ENTWICKLUNG  
DER HÖRKUL-  
TUR

Seit in der griechischen Antike das Sehen das Primat über das Hören erlangt hat, konzentrierte sich der Mensch über Jahrhunderte stark auf das Sehen. Mitte des 19. Jh. rückte die Bedeutung des Hörens mit einigen Erfindungen vor, bei welchen es primär darum ging, den Sender über weite Distanzen nicht mehr sehen zu müssen, um ihn zu hören. Die Verschärfung des Hörsinns begann zwischen 1860 und dem ersten Weltkrieg mit dem Telefon und dem Lautsprecher (Schwartz 2003, S.491). Der Hörsinn wurde überlebenswichtig, wollte man nicht von der U-Bahn erfasst oder von einem Artilleriegeschoss getroffen werden.

MUSIKAUF-  
ZEICHNUNG

Musik wurde 1877 erstmals <sup>4</sup> seit der Erfindung des Grammophons bzw. des Paléophons (Humbley 1994, S.702) aufgezeichnet, worauf 1887 die Weiterentwicklung zum massentauglichen Grammophon folgte. Was nach dem ersten Weltkrieg folgte, war nebst der Etablierung des Radios in den 1920er-Jahren ein «Zeitalter des Lärms» (Schwartz 2003, S.491), welches bis heute anhält. Dabei dominierten Industrielärm, Alarme, Verkehrslärm und alltäglicher Lärm wie der von Waschmaschinen, Staubsaugern oder Schreibmaschinen das Leben der Menschen. Durch die Digitalisierung der Musik wurde es möglich, Musik überallhin mitzunehmen, was seinen bisherigen Höhepunkt in der heutigen «iPod Culture» gefunden hat (Bull 2007, S.91). Somit gelang es im Laufe der Zeit, das Hören immer mehr vom Sehen zu entkoppeln.

HÖREN ALS  
KONSTANZEIS-  
TUNG

Im Gegensatz zum Sehsinn muss der Organismus eine *Konstanzleistung* erbringen, die ihm das Hören zu jedem Zeitpunkt ermöglicht (Campenhausen 1993, S.79). Die Ohren hören immer, während die Augen aktiv geschlossen werden können (Baumann 1993, S.126; Wulf 1997, S.461). Um diesen Sachverhalt zu verdeutlichen, zitieren Horkheimer und Adorno (Horkheimer & Adorno 2002, S.26–27) eine Stelle von Homers *Odysee*, in welchen die Sirenen mit ihren

---

<sup>4</sup> Anmerkung: Bereits seit dem Mittelalter existieren Musikautomaten, welche durch mechanische Bauweisen in der Lage waren, Musik abzuspielen, ohne dass dabei ein Mensch musizieren musste (Sauer 2006, S.7). Unter dem Begriff «Musikaufzeichnung» ist somit nicht das vorbereitete, sondern das *unmittelbare* Aufzeichnen von Klängen gemeint.

Gesängen die Seefahrer anlockten, um sie danach zu töten. Um der Verlockung zu widerstehen, verschloss der Sagenheld Odysseus sich und seiner Mannschaft die Ohren mit Wachs und beorderte sie, mit aller Kraft weiter zu rudern. Mit dem Trick, die Sirenen durch das Ausschalten ihrer Sinneswahrnehmung zu überlisten, gelang ihnen schliesslich die Flucht.

Die Dominanz des Sehsinns hatte in der Vergangenheit laut Berendt (Berendt 1985, S.32) zur Folge, dass sich die Vorstellungskraft des Menschen limitierte. Bull und Back sprechen gar von einem «Stillwerden der Welt, als das Sehen das Hören ersetzte» (Bull & Back 2003a, S.3). Diese Fokussierung auf den Sehsinn könne nur aufgehoben werden, indem menschliche Erfahrungen fortan über eine «Demokratie der Sinne» erlangt werden, indem eine ausgewogene Wahrnehmung ohne vorrangige Behandlung einzelner Sinne angestrebt wird.

MULTIMODALITÄT

Mit ihrem Buch «The Auditory Culture Reader» strebten Bull und Back die Umsetzung Berendts Ideologie an, die kritische Vorstellungskraft und somit das Verständnis der Welt durch eine «multiple Sinneswahrnehmung» zu erhöhen (Bull & Back 2003a, S.2). Die Auswirkungen dieses Buch, bei welchem verschiedene Autoren mitgearbeitet hatten, sind im Kapitel 3.3.2.4 «The Auditory Culture» festgehalten.

(BULL &amp; BACK 2003B)

Im Gegensatz dazu sieht Kramer den Hörsinn als Alternative zum Sehen und betont, dass der Hörsinn mit seiner Konstanzleistung zum Vorteil wird, wo die Augen nichts sehen oder durch ihre Konzentration auf einen bestimmten Punkt Reize aus anderen Richtungen nicht mehr wahrnehmen (Kramer 1992, S.4).

(KRAMER 1992)

Weitere Autoren heben die Vorteile des Hörens gegenüber dem Sehen so weit hervor, dass sie ihnen die Primatenrolle zuschreiben. Wulf vertritt die Meinung, dass das Hören die Voraussetzung für Kommunikation und somit der soziale Sinn sei, der die Selbstwahrnehmung des Menschen ermögliche. Während der Sehsinn nur ein «zweidimensionales» Bild der Welt vor ihm abbildet, kann der Hörsinn auch Geräusche erfassen, die hinter ihm liegen, woraus sich ein Raumgefühl entwickle (Wulf 1997, S.459–460). Baumann indes erachtet das Ohr als «zentrale Schaltstelle für Raum- und Zeitsinn und für deren Grenzüberschreitung in die Unendlichkeit» (Baumann 1993, S.127). Der Autor gliedert daraus den Inhalt, welchen der Hörsinn wahrnimmt, in die drei Dimensionen *Zeit*, *Intensität* und *Raum*.

### 3.3.2.1 Eigenschaften des Hörens

#### ZEITDIMENSION

KLANG  
BRAUCHT ZEIT

Ein Klang beinhaltet durch seine Dauer die Dimension *Zeit*. Während der Mensch den Inhalt eines Bildes auf einen Blick erkennt, muss bei der auditiven Wahrnehmung die Dauer der Information abgewartet werden, um sie zu entschlüsseln. Somit ist das Hören immer an zeitliche Abfolgen gebunden (Wulf 1997, S.461), deren Wellen gegenüber dem Licht eine niedrigere Ausbreitungsgeschwindigkeit aufweisen. Winkel postuliert, dass die minimale Dauer des kürzesten Phonems mit 50 ms noch vor der Verarbeitung von Bildern die kürzeste Zeit darstellt, um eine Anhäufung aller eintreffenden und hörbaren Hörreize vorzunehmen (Winkel 1975, S.187–188).

#### COCKTAILPARTY-EFFEKT

Wie auf der Seite 20 erwähnt, ist der Mensch fähig, beispielsweise an einer Cocktailparty, in einem Stimmenwirrwarr durch aktives Zuhören ein bestimmtes Gespräch mitzuverfolgen und dabei trotzdem in der Lage zu sein, auf eine Frage einer anderen Person zu reagieren. Dies erfordert nebst einer konstanten Wahrnehmungsleistung *aktives Zuhören*, während die Wahrnehmung dennoch offen für spontane Eindrücke ist. Aufgrund dessen wurde dieses Phänomen als *Cocktailparty-Effekt* bezeichnet (Campenhausen 1993, S.6; Blake & Sekuler 2005, S.416).

### 3.3.2.2 Das binaurale Hören

ORTUNG ÜBER  
DAS GEHÖR

Tatsächlich ist es dem Menschen durch das *binaurale Hören* möglich, eine Schallquelle auf einen Winkel von durchschnittlich  $\alpha = 3^\circ$  genau zu orten, wobei die Auflösung in Blickrichtung höher ausfällt als seitlich oder hinter dem Kopf. Dies geschieht, indem die Reizinformationen des Direktschalls, der Nachhallzeit, der Schallabsorption und des Einflusses des Schallschattens beider Ohren ausgewertet werden (Campenhausen 1993, S.78). Dazu werden sowohl die Reizezeitdifferenz  $\Delta t$  (engl.: *interaural time difference*), welche sich in Phasenverschiebungen äussert, als auch die Schalldruckdifferenz (= *interaural intensity difference*) zwischen den beiden Ohren verwendet (Nasir & Roberts 2007, S.3). Durch beide Einflüsse wird sowohl die Richtung als auch die Distanz zur Schallquelle ermittelt.  $\Delta t$  ergibt sich aus dem Quotienten der Schallwege  $\Delta x$  dividiert durch die Schallgeschwindigkeit  $c$ :

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{c} \text{ wobei } c = 340 [m \cdot s^{-1}]$$

Formel 1

Während die Nachhallzeit und die Schallabsorption von der Raumgrösse und von der Materialbeschaffenheit des Raumes abhängen, beeinflussen die Schallrichtung und die damit verbun-

dene Auslöschung hoher Frequenzen – falls sich die Schallquelle im Schattenbereich des Ohres befindet – das wahrgenommene Klangbild. Abhängig von der Phasenlage, der Intensität und dem zeitlichen Versatz beim Eintreffen der Schallwelle kann die Richtung bestimmt werden, aus welcher der Schall stammt.

Durch die Form des Ohrs und dessen Lage zur Schallquelle wird der *Raumeindruck* wahrgenommen. Der eintreffende Schall gelangt einerseits direkt auf das Trommelfell und andererseits auf einem Umweg von ca. 6 cm durch den halb offenen Kanal, der durch die eingerollte Ohrkrempe oberhalb des *Darwinschen Höckerchens* gebildet wird und im tiefsten Teil der Ohrmuschel am äusseren Gehörgang endet. In der Ohrmuschel wird der eintreffende Schall somit *räumlich und zeitlich* in Anteile zerlegt, die von der Richtung des eintreffenden Schalls abhängen (Campenhausen 1993, S.68).

Im luftgefüllten *Mittelohr* wird der auf das Trommelfell aufgetroffene Schall der Reihe nach auf *Hammer, Amboss* und *Steigbügel* und von dort auf das mit Flüssigkeiten gefüllte *Innenohr* übertragen. Der komplizierte Umweg über das Mittelohr soll vermeiden, dass an der Grenze zwischen Luft und Flüssigkeiten ein grosser Teil der Schallenergie reflektiert und somit das Innenohr nicht erreichen würde (Campenhausen 1993, S.68). Im Innenohr nehmen Stereovilli der Sinneszellen die vom Steigbügel übertragenen Schwingungen wahr, wobei jedem Areal ein bestimmter Frequenzbereich zugeordnet ist. Anschliessend werden die Nervenimpulse über fünf hintereinandergeschaltete Nervenzellen an das Gehirn weitergeleitet und in beiden Hirnhälften zu einem Ton zusammengesetzt (Baumann 1993, S.129; Campenhausen 1993, S.70).

Schall lässt sich nicht nur über die Luft und den oben beschriebenen Weg, sondern auch durch die Reizübertragung über Knochenleitung erreichen, welche jedoch etwa 40 dB schwächer als über die Luft ausfällt. Beim Sprechen werden die Schwingungen des Kehlkopfes zum Ohr übertragen, was zusammen mit dem Luftschall wahrgenommen wird (Campenhausen 1993, S.68).

### 3.3.2.3 Effekte beim Hören mehrerer Töne

Nach Campenhausen beträgt die akustische Frequenzauflösung etwa 0.3% der Frequenz, mit der ein zweiter Ton verglichen wird, wobei in diesem Bereich nicht feststellbar ist, welcher von beiden Tönen höher oder tiefer ist (Campenhausen 1993, S.66). Gemäss Grond und Berger ist die Frequenzauflösung nichtlinear und abhängig von der aktuellen Frequenz, wobei bei einer Grundfrequenz von 1 kHz die Auflösung bei 1 Hz liegt, während im Bereich von 100 Hz zwei Töne erst ab 3 Hz voneinander unterschieden werden können (Grond & Berger 2011, S.388).

## MASKIERUNG

*Maskierung* beschreibt das Phänomen, welches einen bestehenden Ton beim Erklingen eines zweiten Tons durch denselben Lautsprecher unterbewusst drosselt. Wird danach ein Ton abgeschaltet, so ertönt der zweite lauter als bisher (Campenhausen 1993, S.73).

## SCHWEBUNG

Ein weiteres Phänomen betrifft die *Schwebung*, welche dann auftritt, wenn zwei Töne mit leicht unterschiedlichen Frequenzen oder Phasen klingen. Deren Amplituden addieren sich oder löschen sich abwechselnd aus, was einen schwebenden Klang mit alterierenden Erhöhungen und Rückgängen der Amplitude auslöst. Schwebungen werden ab einem Unterschied von ca. 15 Hz als sogenannte *Rauigkeit* empfunden, was grundsätzlich auch als *Dissonanz* aufgefasst werden kann (Campenhausen 1993, S.71–72).

## KOMBINATIONSTON

Bei einer Interferenz zweier Frequenzen ist es auch möglich, einen *Kombinationston* (auch: *Tartini-Ton*) in der Differenz der beiden Ausgangsfrequenzen zu hören, wenn beide Töne auf demselben Lautsprecher zu hören sind (Campenhausen 1993, S.72).

### 3.3.2.4 The Auditory Culture

## DEEP LISTENING

Mit der Veröffentlichung von Bull und Backs Buch (Bull & Back 2003b) wurde 2003 eine Bewegung ins Leben gerufen, welche das Ziel hatte, dem Auditiven gegenüber dem Visuellen (wieder) einen höheren Stellenwert zu verleihen: die *Auditory Culture*. Sie stellt das Pendant zur *Visual Culture* der 1980'er dar und hat zum Ziel, das Hören und die Vernunft zu verknüpfen. Der Hörer soll durch *aktives Zuhören* (auch *vertieftes Zuhören* oder engl.: *Deep Listening*) Informationen ermitteln und zu einer Erkenntnis gelangen können.

**Definition:** Ein Mensch, der Erkenntnis und erlangte Vernunft durch Hören in sich trägt, wird auf Altgriechisch als *akroatés* (dt.: *denkender Hörer*) charakterisiert (Traubant 1993, S.66). Analog dazu bezeichnet *akroamatisches Hören* den bewussten und vertieften, aktiven Hörvorgang, der eine Ansammlung von Erkenntnis erlaubt.

## AKROAMATISCHES HÖREN

Die Auditory Culture hat durch akroamatisches Hören bzw. Deep Listening das Ziel, einen Dialog zwischen Hörern und Musikschaffenden zu bilden. Zudem soll dadurch die eigene Reflexion über den individuellen Musikkonsum angeregt oder Assoziationen zur präferierten Musik geweckt werden (Bull & Back 2003a, S.14). In dieser Betrachtung sind sowohl Musiker als auch Zuhörer Teile eines Systems, wobei der interdisziplinären Verflechtung mit anderen Forschungsbereichen eine hohe Bedeutung zugesprochen wird.

**Definition:** Die *Auditory Culture* ist eine Bewegung, die akroamatisches Hören in den Vordergrund stellt und durch interdisziplinäre Forschungen einen Dialog zwischen Musikern und Zuhörern schaffen möchte. Es soll dabei herausgefunden werden, wie Informationen musikalisch verpackt und übermittelt werden müssen, damit sie von möglichst vielen Zuhörern intuitiv verstanden werden.

Die Ideologie der Auditory Culture bietet dem Abrufen von Informationen durch *Sonifikation* eine günstige Ausgangslage, wobei ein philosophisches Gedankengut, welches sich stark auf das akroamatische Hören fokussiert, mit moderner Technologie verknüpft wird. Was sich genau hinter diesem Begriff verbirgt, wird im folgenden Kapitel erläutert.

### 3.4 Sonifikation und Auditory Display

Eine wissenschaftliche Methode, welche einen Erkenntnisgewinn durch die akustische Aussendung von Informationen anstrebt, indem Kommunikation und Interpretation vereinfacht werden, hat im Laufe der letzten Jahre in verschiedenen Disziplinen an Bedeutung gewonnen. Die Rede ist hierbei von *Sonifikation*, welche als Oberbegriff für verschiedene Verfahren der codierten, akustischen Signalverarbeitung verstanden wird. Sie ist daher weder Musik noch Kunst und verfolgt nicht das Ziel einer musisch-künstlerischen Interpretation, auch wenn unterschwellig eine künstlerische Ebene mitwirkt (Hermann 2008, S.1). Kramer et al. (Kramer u. a. 1999) definierten den Begriff wie folgt:

«SONIFICATION IS THE TRANSFORMATION OF DATA RELATIONS INTO PERCEIVED RELATIONS IN AN ACOUSTIC SIGNAL FOR THE PURPOSES OF FACILITATING COMMUNICATION OR INTERPRETATION.»

Die eingesetzten Methoden müssen reproduzierbar und datenunabhängig sein, wobei die zugrunde liegenden Daten systematisch und objektiv wiedergeben werden (Hermann 2008, S.2). Sonifikation bezieht sich dabei primär auf den Algorithmus der Signalverarbeitung, der «zwischen den Daten, dem Nutzer und dem resultierenden Klang» steht (Hermann 2008, S.3). Sie ist nicht an computergestützte Implementierungen gebunden, sodass beispielsweise das Anschlagen einer wassergefüllten Flasche mit einem Löffel ebenfalls als Sonifikation gilt. In diesem Fall entsprechen die Daten dem Füllstand der Flasche, während der Klang diesen Füllstand repräsentiert. Sonifikation ist der ebenbürtige Begriff zur *Visualisierung* (engl.: visualization) im akustischen Bereich (de Götzen u. a. 2008, S.416; Hermann 2008, S.3).

Der Begriff *Sonifikation* (engl.: *sonification*) entlehnt sich dem lateinischen *sonus* (siehe Abbildung 3), welcher mit *Ton*, *Schall* oder im Falle des *sonus technicus* mit *Klang* übersetzt werden kann. Daher kann Sonifikation mit dem Begriff *Verklanglichung* gleichgesetzt werden. Das zur Sonifikation gehörige Verb nennt sich *sonifizieren* (engl.: *to sonify*). Es empfiehlt sich, den treffenden Begriff der jeweiligen Sonifikationsmethode zu verwenden, welche im Kapitel 3.4.2 «Verschiedene Sonifikationsmethoden» genauer erklärt werden.

**Definition:** *Sonifikation* steht als Oberbegriff für wissenschaftlich reproduzierbare Methoden unterschiedlicher Interaktionsgrade, welche Informationen über systematische Codierung zu einem akustischen Signal verarbeiten und damit den Zweck verfolgen, Kommunikation und Interpretation zu vereinfachen.

Ein Sonifikationsschema von der Quelle zum Empfänger bedarf gemäss Kramer (Kramer 1992, S.50) dreier Parteien und wird in der Abbildung 9 (Hermann 2008, S.2) schematisch festgehalten:

- REGELINSTANZ (INFORMATIONSGENERATOR) (ENGL.: CONTROL SOURCE)
- KLANGERZEUGER (KOMMUNIKATIONSMEDIUM) (ENGL.: RENDERER)
- REZIPIENT (INFORMATIONSEMPFÄNGER) (ENGL.: LISTENER)

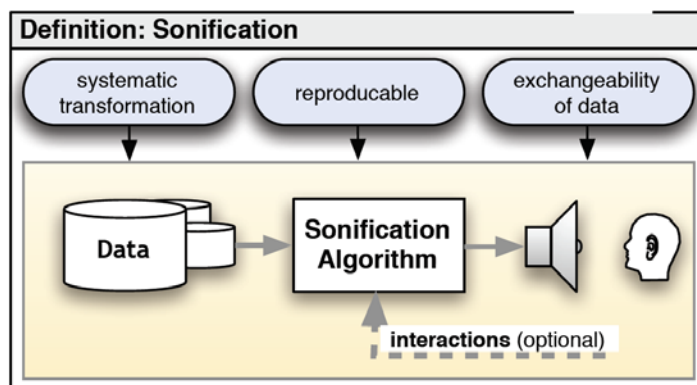


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Sonifikation (Hermann 2008, S.2).

Die *Regelinstanz* steuert den Sonifikationsprozess beispielsweise durch das Abrufen vorbereiteter Daten auf Befehl oder durch die Registrierung von Bewegungen, welche durch eine Programmlogik parametrisiert werden. Die Daten gelangen anschliessend zum *Klangerzeuger*, welcher die Daten verarbeitet, aus ihnen einen parametrisierten Klang bildet und ihn wiedergibt. Der *Rezipient* schliesslich empfängt den codierten Klang und versucht, möglichst durch



*perzeptionelle Aufmerksamkeit* (durch akroamatische Hören) und *Diskriminationsvermögen* (= Fähigkeit, zwei Entitäten voneinander zu unterscheiden) Eigenschaften der Hintergrunddaten zu ermitteln oder das Modell zu verstehen (Kramer 1992, S.50–51).

Die Abbildung 10 (Hermann 2008, S.5) zeigt ein System aus Venn-Diagrammen, mit welchem Sonifikation in eine Ordnung organisierter Klänge eingeordnet werden kann. Innerhalb der geordneten Klänge liegen die Musik und die funktionalen Klänge (z. B. Telefonsignal oder Sirene), welche sich teilweise überschneiden (z. B. bei polyphonen Klingeltönen). Sonifikation gilt als Teilmenge der funktionalen Klänge, wobei letztere auch Schall als rein technische Methode anwendet, um einen bestimmten Zweck zu verfolgen (z. B. die Ausstrahlung eines hochfrequenten, für Ältere unhörbaren Tons, der Junge stört und vertreibt) (Hermann 2008, S.5). Spontane Naturklänge bilden die Restmenge ausserhalb der Menge organisierter Klänge.

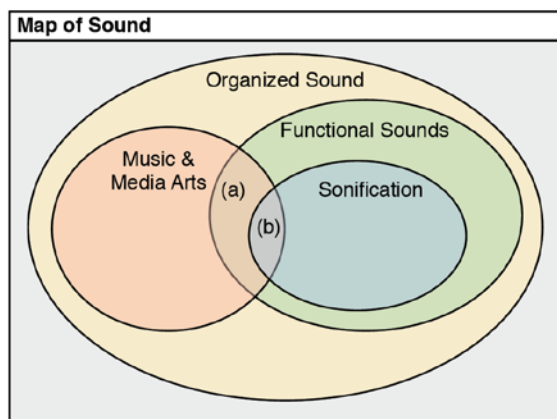


Abbildung 10: Hierarchie organisierter Klänge (Hermann 2008, S.5).

Hermann betont, dass eine Unterscheidung zwischen *Daten* und *Informationen* irrelevant sei, da ihr gegenseitiges Wechselspiel reziprok ist (Hermann 2008, S.2–3). Informationen können numerisch als Daten repräsentiert werden, sofern mehr als ein einziges Signal gegeben ist. Auch umgekehrt ist es möglich, Rohdaten semantisch zu interpretieren und dabei Informationen zu erlangen.

Der Begriff *Auditory Display* steht synonym für das Display als Ausgabemedium eines Visualisierungsprozesses, während *Sonifikation* mit dem optischen Renderingprozess gleichzusetzen ist. Das Auditory Display ist somit als akustisches Resultat eines Sonifikations- oder *Text-to-Speech*-Prozesses zu verstehen (Hermann 2008, S.4–5).

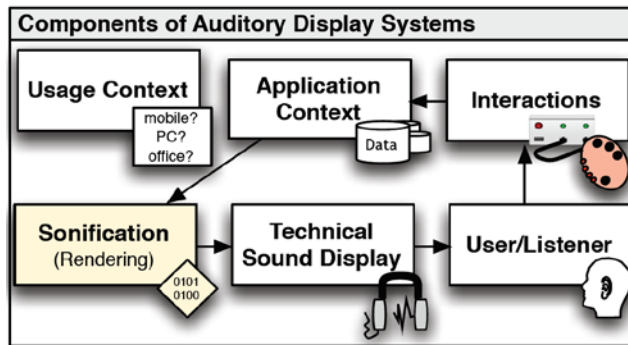


Abbildung 11: Schematische Darstellung von Auditory Display Systemen (Hermann 2008, S.4).

Ein komplettes *Auditory Display System* betrachtet Sonifikation als Teil der gesamten Prozesskette und umfasst nebst dem technischen System, welches zur Erzeugung des Schalls benötigt wird, auch den Nutzungs- und Applikationskontext (siehe Abbildung 11). Der Kreislauf schliesst sich, indem der Nutzer den wiedergegebenen Schall wahrnimmt und – sofern möglich – mit dem Modell interagiert, worauf erneut ein neuer Klang berechnet und wiedergegeben wird (Hermann 2008, S.4).

Der Einsatz von Auditory Displays hat zum Ziel, durch die Decodierung von akustischen Informationen Erkenntnisse zu gewinnen, welche durch andere Sinneswahrnehmungen nicht oder nur zu ungenau ermittelt werden können. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die eingesetzten Methoden möglichst einer *intuitiven Sinneswahrnehmung* entsprechen und den Rezipienten in seiner Aufmerksamkeit entlasten können.

**Definition:** Auditory Displays haben das Ziel der effizienten, interaktiven und auditiven Datenübermittlung und umfassen nebst allen möglichen Methoden zur Schallerzeugung auch den Kontext, in welchem diese erfolgt.

### 3.4.1 Die kurze Geschichte der Auditory Displays

Die Geschichte der Auditory Displays geht zurück auf die ersten Versuche, das Unhörbare hörbar zu machen. Erste Versuche in diese Richtung verfolgten pragmatische Zwecke und wurden durch die Erfindung des *Stethoskops* 1816 durch *René Théophile Hyacinthe Laënnec* und jene des *Geigerzählers* 1908 durch *Hans Geiger* vorgenommen. Während im ersten Fall ein leiser Ton verstärkt wird, wandelt die zweite Methode ein unhörbares Ereignis in Töne um. Beide Erfindungen verfolgten durch Sonifikation pragmatische Zwecke.

Multivariate Daten wurden erstmals 1954 mit Hilfe abstrakter Klänge anstatt durch Grafiken dargestellt und als *Auditory Display* bezeichnet (Pollack & Ficks 1954). Das Interesse der For-

schung in diesem Bereich stieg erst parallel mit dem Aufkommen der *Personal Computer* in den 1980er-Jahren stark an, in welchen akustische Signale zur Repräsentation virtueller Prozesse eingesetzt wurden.

Zu nennen sind die Arbeiten von *Yeung* (Yeung 1980), der sieben Dimensionen chemischer Stoffe sonifizierte, oder jene von *Bly* (Bly 1982), die Zeitdaten, multivariate Daten und logarithmische Daten durch Klänge repräsentierte. Der Fokus der genannten Forschungen bezog sich dabei stark auf die Klassierung von Daten, wobei die musikalischen Parameter *Tonhöhe*, *Lautstärke* (inkl. *Panning*-Effekt), *Tonlänge* (inkl. *Attack*-Wert) und *Klangfarbe* (*Dämpfung*, *Obertöne* und *Wellenform*) eingesetzt wurden (Krygier 1994, S.151).

Einen ikonischen Ansatz verfolgten *Williams, Smith* und *Pecelli* (Williams u. a. 1990), als sie multivariate Daten in einem mehrdimensionalen akustischen Raum wiedergaben. Sie ergänzten das bisher übliche Spektrum an musikalischen Parameter hauptsächlich um *Reverb*-Parameter, sodass die ikonischen Attribute *Länge*, *Breite*, *Winkel* und *Farbe* mit den akustischen Dimensionen *Tonhöhe*, *Tonlänge* (v.a. *Attack*-Wert und *Release*-Rate) und *Lautstärke* ausgedrückt werden konnten (Williams u. a. 1990, S.45).

*Scaletti* und *Craig* (Scaletti & Craig 1991) entwickelten 1991 mehrere Tools zur Sonifikation von Daten, welche primär digitale Tonverarbeitungen aufgezeichneter Klänge darstellten. Ihre Tools deckten eine hohe Bandbreite an grundlegenden Utensilien für unterschiedliche Sonifikationsmethoden ab, darunter Werkzeuge für Parametertransformationen, für das Setzen von Earcons beim Erkennen spezieller Bedingungen oder für die Erstellung akustischer Histogramme (Scaletti & Craig 1991, S.6–7). Aufgrund der Auswertungen ihrer Machbarkeitsstudie kamen Scaletti und Craig zum Schluss, dass die Sonifikation von Daten bei der Vermittlung von Informationen unterstützend wirkt (Scaletti & Craig 1991, S.11). In ihrer Publikation schrieben sie (Scaletti & Craig 1991, S.1):

«VISUAL AND AUDITORY REPRESENTATIONS CAN BE USED TOGETHER TO REINFORCE INFORMATION AND PROVIDE A GREATER SENSE OF ENGAGEMENT WITH THE MODEL WORLD.»

*Gregory Kramer* legte 1992 den Grundstein für eine systematische Forschung im Bereich der Auditory Displays und der Sonifikation, indem er die erste *ICAD* (*International Conference on Auditory Display*) veranstaltete. Unter der Mitarbeit diverser Autoren ergab sich daraus das Buch *Auditory Display* (Kramer 1992), welches die interdisziplinäre Bedeutung der Sonifikation hervorhob, die Begriffe und unterschiedlichen Funktionsweisen erklärte und in zukünftige For-

schungsrichtungen wies. Sowohl das Buch als auch der Autor werden bis heute als zentrale Elemente der Sonifikationsforschung betrachtet (Hermann 2008, S.1).

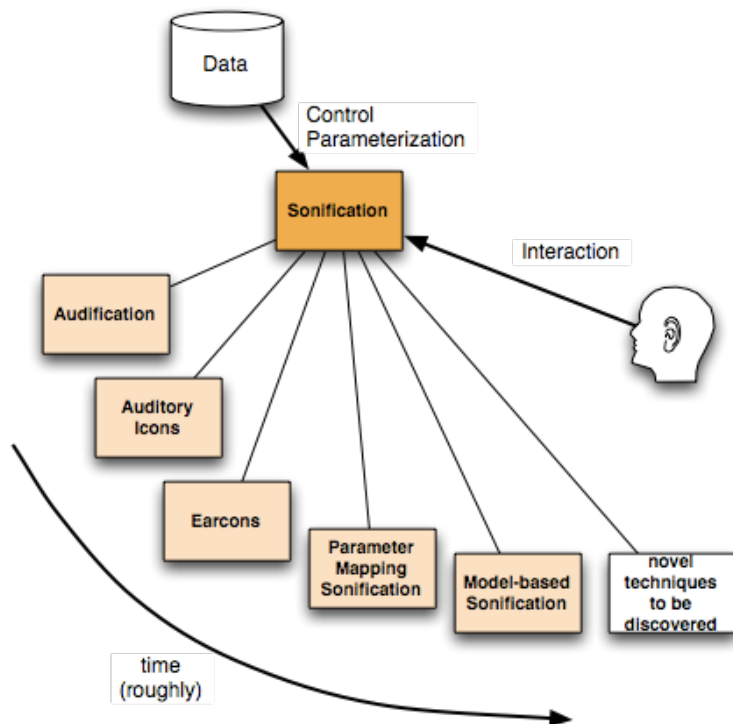


Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der Sonifikationsparametrisierungen (sonification.de; Zugriff: 21.12.2011).

Seit der ersten Publikation 1992 ist das wissenschaftliche Interesse an der Sonifikation stark gestiegen, wobei ab 1999 ein deutlicher Anstieg an Publikationen zu verzeichnen ist. Abbildung 12 zeigt den zeitlichen Verlauf der neu entwickelten Sonifikationstechniken, welcher mit einer Steigerung an Komplexität und daher mit dem technischen Fortschritt einhergehen.

Während sich in der Anfangsphase von 1992 bis 1996 viele Forscher mit den Grundzügen und Funktionsweise von Sonifikation beschäftigen (Ballas 1994; Baumann 1993; Minghim & Forrest 1995; Mynatt 1994; C. S. Watson & Kidd 1994), wurden vor allem im Medizinbereich (Mayer-Kress 1994) und bei der Arbeit mit Blinden (Boelke & Gorny 1994; Pitt 1994; Stevens u. a. 1994) erste Studien über die perzeptive Wirkung von Sonifikation durchgeführt. Auch wurde Sonifikation erstmals eingesetzt, um geometrische Formen und Bilder akustisch darzustellen (Hollander & Furness 1994; Axen & Choi 1996; Martins u. a. 1996). Eine komplette Auflistung aller vergleichbaren Publikationen ist auf der Homepage der ICAD abrufbar (ICAD 2011).

Im Laufe der Jahre verschob sich der Fokus von der Grundlagenforschung in breiten Einsatzbereich tendenziell hin zu Studien über den Einfluss neuer Sonifikationstechniken auf die menschliche Perzeption. Generell lassen sich folgende Forschungsrichtungen ermitteln:

• FORSCHUNG ÜBER PERZEPTION	(PSYCHOLOGISCH)
• FORSCHUNG ÜBER SONIFIKATION	(TECHNISCH)
• SONIFIKATION ALS KUNST	(KÜNSTLERISCH)

Die erste Taxonomie über die Verwendung der Begriffe innerhalb der Auditory Displays wurde 2008 als Resultat der 14. ICAD durch Hermann erstellt (Hermann 2008). Zuvor wurden Begriffe der Sonifikation unterschiedlich gehandhabt, was sich rückblickend im Falle der *Auditory Icons* und *Earcons* bemerkbar machte (siehe Kapitel 3.4.4 «Verschiedene Sonifikationsmethoden»). Im Deutschen herrscht vielerorts eine unklare Situation in der Verwendung sonifikationsspezifischer Begriffe, da in den meisten Publikationen englische Bezeichnungen verwendet werden. Die vorliegende Arbeit stützt sich ebenfalls auf Hermanns Taxonomie.

TAXONOMIE

### 3.4.2 Vorteile und Schwierigkeiten von Auditory Displays

Wie im Kapitel 3.4 «Sonifikation und Auditory Display » erwähnt, bildet der Erkenntnisgewinn, der durch das Erkennen von Informationen geschieht, ein zentrales Ziel der Auditory Displays. Wird dies erreicht, so trägt der Rezipient automatisch einen Nutzen davon.

Das Erreichen dieses Ziels kann durch bestimmte Vorteile von Auditory Displays begünstigt werden (Kramer 1992, S.6). Durch das Hören kann nicht nur das Sehen entlastet, sondern ein zusätzlicher Sinneseindruck mit einer allfälligen Mehrinformation wahrgenommen werden. Je nach Setting ist es dem Hörer möglich, die Decodierung rasch zu erlernen und somit Warnungen aufgrund von Signalen intuitiv zu erkennen und entsprechend zu handeln. Das hohe zeitliche Auflösungsvermögen für Töne (siehe Kapitel 0 «

VORTEILE

Eigenschaften des Hörens») hilft dabei, möglichst präzise Informationen über einen Sachverhalt zu erhalten. Ein weiterer Vorteil liegt im raschen Erkennen von Störungen in multidimensionalen und grossen Datensätzen, was auch als *Backgrounding* bezeichnet wird (Kramer 1992, S.7).

Dabei beeinflusst der Hörsinn die von Bull und Back (Bull & Back 2003b, S.2) beschriebene *multiple Sinneswahrnehmung* nur unterstützend und keinesfalls kontraproduktiv. Kramer spricht von «nonintrusive enhancement», also einer Verbesserung, die den Menschen nicht stört und ihn nicht vom Wesentlichen ablenkt. All diese Punkte sollen insgesamt zu einer erhöhten Wahrnehmung der Realität beitragen (Kramer 1992, S.9).

#### NACHTEILE

Doch treten beim Einsatz von Auditory Displays auch Schwierigkeiten auf, wie das Beispiel der *Orthogonalität* zeigt. Eingesetzte Parameter sind nicht unbedingt wahrnehmungsunabhängig, sodass sich nicht jeder Parameter für die Darstellung einer beliebigen Grösse eignet. Möchte man beispielsweise die Änderung von «tief» nach «hoch» sonifizieren, so würde der Rezipient einen sich von einer tiefen zu einer hohen Frequenz ändernden Ton erwarten. Es ist zudem nicht möglich, einen Zeitverlauf in einem einzigen Moment wahrzunehmen. Ausserdem setzt akroamatisches Hören eine intakte Hörwahrnehmung voraus und kann mit der Zeit ermüdend oder langeilig wirken (Kramer 1992, S.14). Zudem.

Abschliessend soll erwähnt werden, dass Kramer in seinem Buch (Kramer 1992, S.14–15) von einem Mangel an Daten mit Absolutwerten und geringer räumlicher Auflösung ausgegangen ist. Beide Aspekte haben sich im Laufe der Jahre jedoch stark verbessert, sodass die beiden Einwände heute als nebensächlich betrachtet werden können.

### 3.4.3 Einsatzgebiete von Auditory Displays

#### INFORMATIONSSYSTEM FÜR SEHBEEINTRÄCHTIGTE MENSCHEN

Sonifikation ist für Blinde nebst der taktilen Wahrnehmung eine der wenigen Möglichkeiten, Informationen aus Daten wahrzunehmen. Sie erlaubt es, Bildschirmleseprozesse zu beschleunigen und den Umgang mit Computern zu vereinfachen. Die Voraussetzung dafür ist das Erlernen der spezifischen Codierung, mit welcher die Daten sonifiziert wurden.

#### APPLIKATION ZUR PROZESSÜBERWACHUNG

Prozesse können mit Hilfe der Sonifikation retrospektiv ausgewertet oder in Echtzeit überwacht werden, ohne dass der Sehsinn dabei gebraucht wird. Ein klassisches Beispiel stellt die Überwachung einer Intensivstation dar, wo beim Eintreten eines medizinischen Problems bei beatmungsbedürftigten Patienten ein Signal ertönt (M. Watson & Sanderson 2001). Je salienter

dabei der Ton erklingt, desto eher wird er vom Hörer wahrgenommen und desto mehr bewegt er ihn zum raschen Handeln.

#### SCHNITTSTELLE ZWISCHEN MENSCH UND COMPUTER

Nutzer verschiedener Betriebssysteme haben sich längst an die Informationsübermittlung durch *Earcons* (siehe Kapitel 3.4.4.3 «Earcons») gewöhnt, welche den Nutzer auf Interaktionen hinweisen. Beispielsweise erklingt beim Entleeren des Papierkorbes ein Earcon, welches den abgeschlossenen Löschvorgang bestätigt. In diesem Bereich wird Sonifikation als Methode zur Kommunikation zwischen Mensch und Computer eingesetzt. Entwicklungspotential darin besteht gemäss Hermann (Hermann 2011b) bei der Ausgabe zusätzlicher Informationen. Beispielsweise können beim Löschvorgang ergänzende Parameter eingesetzt werden, die einen Hinweis zur Grösse der gelöschten Datei geben.

#### ALTERNATIVE ZUR VISUELLEN DARSTELLUNG

In Situationen, wo die Wahrnehmung über die Augen überlastet oder zu wenig fein aufgelöst ist, können Sonifikationen durch die Möglichkeit einer zusätzlichen Sinneswahrnehmung unterstützend wirken. Ein Beispiel betrifft die Zahnmedizin, wo die Dicke des Zahnschmelzes akustisch wiedergegeben wird, während sich die Operatorin ganz auf den Sehsinn und die Handhabung der Geräte konzentrieren kann (Shi u. a. 2001).

Häufig wird Sonifikation auch als Bindeglied zwischen Kunst und Naturwissenschaft eingesetzt, um abstrakte Sachverhalte künstlerisch darzustellen. Zu nennen wären hier beispielsweise die Audification seismischer Daten der Pazifischen Platte (Dombois 2002), die Sonifikation eines Wetterberichtes als Stream (Hermann u. a. 2003) oder die Sonifikation eines EEG, welches von einem Musik hörenden Menschen aufgezeichnet und sonifiziert wurde (Hermann u. a. 2004).

#### EXPLORATIVE DATENANALYSE

Der Einsatz verschiedener Sonifikationsmethoden erlaubt die Hörbarmachung von Informationen, die dem menschlichen Auge verwehrt bleiben. Auf der Suche nach neuen Erkenntnissen kann Sonifikation unterstützend wirken, indem die visuelle Wahrnehmung durch den Hörsinn bereichert wird. Sonifikation vereinfacht die Analyse vor allem dort, wo Sachverhalte über den Hörsinn – beispielsweise durch eine Rhythmusänderung – einfacher als über den Sehsinn wahrgenommen werden.

Hermann empfiehlt für die exploratorische Datenanalyse, die Daten auf komplexe Weise analog zu repräsentieren, anstatt bestehende, bereits interpretierte Symbole klanglich darzustellen.

len. Dies aus dem Grund, da durch die eigene Interpretation auf neue Symbole oder Muster gestossen werden kann und somit im Sinne der Exploration neue Erkenntnisse erlangt werden können. Um diesen Lernprozess zu ermöglichen, spiele dabei die Konstanz der Gesetzmässigkeiten eines Auditory Display Models, mit welchen ein Datensatz in Klänge umgesetzt wird, eine wesentliche Rolle (Hermann 2011a, S.410).

#### 3.4.4 Verschiedene Sonifikationsmethoden

Sonifikation bezeichnet ein Prinzip der akustischen Datenrepräsentation, welches eine explizite Methode offen lässt. Bis heute wurden fünf elementare Methoden entwickelt, die sich teilweise deutlich in deren Parametrisierungen als auch deren Abstraktions-, Komplexitäts- und Interaktionsgraden voneinander unterscheiden (siehe Abbildung 12), welche in den folgenden Unterkapitel mit steigender Abstraktion behandelt werden. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf die *Parameter Mapping Sonification* gelegt. Für Hörbeispiele wird auf die Homepage von Hermanns Handbuch über Sonifikation (Hermann u. a. 2011) verwiesen.

##### 3.4.4.1 Audification

###### AUDIFICATION

Bei der *Audification* werden wellenförmige Daten in Schall umgewandelt. Durch einfache Eingriffe in die Wellenparameter *Amplitude*, *Frequenz* oder *Phase* können unhörbare wellenförmige Daten hörbar gemacht werden. Die Audification stellt gewissermassen die «Hörbarmachung» für den Menschen unhörbarer Wellen dar, wobei ein *direkter Datenbezug* existiert. Walker und Kramer definieren den Begriff wie folgt (B. N. Walker & Kramer 2004, S.154):

«AUDIFICATION IS THE DIRECT TRANSLATION OF A DATA WAVEFORM INTO SOUND.»

Diese Definition trifft den Kern der Hauptaussage, jedoch kann sie an zwei Stellen noch präzisiert werden. Erstens ist der Begriff *sound* zu vage definiert und bezieht sich nicht explizit auf das vom Menschen wahrnehmbare Frequenzspektrum. Zweitens können – wie weiter unten besprochen – auch wellenartige Formen audifiziert werden. Die folgende Definition versucht, den Begriff treffender abzubilden:

**Definition:** Die direkte Übertragung von Daten, welche als Wellen oder in wellenartiger Form vorkommen, in ein von Menschen wahrnehmbares Frequenzspektrum wird als *Audification* bezeichnet.



Die simpelste Form der Audification benutzt *für den Menschen unhörbaren Schall* als deren Datengrundlage. Genauso wie auf einer CD digitale zu analogen Schallwellen umgewandelt werden müssen, bedürfen hochfrequente Schallwellen von Fledermäusen einer Translation, damit sie vom Menschen gehört werden können (Dombois & Eckel 2011, S.302).

MUSIKAUF-  
NAHMEN ALS  
GRUNDLAGE

Eine weitere Datengrundlage bieten *mechanische Wellen*, die (wie auch Schall) als Longitudinal- oder Transversalwellen vorkommen. Nebst der Verstärkung eines Herzschlags über ein Stethoskop (Dombois & Eckel 2011, S.302) können seismische Wellen in ihrer Abspielgeschwindigkeit beschleunigt werden, sodass sie als Schall hörbar werden (de Götzen u. a. 2008, S.411).

MECHANISCHE  
WELLEN ALS  
GRUNDLAGE

Auch *physische Wellen* wie z. B. elektromagnetische EEG-Wellen können transformiert und sonifiziert werden. Dies eröffnet im Gegensatz zu den bisher genannten Daten einen neuen Aspekt «Daten zu hören», da sich ihr Aufbau grundsätzlich demjenigen von Schall unterscheidet (Dombois & Eckel 2011, S.302).

PHYSISCHE  
WELLEN ALS  
GRUNDLAGE

Als letzte Datengrundlage seien *abstrakte Daten* genannt, welche nicht als Welle, jedoch in einer Zeitreihe vorliegen müssen. Als Beispiele seien Aktienkurse genannt, welche unregelmäßig steigen oder fallen können oder aber auch die Geräusche, die in den 1990er-Jahren von den Fax- und Modemgeräten bei Übertragungsprozessen entstanden sind.

ABSTRAKTE  
DATEN ALS  
GRUNDLAGE

#### 3.4.4.2 Auditory Icons

*Auditory Icons* wurden in den 1980er-Jahren als Pendant zu den visuellen Icons erstmals in Apples *Finder* verwendet und als Begriff 1986 von Gaver geprägt (Gaver 1986). Sie ahmen nicht-gesprochene Klangausschnitte nach, welche an reale, alltägliche Aktionen erinnern. Wird ein solcher aufgezeichneter Klangausschnitt, mit dem der Mensch eine alltägliche Aktion konnotiert, an ein fiktives Ereignis (wie z. B. das Löschen einer Datei oder das Schliessen einer Applikation) geheftet, verbindet der Hörer dieses fiktive Ereignis mit seinen eigenen Erfahrungen der realen Welt. Diese Konnotation sollte in den 1980er-Jahren die Abstraktion virtueller Ereignisse eines Betriebssystems mindern und sie «realer» erscheinen lassen (Brazil & Fernström 2011, S.325–326).

AUDITORY  
ICONS

Obwohl Auditory Icons durch ihren ikonischen Charakter an reale Situationen erinnern, geben sie einen direkten Hinweis auf einen Prozess und übernehmen somit die Funktion von Indices. Prozessen und Ereignissen wird – auch wenn sie in der realen Welt keinen entsprechenden, «realen» Klang haben – ein ikonischer Klang verliehen, der dieses Ereignis bzw. diesen Prozess repräsentiert. Das Rascheln, welches beim Entleeren des virtuellen Papierkorbes hörbar wird, sei ähnlich dem Flattern eines Vogels beim Versenden eines E-Mails als Beispiel dafür genannt

– zentral hierbei ist die intuitive Konnotation des realen Klanges mit dem virtuellen Ereignis (B. N. Walker & Nees 2011, S.23). Brazil und Fernström definieren den Begriff des Auditory Icons wie folgt (Brazil & Fernström 2011, S.326):

«AUDITORY ICONS AIM TO PROVIDE AN INTUITIVE LINKAGE BETWEEN THE METAPHORICAL MODEL WORLDS OF COMPUTER APPLICATIONS BY SONICALLY REPRESENTING OBJECTS AND EVENTS IN APPLICATIONS, USING SOUNDS THAT ARE LIKELY TO BE FAMILIAR TO USERS FROM THEIR EVERYDAY LIFE. »

## SOUNDSCAPES

Auditory Icons können ein Ereignis durch einmaliges Abspielen oder einen kontinuierlichen Prozess als Endlosschleife repräsentieren. Im zweiten Fall würde eine Geräuschkulisse entstehen, welche auch *Soundscape* genannt wird und dem Hörer eine «kontinuierliche Information über eine Situation» abgibt (B. N. Walker & Nees 2011, S.20). Wie auch ein einzelnes Auditory Icon besitzt ein Soundscape ikonischen Charakter.

PARAMETRIC  
AUDITORY  
ICONS

Eine weitere Möglichkeit, Auditory Icons einzusetzen, besteht in deren Parametrisierung bzw. deren akustischen Gewichtung, wonach sie *Parametric Auditory Icons* genannt werden. Wurde eine Metapher bereits verinnerlicht, so muss die Übertragung der Gewichtung auf das Auditory Icon nicht neu erlernt werden, da sie der Alltagserfahrung entspricht (Oswald 2012, S.261). Durch die Aufzeichnung unterschiedlicher Klangbeispiele der gleichen Handlung (z. B. das Prelen eines kleinen, eines mittleren und eines grossen Balls) kann eine ordinale Kategorisierung vorgenommen werden (Brazil & Fernström 2011, S.331).

PARAMETRIC  
AUDITORY ICON  
STREAM

Eine kontinuierliche Methode geht dabei auf Scaletti und Craig zurück (Scaletti & Craig 1991) und wurde von Lodha u. a. als Studie umgesetzt (Lodha u. a. 1999). Dabei wird ein Auditory Icon als Endlostream wiedergegeben und über Interaktion in seinem Klangbild verändert, indem beispielsweise Equalizer-Einstellungen (Höhen oder Tiefen in ihrer Lautstärke ändern), Modulationseffekte (Höhen- oder Tiefenmodulation der Frequenz) oder Filter (Hoch- oder Tiefpass) eingesetzt werden oder indem die Balance zwischen dem linken und dem rechten Audio-Ausgang angepasst wird.

**Definition:** *Auditory Icons* als alltägliche, reale oder synthetische Klangausschnitte repräsentieren auf der ikonischen Ebene durch Konnotation virtuelle Ereignisse mit dem Ziel, eine intuitive Verbindung zwischen der metaphorischen Modellwelt eines Betriebssystems und den Klängen des alltäglichen Lebens aufzubauen.

### 3.4.4.3 Earcons

Während Auditory Icons durch die Wiedergabe realer Klänge ikonisch ein fiktives Ereignis auf metaphorische Weise repräsentieren, stellen *Earcons* Entitäten symbolisch dar. Im Gegensatz zu Auditory Icons haben Earcons keine gegebene, natürliche oder direkte physikalische Beziehung zwischen dem Klang und der Bedeutung der Repräsentation (Oswald 2012, S.256). Somit handelt es sich um kurze, strukturierte, künstliche und abstrakte Klänge, welche eine Konnotation der Datenrepräsentation *über Konvention* aufweisen. McGookin und Brewster definieren Earcons wie folgt (McGookin & Brewster 2011, S.339):

«EARCONS CAN BE THOUGHT OF AS SHORT, STRUCTURED MUSICAL MESSAGES, WHERE DIFFERENT MUSICAL PROPERTIES OF SOUND ARE ASSOCIATED WITH DIFFERENT PARAMETERS OF THE DATA BEING COMMUNICATED.»

Die Vielfalt der übermittelten Informationen ist genauso grenzenlos wie die Anordnung der Töne. Analog zu Auditory Icons sind Earcons nicht auf einmalige Wiedergaben beschränkt, sondern können als Endlosstream dargestellt werden. Obwohl Earcons seit dem Aufkommen der Personal Computer populär geworden sind, wurden sie bereits Jahrzehnte zuvor im Militär eingesetzt und finden bis heute unter anderem in der Zivilluftfahrt und bei Mobiltelefonen Anwendung. Das Ziel war und ist es dabei, unterschiedliche Informationen, wie z. B. Posteingang, Essenszeit oder Warnungen zu übermitteln (McGookin & Brewster 2011, S.339).

Die simpelste Form von Earcons stellen die alleinstehenden *One-Element Earcons* dar, welche jeweils einen einzigen Parameter repräsentieren. Ihre Melodiefolge oder ihr Rhythmusablauf sind simpel aufgebaut. Zudem muss der Nutzer die Bedeutung, welches Earcon welches Ereignis repräsentiert, für jedes Earcon separat erlernen (McGookin & Brewster 2011, S.340).

*Compound Earcons* werden aus mehreren *One-Element Earcons* zusammengesetzt. Der Nutzer ist darauf angewiesen, ein bestimmtes «Vokabular» zu lernen, welches ihm die Decodierung der Bedeutung ermöglicht. Dabei werden Wörter von *One-Element Earcons* und Sätze von *Compound Earcons* repräsentiert (McGookin & Brewster 2011, S.341).

Eine weitere, komplexere Aussagekraft kann mit *Transformational Earcons* erreicht werden, welche aus unterschiedlichen musikalischen Parametern zusammengesetzt sind. So kann beispielsweise die *Melodie*, der *Rhythmus*, die *Dynamik* oder das *Register* (= Oktavspektrum) variieren und somit eine multidimensionale Information übermitteln. Transformational Earcons werden je nach Informationsgehalt parametrisiert, wobei jedoch auf vorgefertigte Melodiesequenzen zurückgegriffen wird (McGookin & Brewster 2011, S.341–342).

EARCONS

ONE-ELEMENT  
EARCONSCOMPOUND  
EARCONSTRANSFORMA-  
TIONAL EAR-  
CONS

*Hierarchical Earcons* ähneln *Transformational Earcons*, wobei Informationen hierarchisch (= baumartig) aufgebaut und nicht in einer zusammengesetzten, ineinandergreifenden Klangkomposition, sondern *nacheinander* übermittelt werden, was Kenntnis über die hierarchische Struktur der Werte voraussetzt. Anhand der Melodiesequenz, welche an einem Knotenpunkt folgt, soll der Nutzer interpretieren, welchen Ast bzw. welche spezifische Information die Kombination repräsentiert (McGookin & Brewster 2011, S.342–343). Sowohl *Transformational Earcons* als auch *Hierarchical Earcons* stellen eine Mischform zwischen *Earcons* und *Stream-Based Sonification* (siehe Kapitel 3.4.4.4 «Parameter Mapping Sonification») dar.

Obwohl sich Auditory Icons und Earcons in ihren Definitionen und ihren Rollen ähneln, nehmen sie in einem Auditory Display zwei polarisierende Positionen ein. Während – wie in Abbildung 13 dargestellt – Auditory Icons ein Zeichen (engl.: *sign*) mit dem zu bezeichnenden Objekt (engl.: *signifier*) auf der *ikonischen* Ebene verbinden, wirken Earcons primär auf der *symbolischen* Ebene (McGookin & Brewster 2011, S.351), da sie nicht auf natürlichen Geräuschen, sondern «auf rein musikalischen Prinzipien beruhen» (Oswald 2012, S.258).

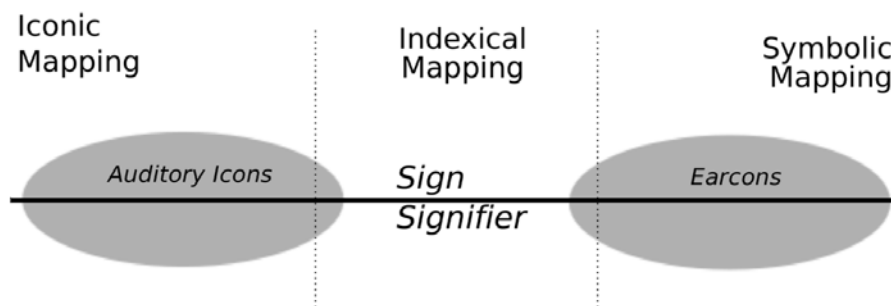


Abbildung 13: Semantische Beziehung zwischen Auditory Icons und Earcons (McGookin & Brewster 2011, S.351).

Die Vorteile des einen entsprechen den Nachteilen des anderen und umgekehrt: Während die Bedeutung eines Auditory Icons einfacher erlernt wird, können Earcons ersichtlicher parametrisiert werden (McGookin & Brewster 2011, S.351). Bei beiden werden aufgezeichnete Klangausschnitte abgespielt, wohingegen sie sich im klanglichen Bezug zur Realität unterscheiden (McGookin & Brewster 2011, S.351). Beide weisen gemäss der Abbildung 13 jedoch einen Wirkungsbereich in der Indexebene auf, was damit zusammenhängt, dass mit der Zeit durch die Verinnerlichung von Metaphern (Ikone) als auch von Konventionen (Symbole) das Zeichen vom Betrachter als *Index* wahrgenommen wird (Oswald 2012, S.262).

**Definition:** Earcons sind synthetische, aufgezeichnete Klangausschnitte unterschiedlicher Zusammensetzung und Komplexität, welche durch ihren symbolischen Charakter auf abstrakte Weise virtuelle Ereignisse repräsentieren.

#### 3.4.4.4 Parameter Mapping Sonification (PMS)

Die erste Sonifikationsmethode, welche Daten unabhängig ihres Datenaufbaus (z. B. diskret vs. stetig oder wellenförmig vs. nicht-wellenförmig etc.) möglichst wahrheitsgetreu und zudem *ad hoc* zu sonifizieren vermochte, war die *Parameter Mapping Sonification (PMS)*. Dabei werden die Daten in unterschiedliche musikalische Parameter transformiert, welche für den Menschen sowohl wahrnehm- als auch unterscheidbar sind<sup>5</sup>. In der vorausgehenden *Parametrisierung* wird definiert, mit welcher *Skalierung* und durch welche musikalischen *Parameter* die Datenattribute repräsentiert werden sollen.

Hierin liegt auch heute noch ihr grosser Vorteil gegenüber anderen Sonifikationsmethoden: Durch die hohe Anpassungsfähigkeit der musikalischen Parameter an die zu Grunde liegenden Daten ist es möglich, das Auditory Display möglichst optimal an die Perzeption der Nutzer anzupassen und somit eine höhere Interpretationsfähigkeit als bei anderen Methoden zu erzielen (B. N. Walker & Nees 2011, S.363–364). PMS darf zu Recht als flexibelste Sonifikationsmethode bezeichnet werden, da sie es erlaubt, alle eingesetzten Parameter individuell anzusteuern (B. N. Walker & Nees 2011, S.373).

Da keine «universelle» Codierung von Werten besteht, muss diese abhängig von der spezifischen Applikation immer wieder neu erlernt werden (B. N. Walker & Nees 2011, S.364). Gemäss Grond und Berger soll in diesem Fall der für das Erlernen der Decodierung zu investierende Zeitaufwand minimal sein (B. N. Walker & Nees 2011, S.388):

«EFFECTIVE SONIFICATION MUST BE INTUITIVE AND EASILY LEARNED.»

Allein die intuitive Wahrnehmung zu berücksichtigen, würde die Effektivität der PMS nicht komplett ausschöpfen, da sich diese ebenso aus den weiteren Komponenten *Präzision*, *Umgänglichkeit* und *Verständlichkeit* der Sonifikation zusammensetzt. Je mehr der genannten Faktoren beim Sonifikationsprozess berücksichtigt werden, desto höher fällt schliesslich die Effektivität der PMS aus.

---

<sup>5</sup> Anmerkung: Die Entwicklung der westlichen Notenschrift geschah seit dem 10. Jh. genau in entgegengesetzter Richtung, wobei Aufbau, Tonhöhe, Rhythmus und Klangfarbe aus Klängen notiert wurden (B. N. Walker & Nees 2011, S.369).

- Da PMS eine hohe *Präzision* bei der Abbildung von Werten erlaubt, eignet sie sich im Vergleich zu anderen Sonifikationsmethoden besonders gut für die Exploration georeferenzierter Daten (B. N. Walker & Nees 2011, S.383).
- Die *Umgänglichkeit* fällt dabei umso höher aus, je mehr sich die Sonifikation auf die jeweilige Problemstellung fokussiert und je benutzerfreundlicher das gesamte Auditory Display System ist (B. N. Walker & Nees 2011, S.365).
- Zur *Verständlichkeit* tragen bei (B. N. Walker & Nees 2011, S.385):
  - die Zuordnung der Wertedimensionen an die musikalischen Parameter
  - die Polarität der Parameter (= Richtungsverlauf der musikalischen Parameter)
  - die Skalierung der Dimensionen
  - die Zuordnung der Wertedimensionen und
  - die akustische Wertevergleichsmöglichkeit zu Referenzwerten einer Legende.

#### PARAMETRISIERUNG

Die Wahl der eingesetzten Parameter wird bei der PMS offen gelassen, sodass alle verschiedenen musikalischen Parameter eingesetzt werden können. Sowohl diskrete Größen (z. B. *Klangfarbe*, *Instrumentation*, *Register* oder *Rhythmus*) als auch stetige Parameter (z. B. *Tonhöhe*, *Lautstärke*, oder *Tempo*) können dabei eingesetzt werden, wobei sich im stetigen Bereich die *Lautstärke* (= *Amplitude*), die *Tonhöhe* (= *Frequenz*) und das *Tempo* (= *Dauer*) durchgesetzt haben (B. N. Walker & Nees 2011, S.382). Obwohl sich die *Klangfarbe* gut zur Unterscheidung von Werten eignet, fehlt dafür eine Wahrnehmungsskala (B. N. Walker & Nees 2011, S.388).

Der Einsatz der Lautstärke ist umstritten, da das individuelle Hörempfinden nicht nur zwischen verschiedenen Personen, sondern auch bei einer Person aufgrund von *Maskierung* stark schwanken kann. Dadurch wird eine objektive Kategorisierung der wahrgenommenen Lautstärken verunmöglicht. Mit einer A-Bewertung können die Amplituden unabhängig ihrer Frequenz vereinheitlicht werden, sodass auch die Lautstärke als glaubwürdiger Sonifikationsparameter eingesetzt werden kann (B. N. Walker & Nees 2011, S.386).

**Definition:** PMS transferiert die Werte eines Datensatzes in unterschiedliche, abstrakte musikalische Parameter, wobei durch eine möglichst intuitiv wahrnehmbare Skalierung und Parametrisierung der Datenattribute in musikalische Parameter die Interpretationsfähigkeit des Rezipienten erhöht werden soll.

Der Begriff *Mapping* wurde einst für eine exakte Zuordnung eines Werteparameters zu einem musikalischen Parameter verwendet. Dabei hängen die berechneten Schallparameter direkt von den Werten des Datensatzes ab, wodurch ein multidimensionales Auditory Display möglich wird. Gemäss Hermanns Taxonomie wird jedoch empfohlen, den Begriff *Transformation* zu verwenden, da heute – im Gegensatz zur Zeit, als PMS als dominierendes Paradigma galt – die Möglichkeiten der Sonifikation über reines Mapping hinausgehen (Hermann 2008, S.1).

MAPPING VS.  
TRANSFORMA-  
TION

Die Transformation stetiger Daten in musikalische Parameter erlaubt es zudem, einen Eindruck analoger Klänge zu vermitteln, obwohl die transformierten Daten aufgrund der exakten Umwandlung de facto als Töne mit diskreten Werten wiedergegeben werden. Umgekehrt wird der Effekt der Körnigkeit durch das Vorhandensein diskreter Daten verstärkt (B. N. Walker & Nees 2011, S.365).

TRANSFORMA-  
TION

#### GROND UND BERGERS MODELL DES PROZESSABLAUFS DER PMS

Gemäss Abbildung 14 unterteilen Grond und Berger (B. N. Walker & Nees 2011, S.366) den Sonifikationsprozess der PMS in zwei Hauptabschnitte: Der erste betrifft die Eigenschaft der Daten, welche durch objektive Prozesse verarbeitet werden (rechteckig), während der zweite die synthetisierten Klänge umfasst, welche vom Nutzer wahrgenommen wird (oval). Eine effektive PMS setzt dabei die Eigenschaften der Daten (grau) in synthetisierte musikalische Parameter (blau) um, wobei sowohl die objektive Signalverarbeitung als auch die subjektive Wahrnehmung berücksichtigt werden (B. N. Walker & Nees 2011, S.366).

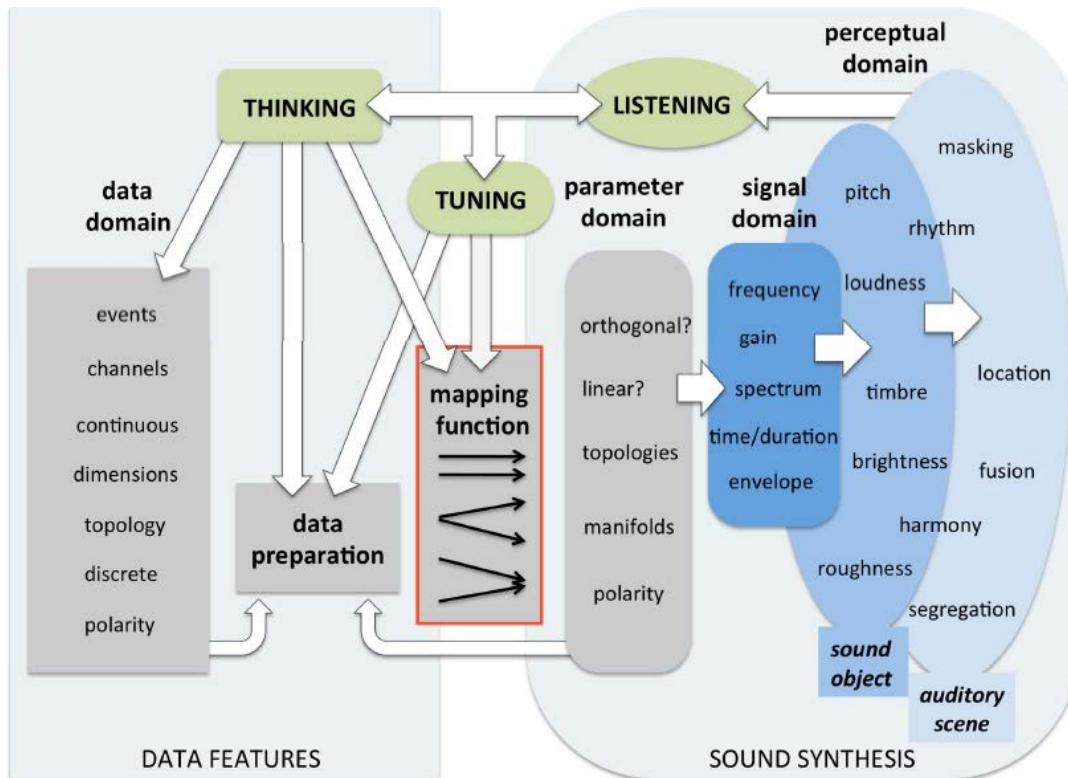


Abbildung 14: Prozessablauf einer Parameter Mapping Sonifikation (B. N. Walker & Nees 2011, S.366).

#### PMS-PROZESS

Drei Prozesse unterliegen dem gesamten System, nämlich der Denk- (*thinking*), Änderungs- (*tuning*) und Hörprozess (*listening*), wobei der Hörprozess aufgrund des Doppelpfeils *akroamatisch* sein soll. Anhand der verfügbaren Daten (*data domain*) soll entschieden werden, wie die Daten vorzubereiten sind, um eine möglichst hohe Interpretationseffizienz zu erzielen (*data preparation*).

Mit dem Ziel des bestmöglichen Resultats der Sonifikationsfunktion (*mapping function*) soll der Nutzer durch das *Tuning* Parameter der Sonifikation seinen Wünschen entsprechend anpassen können (z. B. Lautstärke und Frequenzspektrum). Tuning kann bei der Datenexploration sowohl Strukturen erkennbar machen als auch bereits gesammelte Lernerfolge durch die Gewöhnung an neue Parametrisierungen rückgängig machen (B. N. Walker & Nees 2011, S.374).

Die *mapping function* bestimmt, in welche Parameter die Daten überführt werden. Dabei werden in der Parameterdomäne (*parameter domain*) primäre Beziehungen zwischen den Daten definiert, worauf in der Signaldomäne (*signal domain*) der sonifizierte Klang als Zusammenstellung der physisch-akustischen Parameter<sup>6</sup> entsteht, welcher vom Menschen schliesslich in der

<sup>6</sup> Anmerkung: In der technischen Betrachtung (Signaldomäne) liegt die *Hüllkurve* (engl.: *envelope*) als technische Einheit der akustischen *Klangfarbe* zu Grunde.



Wahrnehmungsdomäne (*perceptual domain*) als Zusammenspiel aller Signale wahrgenommen und in Anbetracht seiner Erfahrungen in Sinneseindrücke verarbeitet werden. Das akroamatische Hören der Klänge wiederum beeinflusst das Denken (*thinking*) und das Ändern (*tuning*).

#### DARSTELLUNG MULTIVARIATER DATEN

Sollen multivariate Daten dargestellt werden, wird vor der Parametrisierung entschieden, wie viele und welche Dimensionen im Auditory Display durch Polyphonie oder durch den Einsatz unterschiedlicher musikalischer Faktoren sonifiziert werden sollen. Grundsätzlich kann eine solche *Transformation* auf drei Arten geschehen (B. N. Walker & Nees 2011, S.370–371,380):

Die mathematisch trivialste Parametertransformation stellt *one-to-one mapping* dar, bei welcher ein Parameter der Daten- zu einem musikalischen Parameter der Signaldomäne transformiert wird. Dabei werden die Dimensionalitäten beider beteiligten Parameter beibehalten.

Die *divergente Transformation* oder auch *one-to-many mapping* genannt, transformiert einen Parameter der Datendomäne auf mehrere Syntheseparameter der Signaldomäne gleichzeitig. Der Grund dafür liegt primär in der Erhöhung der Salienz von Merkmalen, welche sich durch Interaktion und ergo durch das Inkrafttreten von Ereignissen bemerkbar machen. Ein Schall, dessen Lautstärke und Tonhöhe bei einem Ereignis gleichzeitig ansteigt, weist eine viel höhere Salienz als ein Ereignis auf, bei dessen Schall nur ein Parameter ansteigt.

Die dritte und letzte Parametertransformation reduziert die Dimensionalität, indem mehrere Parameter der Datendomäne auf einen Parameter der Signaldomäne transformiert werden. Dieses Verfahren wird *konvergente Transformation* oder *many-to-one mapping* genannt und geht mit einem Informationsverlust einher. Diese Transformation tritt meist durch die Interdependenz zwischen den wahrgenommenen Klangparametern ein. Beispielsweise beeinflusst der automatische Anstieg der Amplitude beim Erhöhen der Frequenz von 100 auf 1000 Hz den Lautstärkeänderungseffekt, ohne die Lautstärke direkt zu ändern. In diesem Fall steuern mehrere Attribute der Datendomäne einen Parameter der Signaldomäne.

#### STREAM-BASED SONIFICATION

*Stream-Based Sonification (SBS)* stellt nach Hermanns Taxonomie weder eine eigenständige Sonifikationsmethode dar (Hermann 2008, S.2) noch wird sie in zwei bedeutsamen Büchern über Sonifikationsmethoden seit 2008 in einem eigenen Kapitel behandelt (Polotti & Rocchesso 2008; Hermann u. a. 2011). Sie wird als Variante der PMS betrachtet, wobei sie eine Mischung aus *PMS* und *Transformational Earcons* oder *Hierarchical Earcons* darstellt.

MULTIDIMENSIONALITÄT

ONE-TO-ONE  
MAPPINGONE-TO-MANY  
MAPPINGMANY-TO-ONE  
MAPPINGSTREAM-BASED  
SONIFICATION

Im Gegensatz zu *Transformational* oder *Hierarchical Earcons* wird beim Abspielen von Werten nicht auf bereits aufgezeichnete Klangsequenzen zurückgegriffen. Die Klangsequenz, auch *Stream* genannt, wird analog zur PMS interaktiv anhand der Nutzereingabe und der vorhandenen Werte gebildet, in einen Zwischenspeicher abgelegt und auf Befehl wiedergegeben (de Götzen u. a. 2008, S.410). Somit entsteht eine Variante der PMS, die ebenfalls interaktiv gesteuert und anhand der verfügbaren Daten in Töne umgesetzt, jedoch *nicht unmittelbar* sonifiziert wird.

#### 3.4.4.5 Model-Based Sonification (MBS)

##### MODEL-BASED SONIFICATION

*Model-Based Sonification* (MBS) beschreibt die heutzutage komplexeste Form der Sonifikation. In gleichem Masse interaktiv wie die PMS übertrifft sie diese an Abstraktion, da sie ein eigenes Tonberechnungsmodell mit internen Gesetzmässigkeiten aufweist. Im Gegensatz zur PMS ändern bei der MBS die Datenattribute die Architektur des dynamischen Modells und somit die Einstellungen des gerenderten Instruments, während der Nutzer durch seine Interaktion das Abspielen der Töne steuert (Hermann 2008, S.1).

##### MBS vs. PMS

Im Gegensatz zur PMS, deren Setting für die Sonifikation einer bestimmten Fragestellung gestaltet wurde, ist eine MBS universell einsetzbar. Während Interaktionen zur Steuerung einer PMS über die gesamte Dauer nötig sind, genügt eine Bewegung zum Anstoss einer Kettenreaktion, die Aufschluss über das ganze Modell geben kann. Akroamatisches Hören wird bei beiden Methoden vorausgesetzt, nur fokussiert PMS mehr auf das musikalische und MBS eher auf das alltägliche Hören (Hermann 2011a, S.423).

##### INTERAKTION

Während bei fehlender Interaktion bei einem MBS in der Regel kein Ton erklingt, wird das Sonifikationsmodell bei einer Interaktion angereizt (Hermann 2011a, S.399). Dadurch wird eine Kettenreaktion ausgelöst, welche von der Interaktion, von den Daten und somit auch vom Sonifikationsmodell abhängt und schliesslich ein akustisches Feedback erzeugt. Anhand dieser Prozessierung werden – im Gegensatz zur PMS, bei welcher «bloss» das Resultat der Transformation vermittelt wird – die Strukturinformationen *ganzheitlich* in den erzeugten Klang codiert. Das Auditory Display einer MBS bildet demnach nicht nur das Resultat des Sonifikationsprozesses, sondern die gesamte Struktur des Sonifikationsmodells ab (Hermann 2008, S.1).

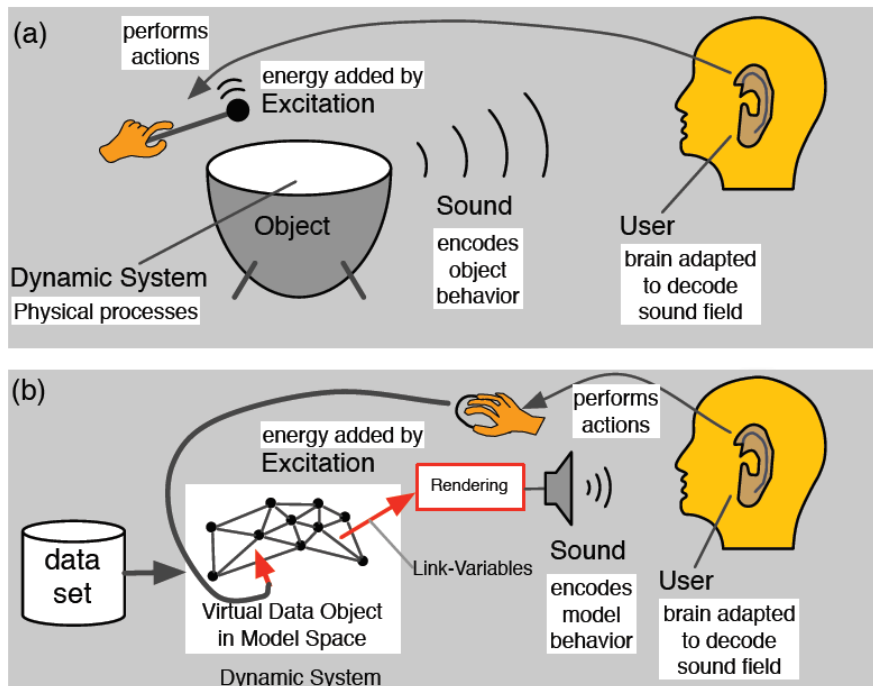


Abbildung 15: Interaktionsschleife einer MBS (Hermann 2011a, S.401).

Akroamatisches Hören ist eine Voraussetzung der Datenexploration (Hermann 2011a, S.400), wobei dem Nutzer aufgrund des akustischen Feedbacks die Möglichkeit eröffnet wird, seine Interaktion zu reflektieren und seine künftigen Handlungen seinen Absichten entsprechend anzupassen. In der Abbildung 15 wird dieser Sachverhalt verdeutlicht, wobei die obere Hälfte ein dynamisches Modell des physischen Anschlages einer Membran beschreibt, während im unteren Teil ein virtuelles Datenobjekt in einem virtuellen Raum verändert und über die Link-Variablen musikalische Parameter berechnet und wiedergegeben werden (Hermann 2011a, S.401). Beide Modelle widerspiegeln durch den wiedergegebenen Klang die Interaktion des Nutzers, welcher daraus selbstständig eine Interpretation und Schlussfolgerung deutet (Hermann 2011a, S.417) und sind demnach hoch interaktiv.

Das Prozessschema der MBS kann auf vier Ebenen (*data space*, *model space*, *sound space* und *listener*) mit sechs Komponenten (*setup*, *dynamics*, *excitation*, *initial state*, *link-variables* und *listener characteristics*) reduziert werden, welches in der Abbildung 16 schematisch festgehalten ist. Das *model space* wird erstens durch den Anfangszustand (*initial state*), zweitens durch das *Setup*, wie das Modell zu reagieren hat, drittens durch die dynamische Entwicklung (*dynamics*) einer Interaktion und viertens durch die Interaktion (*excitation*) gesteuert.

Die Link-Variablen (*link-variables*) transformieren das Resultat des Modellverlaufs in musikalische Parameter, wonach im *sound space* eine Klangabfolge wiedergegeben wird. Je nach Person variieren die Hörcharakteristiken (*listener characteristics*), welche zu einer unterschiedli-

chen Wahrnehmung im *listener perception space* führen. Aufgrund des Höreindrucks wird eine Aktion durchgeführt, welche das Sonifikationsmodell im *model space* auf interaktive Weise steuert.

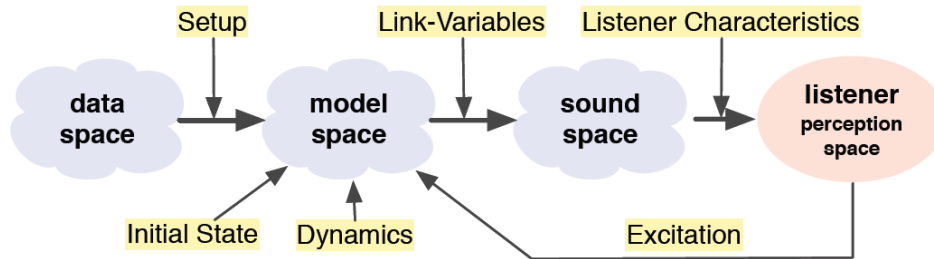


Abbildung 16: Prozessschema einer MBS (Hermann 2011a, S.404).

Analog zur PMS stellt die intuitive Wahrnehmung der gerenderten Klänge bei der Interpretation eine wesentliche Rolle. Je einfacher das dynamische System dabei verstanden wird, desto einfacher ist es für den Nutzer, die Resultate seiner Handlungen abzuschätzen und die Sonifikationsmethode als Analysetool zu benutzen (Hermann 2011a, S.417). Dabei eignen sich gemäss Hermann Bewegungen des alltäglichen Lebens am besten zur Interaktion mit einer MBS, da sie über taktile Reizwahrnehmungen bekannter Bewegungsabläufe gesteuert werden können (Hermann 2011a, S.419).

**Definition:** Model-Based Sonification (MBS) stellt ein aufgabenorientiertes und dynamisches Sonifikationsmodell hohen Interaktionsgrades dar, welches mit dem Ziel des Erkenntnisgewinns aufgrund einer Interaktion deren zeitliche Entwicklung berechnet und in musikalische Parameter transformiert.

### 3.5 Sonifikation in der GIScience

Sonifikation wird in der GIScience vor allem eingesetzt, um das Navigieren durch virtuelle oder reale Räume für Blinde zu ermöglichen und um die Exploration dieser Räume zu erleichtern (B. N. Walker & Nees 2011, S.383). Die Forschungsbereiche decken dabei ausserordentlich vielfältige Einsatzmöglichkeiten für Auditory Displays ab, was eine exakte Zuteilung in die Begriffe der heute verwendeten Sonifikationstaxonomie (Hermann 2008) in einigen Fällen schwierig macht.

Der folgende Literaturreblick behandelt zuerst Beiträge zu generellen Einsatzmöglichkeiten in der GIScience, wonach anschliessend eine Unterscheidung zwischen dem Einsatz diskreter und stetiger Raumdaten folgt. Es wurde darauf geachtet, einst verwendete Begriffe so genau als möglich in die heutige Terminologie zu überführen.

### 3.5.1 Generelle Einsatzmöglichkeiten in der GIScience

#### ORTUNG VON SCHALLQUELLEN

Vor der Veröffentlichung Kramers Buch (Kramer 1992) bestand eine raumbezogene Forschungsfrage in der Entwicklung mehrdimensionaler Auditory Displays, wie Schall wiedergegeben werden sollte, um die Richtung einer virtuellen Schallquelle orten zu können. Mit dieser psychophysischen Frage beschäftigten sich erstmals Wenzel u. a. (Wenzel u. a. 1988), wobei sie ein virtuelles, dreidimensionales Auditory Display System in Kopfhörergröße schufen, welches einer Freiluftbeschallung vergleichbar hohe Genauigkeit erzielte (Wenzel u. a. 1993, S.1).

(WENZEL U. A.  
1988)

#### KLANGVARIABLEN IN DER KARTOGRAFIE

Krygier (Krygier 1994) verfolgte die Idee, bei Karten die grafischen Bertin-Variablen (Bertin 1983) durch akustische Größen zu ersetzen. Ihm fiel auf, dass für die meisten bisherigen Forschungen über Auditory Displays bestimmte Grundvariablen wie beispielsweise *Lautstärke*, *Tonhöhe*, *Dauer* oder *Klangfarbe* eingesetzt wurden, welche er fortan *sound variables* (dt.: *Klangvariablen*) nannte (Krygier 1994, S.152). Da einige weiterführende Forschungen auf Krygiers Klangvariablen aufbauen, sollen sie folgend aufgelistet werden (Krygier 1994, S.153):

(KRYGIER  
1994)

- LOCATION (LAGE)
- LOUDNESS (LAUTSTÄRKE)
- PITCH (TONHÖHE)
- REGISTER (REGISTER)
- TIMBRE (KLANGFARBE)
- DURATION (DAUER)
- RATE OF CHANGE (ÄNDERUNGSRATE)
- ORDER (ANORDNUNG)
- ATTACK / RELEASE (EINSETZDAUER / ABKLINGDAUER)

Krygiers Analyse umfasste potentielle Einsatzgebiete, Aufgaben, Chancen und Risiken beim Einsatz von Klängen in der Kartografie (Krygier 1994, S.156–163) sowie eine Empfehlung, ob und aus welchen Gründen die genannten Klangvariablen für *nominale* oder *ordinale* Daten einzusetzen seien (Krygier 1994, S.153–157). Aufgrund des damaligen Forschungsstands verzichtete Krygier auf die Unterscheidung zwischen Ordinal- und intervall- bzw. verhältnisskalierten Daten (Krygier 1994, S.166).

Hauptsächlich bei dynamischen Phänomenen sprach Krygier dem Einsatz von Sonifikation ein hohes Potential zu (Krygier 1994, S.162–163), warnte jedoch davor, unbedacht Klangvariablen in der Kartografie einzusetzen, um eine «klangliche Überlastung» (Krygier 1994, S.159) oder ein «Chaos» zu meiden, mit den Worten (Krygier 1994, S.161):

«THE PURPOSE OF MAPS, REMEMBER, IS TO IMPOSE ORDER, NOT TO ACCURATELY REPRESENT CHAOS.»

Auch wurde die Wichtigkeit akustischer Legenden zur interaktiven Referenzierung der sonifizierten Werte betont (Krygier 1994, S.158–159). Beim Einsatz von Auditory Displays für sehbehinderte Menschen gab sich Krygier bedacht, indem er viele Fragen aufstellte und deren Antworten offen liess (Krygier 1994, S.160–161). Als hauptsächliches Problem nannte er die zweidimensionale Darstellung von Karten durch eindimensionale Klänge. Gleichzeitig zeigte er sich nicht nur in der Anwendung in der GIScience, sondern auch bei sehbehinderten Menschen optimistisch, indem er mit folgendem Zitat seine Publikation schloss (Krygier 1994, S.163):

«SOUND, IN OTHER WORDS, PROVIDES US WITH MORE CHOICES FOR REPRESENTING IDEAS AND PHENOMENA AND THUS MORE WAYS IN WHICH TO EXPLORE AND UNDERSTAND THE COMPLEX PHYSICAL AND HUMAN WORLDS WE INHABIT.»

Im Kapitel 6.4.3 «Kritik zu Krygiers Veröffentlichung (Krygier 1994)» werden einzelne Aspekte Krygiers Publikation – unter einem zeitgenössischen Blickwinkel betrachtet – diskutiert.

#### KLASSIERUNGEN DURCH KLÄNGE

(FISHER 1994)

Fisher (Fisher 1994) erforschte die Verlässlichkeit unterschiedlicher Klangvariablen als Alternative zur Repräsentation von Landnutzungsklassen eines Fernerkundungsbildes. Obwohl die Einteilung in Klassen einer Diskretisierung von Werten gleichkommt, betont Fisher, dass insbesondere durch die Tonhöhe und die Lautstärke die Abbildung sowohl nominal-, ordinal- als auch intervallskalierte und somit stetige Daten möglich sei (Fisher 1994, S.32).

Fisher verglich die Klangvariablen anhand eines selbstständig erstellen Programms einzeln untereinander und kam zum Schluss, dass der Informationsgehalt eines Bildes durch Sonifikation gesteigert werden könne. Die Darstellung einer Landnutzungs-kategorie durch mehrere Klangvariablen stelle im Gegensatz zur Darstellung verschiedener Klassen über unterschiedliche Klangvariablen einen Vorteil dar, während der zweite Fall als schwierig und nur unter Einbezug einer akustischen Legende als möglich galt (Fisher 1994, S.35).

#### MUSIK UND KLÄNGE IN DER CYBERKARTOGRAFIE

2005 präsentierte Théberge (Théberge 2005) Möglichkeiten, wie Musik und Klänge in einer multimedialen und multimodalen Kartografie eingesetzt werden können. Dabei behandelte er die Parameter *Ruhe*, *Stimme*, *Klänge* und *Musik* in Hinsicht auf ihre Eigenschaften beim Einsatz in der GIScience, wobei seine Ausführungen zu einem bewussten Umgang mit Klängen führen sollten. Erwähnt wurden dabei die Vermeidung von Redundanzen sowie die Verbreitung des kulturellen Aspekts durch Sonifikation (Théberge 2005, S.396–397, 403–404).

(THÉBERGE  
2005)

Gemäss seinen Ausführungen tragen Stimmen eine Botschaft der «Wahrheit» in sich, welche jedoch zugleich einen persönlichen Charakter aufweisen und einen Eindruck einer Kultur hinterlassen (Théberge 2005, S.395). Auch der Einsatz wiedererkennbarer Melodien, sogenannter Leitmotive, könne Assoziationen zwischen Musik und einem Prozess auslösen (Théberge 2005, S.404), die bis anhin nur durch den Einsatz von Auditory Icons möglich waren. Wegweisend für zukünftige Forschungen in diesem Bereich seien gemäss Théberge Entwicklungen der Game- und der Filmindustrie (Théberge 2005, S.409).

#### KRITIK AN DEFINITION ÜBER INTERAKTION IN DER GEOVISUALISIERUNG

In seiner Veröffentlichung befasste sich Crampton (Crampton 2002) mit verschiedenen Interaktivitätstypen der GIScience und monierte das Fehlen verschiedener Interaktionsmöglichkeiten ausserhalb statischer 2D-Visualisierungen (Crampton 2002, S.86). Zudem kritisierte er die damalige Auffassung der Bedeutung von *Interaktion in Geovisualisierung*, wonach diese als «ein System, welches die visuelle Datendarstellung aufgrund eines Nutzerinputs» definiert wurde und durch den Fokus auf das Visuelle haptische und akustische Sinneswahrnehmungen ausschloss (Crampton 2002, S.88).

(CRAMPTON  
2002)

#### UNTERSCHIEDUNG DER DATEN UND KLÄNGE IN «RÄUMLICH» ODER «NICHT-RÄUMLICH»

Nasir und Roberts behandelten in ihrem Literaturrückblick 2007 (Nasir & Roberts 2007) Forschungsarbeiten über Auditory Displays räumlicher Daten. Sie unterschieden *räumliche* Daten von *nicht-räumlichen* genauso wie *räumliche* Klangvariablen von *nicht-räumlichen* (Nasir & Roberts 2007, S.2). Räumliche Klangvariablen stellten Eigenschaften des binauralen Hörens (siehe Kapitel 3.3.2.2 «Das binaurale Hören») dar, durch welche der Mensch die räumlichen Dimensionen wie z. B. die Richtung oder die Distanz zu einer Schallquelle wahrnimmt, wohingegen unter nicht-räumlichen Variablen vor allem *Krygiers Klangvariablen* (siehe Seite 47) genannt wurden. Wie sich diese in Kombination mit räumlichen und nicht-räumlichen Daten verwenden liessen, wurde genauso behandelt wie der Einsatz unterschiedlicher Eingabemedien für die Exploration virtueller Räume durch Auditory Displays.

(NASIR &  
ROBERTS 2007)

### 3.5.2 Forschungen in der GIScience über Sonifikation diskreter Raumdaten

#### DISKRETE WERTE ALS PARAMETRIC AUDITORY ICONS

(LODHA U. A.  
1999)

1999 konnten Lodha, Joseph und Renteria (Lodha u. a. 1999) in einer Studie belegen, dass die Informationsvermittlung einer Visualisierung durch Sonifikation gesteigert werden kann. Als Grundlage diente ihnen eine Pixelkarte über die Kriminalitätsrate Vancouvers mit 20 Integerwerten, welche sie parallel zur Visualisierung durch den Einsatz der Parameter *Lautstärke*, *Pan*, *Bass* und *Höhen* sonifizierten, sodass jeder Parameter je fünf aufeinanderfolgende Werte abdeckte. Den Werten entsprechend wurde durch Interaktion ein zu Grunde liegender und sich in einer Endlosschleife befindender Musikstream geändert<sup>7</sup>, wonach die Methode rückblickend als *Parametric Auditory Icon* gilt.

#### THEMATISCHE KARTEN ALS PARAMETRIC AUDITORY ICON

(BRAUEN  
2006)

Brauen fasste 2006 sowohl theoretische Grundlagen der Sonifikation als auch Errungenschaften und Erkenntnisse verschiedener Forscher im Bereich zwischen Auditory Displays und GIScience zusammen und sprach dem Forschungsfeld ein hohes Potential zu (Brauen 2006, S.62–63). Als Einsatzmöglichkeit präsentierte er eine interaktive SVG-Karte (*SVG = Scalable Vector Graphics*), welche die Wahlresultate Kanadas Distrikte als *Parametric Auditory Icon* darstellte.

#### PIXELBASIERTE PARAMETRIC AUDITORY ICONS

(MACVEIGH &  
JACOBSON  
2007)

MacVeigh und Jacobson (MacVeigh & Jacobson 2007) erstellten 2007 ein Auditory Mapping eines Satellitenbildes mit vier Landnutzungsklassen, indem sie *Parametric Auditory Icons* als deren Vertreter einsetzten. Als Orientierungshilfe diente ihnen eine Interpolation, welche sich auf die Lautstärke der Parametric Auditory Icons auswirkte und wonach die dominante Landnutzungsklasse der umliegenden Gebiete als Balance in einem Kopfhörer dargestellt werden konnte (MacVeigh & Jacobson 2007, S.532–533).

---

<sup>7</sup> Anmerkung: Diverse Grundwerkzeuge, welche einen Musikstream anhand gegebener Daten ändern, wurden bereits 1991 von Scaletti und Craig entwickelt (Scaletti & Craig 1991).



### SOUNDSCAPES FÜR WANDERKARTEN

Laakso und Sarjakoski (Laakso & Sarjakoski 2010) entwickelten 2010 zwei auf *Adobe Flash* basierende saisonale Wanderkarten, welche vier Landnutzungskategorien über Soundscapes vermittelt (Laakso & Sarjakoski 2010, S.302–303). Durch Interaktion auf einem Touchscreen wurden die Soundscapes auf mobilen Geräten abgespielt, was bei einem Testlauf mit blinden und sehbehinderten Probanden aufgrund des unklaren Zweckes von Soundscapes jedoch nicht den erwarteten Erfolg mit sich brachte (Laakso & Sarjakoski 2010, S.303).

(LAAKSO &  
SARJAKOSKI  
2010)

### KATEGORIEN ALS EARCONS

Bearman und Lovett (Bearman & Lovett 2010) haben 2010 im Rahmen einer Studie ein *Auditory Display* für *ESRI ArcGIS* entwickelt, mit welchem die Genauigkeit von Ortsangaben sonifiziert wurde. Drei Genauigkeitskategorien wurden durch drei unterschiedlich hohe Klaviertöne als Earcons repräsentiert (Bearman & Lovett 2010, S.309). Bearman und Lovett prüften, inwieweit Sonifikation den Sehsinn zu unterstützen oder gar zu ersetzen vermochte, indem sie als Eingabemedium eine Computermaus verwendeten (Bearman & Lovett 2010, S.310). Als Resultat ergab sich ein nichtsignifikanter Effekt, was aber vermutlich auf die simple Fragestellung zurückzuführen war (Bearman & Lovett 2010, S.313). Trotz der Tatsache, dass Bearman und Lovett die Probanden qualitativ nach ihren musikalischen Fähigkeiten fragten (Bearman & Lovett 2010, S.310), erwähnten sie diesen Punkt in der Auswertung der Resultate nicht mehr.

(BEARMAN &  
LOVETT 2010)

### iSONIC: DISKRETE PMS FÜR BLINDE

Zhao veröffentlichte ihre Dissertation 2006 (Zhao 2006) über die blinde Erkennung diskreter Werte und Muster einer Choroplethenkarte mit fünf Klassen durch Sonifikation nach mehreren vorausgegangenen Papers über verschiedene Teilaspekte desselben Forschungsbereichs (u.a.: Zhao u. a. 2004; Zhao 2005; Zhao, Plaisant & Shneiderman 2005b; Zhao, Plaisant & Shneiderman 2005a; Zhao, B. K. Smith, u. a. 2005). Ihre Studie führte sie ausschliesslich mit Blinden durch und entwickelte *iSonic*, ein interaktives Programm, welches die abgefragten Informationen – je nach Informationsbedarf – durch Sprachausgabe oder durch PMS diskreter Werte darstellte. Eine intuitive Navigation und eine effektive Abfrage waren dabei durch die Benutzung von Touchpad und Keyboard gegeben (Zhao 2006, S.84).

(ZHAO 2006)

Die Fokussierung auf ein Programm, welches für den blinden Umgang mit Karten ausgerichtet ist, führte Zhao zur Anwendung eines Prozessablaufs, bei welchem zuerst ein *Grobüberblick* verschafft wird, bevor der Prozess mit der *Navigation*, dem *Filtrieren* von Informationen und dem *Abfragen* von Informationen auf Abfrage weitergeführt wird (Zhao 2006, S.32,50). Aus diesem Grund zählt eine Palette von Werkzeugen, welche die Interaktion steigern, zu ihren Haupt-

errungenschaften, womit sich die Sonifikation auf salienten Parameter wie die *Tonhöhe* und die *Balance* konzentrierte (Zhao 2006, S.158–166).

(DELOGU U. A.  
2010)

Um an Zhaos Ergebnisse anzuknüpfen und um weitere Erkenntnisse in diesem Bereich zu erlangen, führten Delogu u. a. (Delogu u. a. 2010) eine weitere Studie mit Zhaos iSonic durch, deren Resultat 2010 publiziert wurde. Der Fokus der Fragestellung wurde jedoch erstens darauf gelegt, welchen Einfluss das Eingabemedium auf die Zuverlässigkeit der Antworten hat, wobei die Resultate über die Bedienung von Touchpads mit jener von Keyboards verglichen wurden (Delogu u. a. 2010, S.168). Zweitens untersuchten Delogu u. a., ob Unterschiede bezüglich der Perception blinder, sehbeeinträchtiger und sehender Menschen, denen beim Test die Augen verbunden wurden, bestünden (Delogu u. a. 2010, S.166, 170).

Die Verwendung derselben Klangvariablen (Delogu u. a. 2010, S.167–168) verglichen mit Zhaos Durchführung ergab, dass räumliche Kognition nicht an Seherfahrungen gebunden ist und dass die Suchmuster abhängig vom Eingabemedium variieren (Delogu u. a. 2010, S.170–172). Ausserdem sei die Exploration virtueller Räume durch ein Keyboard qualitativ, diskret und symbolisch, während die Exploration durch ein Touchscreen quantitativ, kontinuierlich und analog erscheint (Delogu u. a. 2010, S.168).

### 3.5.3 Forschungen in der GIScience über Sonifikation stetiger Raumdaten

#### MBS EINES 3D-KLANGRAUMS

(HEUTEN U. A.  
2006)

Eine erstes Projekt, in welchem eine 2D-Karte durch MBS in einen 3D-Klangraum transformiert wurde, geht auch Heuten u. a. zurück (Heuten u. a. 2006). In ihrer Absicht, vektorbasierte Stadtpläne für Blinde zu erstellen, verfolgten sie – ähnlich Zhaos Konzept – das Ziel der Informationsreduktion auf wesentliche Aspekte (Heuten u. a. 2006, S.159). In ihrem virtuellen 3D-Modell war es möglich, mit Hilfe eines Tablets (Heuten u. a. 2006, S.162) auf einem «virtuellen Spaziergang», durch *Auditory Icon Streams* und *Hierarchical Earcons* sowohl die Lage als auch die Grösse und die Kategorie der Zielobjekte zu interpretieren. Neu in diesem Bereich war der Einsatz von *head-related transfer functions* (HRTF; siehe Adams und Wakefield (Adams & Wakefield 2008, S.881)) zur räumlich präzisen Ortung von Objekten, welche ihre Lautstärken je nach virtueller Distanz zum Hörer, Relevanz und Grösse anpassten (Heuten u. a. 2006, S.158).

#### RASTERSCANNING MIT PMS

(YEO &  
BERGER  
2008)

Eine generelle Möglichkeit zur Sonifikation von Rasterdaten, welche jedoch auch in der GIScience angewandt werden kann, entwickelten Yeo und Berger 2008 (Yeo & Berger 2008).

Durch eine *one-to-one* PMS wurden – ähnlich der Funktionsweis eines FM-Tuners – die Grauwerte der Pixel in Phasen eines Klangs umgewandelt, wobei ein Pixel einem Sample entspricht (Yeo & Berger 2008, S.3). Yeo und Berger sahen in ihrer Methode eine Möglichkeit zur Sonifikation bildspezifischer Texturen als Klangfarben (Yeo & Berger 2008, S.2).

## 4 Material und Methode

### 4.1 Study Design

Dieses Kapitel zeigt das Study Design – den zentralen Aufbau der vorliegenden Studie – auf, das erstens zur zielorientierten Programmierung einer Sonifikationsapplikation und zweitens zur Erstellung eines Fragebogens mit anschließender Evaluation aufgestellt wurde.

#### 4.1.1 Dimensionen und Verlauf des Study Designs

Um die Forschungsleitfragen zu beantworten, wurde das Study Design auf einer 3x3-Matrix aufgebaut, einem *Mixed Factorial Design* (Martin 2008, S.180), welches die Komponenten der Abbildung 17 umfasst. Das Ziel war es, durch die arbiträre Einteilung in drei Gruppen (Dimension «Methode»; *between-subject design*) jeweils denselben Test auf unterschiedlichen Komplexitätsstufen durchzuführen (Dimension «Komplexität»; *within-subject design*) und dabei eine Aussage über die Effizienz der eingesetzten Sonifikationsmethoden bei unterschiedlichen Komplexitätsstufen unter der Berücksichtigung des Vorwissens (Dimension «Hintergrund»; *within-subject design*) zu machen. Die folgenden Abschnitte behandelten die einzelnen Faktoren und die zugrunde liegenden Sachhypothesen detailliert.

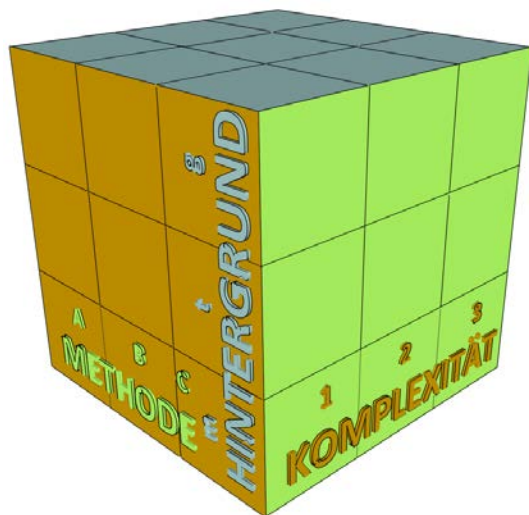


Abbildung 17: Skizze des Study Designs (eigene Darstellung).

#### HINTERGRUND

BEEINFLUSST  
VORWISSEN  
DAS RESULTAT?

Ein Ziel der Studie war es, Zusammenhänge zwischen dem Hintergrundwissen und dem Resultat des Experiments zu finden. Bestenfalls sollten Faktoren ermittelt werden, welche das Verständnis der Dateninterpretation durch Sonifikation begünstigen oder hemmen. In drei Berei-

chen konnte dabei das *Vorwissen* oder die *Erfahrung* von Bedeutung sein (siehe blaugraue Dimension der Abbildung 17):

- musikalisch (m)
- technisch (t)
- geographisch (g)

In verschiedenen Test wurden die Fähigkeiten der Probanden in diesen drei Bereichen ermittelt. Um einen Zusammenhang zwischen den Resultaten über das Verständnis des Auditory Displays und dem Hintergrund zu finden, musste die Ermittlung der einzelnen Hintergrundfähigkeiten bei jedem Probanden homogen durch ein *within-subject design* geschehen.

WITHIN-SUBJECT DESIGN

#### METHODE

Die Effizienzen mehrerer Sonifikationsmethoden zu vergleichen und daraus neue Erkenntnisse abzuleiten war eines der Leitziele der vorliegenden Arbeit. Daher entschied sich der Autor für drei Varianten, wonach die Probanden *per Losentscheid* in drei Gruppen eingeteilt wurden, welche jeweils *eine* der drei Methoden anzuwenden hatte (siehe hellgrüne Dimension der Abbildung 17). Somit entsprach dieser Aspekt der Durchführung einem *between-subjects design* (Martin 2008, S.148–151). Dabei war eine Zuteilung in folgende drei Gruppen möglich:

ZUTEILUNG

BETWEEN-SUBJECTS DESIGN

- Methode A (A)
- Methode B (B)
- Methode C (C)

#### KOMPLEXITÄT

Als dritte Dimension des Study Designs sei die *Komplexität* genannt, welche sich auf den Testverlauf bezog und mit steigendem Fortschritt an Komplexität zunahm. Jeder Proband hatte dieselben drei Tests in derselben Reihenfolge zu bewältigen. Demnach entsprach diese Methodik einem *within-subjects design* (Martin 2008, S.151–166). Lerneffekte wurden dabei bewusst in Kauf genommen, da nach Meinung des Autors ein gemischter Ablauf viele Probanden überfordert hätte, die mit der komplexesten Aufgabe hätten beginnen müssen.

WITHIN-SUBJECTS DESIGN

Ermittelt wurde dabei die *Genauigkeit* der Interpretation des DHMs, worauf jedoch im Kapitel 4.1.4 «Operationalisierung der Variablen (generell)» nochmals Bezug genommen und der Testverlauf genauer beschrieben wird. Aufgrund der Komplexitätszunahme über die Zeit weisen in

der folgenden Auflistung steigende Zahlen auf steigende Komplexitätsstufen hin (siehe hellbraune Dimension der Abbildung 17):

- Komplexität 1 (1)
- Komplexität 2 (2)
- Komplexität 3 (3)

#### 4.1.2 Entwicklung von Arbeitshypothesen

Die Wahl der drei genannten Variablen baute auf angenommenen und in wenigen Fällen auf überprüften Kausalitäten auf, woraus die Hypothesen abgeleitet wurden.

##### METHODEN

EINFLUSS  
GAMING-  
ERFAHRUNG

Die eingesetzten Methoden werden im Kapitel 4.3.4.6 «Parameter Mapping Sonification: Vorüberlegungen» genauer erläutert und sind als Code im Anhang ersichtlich (S.221–249). In den folgenden Abschnitten wurden die Kausalzusammenhänge zwischen den eingesetzten Variablen, den theoretischen Überlegungen und den daraus aufgestellten Hypothesen aufgelistet.

Eine erste Kausalität lag in der intuitiven Wahrnehmung zwischen der Tonhöhe und der geographischen Höhe, deren Darstellung abhängig von der gewählten Methode war. Daraus ergaben sich zwei Hypothesen:

GEOGRAPHISCHE HÖHE

- Kausalität 1:** Da die Tonhöhe bei der Repräsentation der räumlichen Dimension *Höhe* als intuitiv wahrnehmbare Variable gilt und der Mensch ein hohes Frequenzauflösungsvermögen besitzt, erzielt ein Modell, welches die Klangvariable *Tonhöhe* einsetzt, ein hohes Resultat bei der Interpretation des Auditory Displays. Da hingegen die *Dauer* durch den Wechsel zwischen Ton und Stille das Tonfeedback verlängert und zusammen mit anderen Klangvariablen interagieren kann, wird die Interpretation dadurch erschwert. Folglich bewirkt die Repräsentation der räumlichen Höhe durch die Tonhöhe genauere Interpretationsergebnisse als durch die Dauer.
- Anlehnung:** (Krygier 1994, S.159; Fisher 1994, S.32,34–35; Zhao 2006, S.46,85; Oswald 2012, S.260).
- Hypothese 1a:** Die Wahrscheinlichkeit, aus einem auditiven Signal, welches die räumliche Dimension *Höhe* darstellt, einen zugeordneten Wert zu extrahieren, ist beim Einsatz der Tonhöhe signifikant höher als bei der Verwendung der Klangvariable *Dauer*.

**Hypothese 2b:** Die Wahrscheinlichkeit, aufgrund eines akustischen Signals, welches die räumliche Dimension *Höhe* darstellt, auf interaktive Weise einen lokalen Extremwert zu finden, liegt beim Einsatz der *Tonhöhe* signifikant höher als bei der Verwendung der Klangvariable *Dauer*.

Eine zweite Kausalität beschrieb das Verhältnis zwischen den relativen Lautstärken eines linken und eines rechten Audioausganges (engl. *Pan* oder *Panning*; dt.: *Balance*), wodurch ein Raumeindruck vermittelt werden konnte:

**Kausalität 2:** Die relative Lautstärke eines linken und eines rechten Audioausgangs vermag einen Raumeindruck zu vermitteln, welcher intuitiv als *Pan* (bzw. *Balance*) wahrgenommen wird. Eine Tonhöhe hingegen, welche in einem bestimmten Spektrum von *tief* (links/rechts) nach *hoch* (rechts/links) häufig auf die tiefste Frequenz referenziert wird, stellt keine räumliche Klangvariable dar. Aus diesem Grund ist bei der Darstellung der geographischen Länge die Klangvariable *Lautstärke* besser geeignet als die Tonhöhe, sofern sie als *Pan* zwischen zwei Audioausgängen eingesetzt wird.

**Anlehnung:** (Krygier 1994, S.154; Heuten u. a. 2006, S.159; Zhao 2006, S.46; Nasir & Roberts 2007, S.2,4; Delogu u. a. 2010, S.168).

**Hypothese 3:** Die Wahrscheinlichkeit, aus einem auditiven Signal, welches die geographische Länge darstellt, einen zugeordneten Wert zu extrahieren, liegt beim Einsatz der Lautstärke signifikant höher als bei der Verwendung der Klangvariable Tonhöhe.

GEOGRAPHISCHE LÄNGE

Panning konnte aber auch zwischen zwei unterschiedlichen Schallquellen eingesetzt werden. Je lauter eine Quelle erschien, desto näher lag der Rezipient bei ihr. Obwohl kein direkter Raumbezug zwischen links und rechts bestand, konnte durch das Setzen einer Konvention dennoch ein Raumgefühl entstehen, da sich der Hörer in einem dynamischen Feld zwischen zwei Polen bewegte und sich die Anteile beider Schallquellen entsprechend seiner Interaktion anpassten.

**Kausalität 3:** Wird die relative Lautstärke als *Pan* zwischen zwei unterschiedlichen Wellentypen eingesetzt, vermag sie in einem Auditory Display bei gleichbleibender Gesamtlautstärke und sich ändernden Teillautstärken einen Raumeindruck zu vermitteln, da durch die Balance in der virtuellen Mitte ein Gefühl der Einbet-

GEOGRAPHISCHE BREITE

tung entsteht. Eine Tonhöhe hingegen, welche in einem bestimmten Spektrum von *tief* (Süd/Nord) nach *hoch* (Nord/Süd) häufig auf die tiefste Frequenz referenziert wird, stellt keine räumliche Klangvariable dar. Aus diesem Grund ist bei der Darstellung der geographischen Breite die Klangvariable *Lautstärke* besser geeignet als die Tonhöhe, sofern sie als Pan zwischen zwei Wellentypeneingesetzt wird.

Anlehnung: Annahme – basiert auf keiner bekannten Quelle.

Hypothese 4: Die Wahrscheinlichkeit, bei der Interpretation eines Auditory Displays unter allen Methoden den höchsten Durchschnittswert zu erzielen, ist beim Einsatz des Klangparameters *Lautstärke* signifikant höher als beim Einsatz der Tonhöhe, sofern damit die relativen Lautstärken zweier unterschiedlicher Wellenformen bei gleichbleibender Gesamtlautstärke abgebildet werden.

Eine weitere Möglichkeit der Tondarstellung beruhte auf der Verwendung eines *Streams*. Anstatt Werte auf sofortige Weise durch eigene, häufig ungleichmässig ausgeführte Bewegungen abzufragen, wurde davon ausgegangen, dass zeitlich und räumlich regelmässige Wertedarstellungen bei der Interpretation unterstützend wirkten. Dies aus dem Grund, da durch die regelmässigen Zeitabstände die Vergleichbarkeit mit zuvor abgefragten Werten erhöht wurde und sich der Nutzer den Werteverlauf einfacher merken konnte.

Kausalität 4: Da eine interaktive, motorische Aktion selten gleichförmig und gleichmässig abläuft, kann ein zuvor definierter, computergesteuerter Pfad in zeitlich regelmässigen und geometrisch präzisen Abschnitten wiedergegeben werden. Somit hat der Nutzer den Vorteil, bei der Suche nach Diskontinuitäten innerhalb eines Modells Werte unter gleichen Zeitabständen zu vergleichen, wobei eine höhere Präzision der Dateninterpretation erwartet wird.

Anlehnung: Annahme – basiert auf keiner bekannten Quelle.

Hypothese 5: Die Wahrscheinlichkeit, bei der Interpretation eines Auditory Displays unter allen Methoden den höchsten Durchschnittswert zu erzielen, ist beim Einsatz zeitlich und räumlich regelmässiger Wertedarstellungen höher als bei der interaktiven Werteabfrage durch willkürliche und ungegliederte motorische Bewegungen.



## KOMPLEXITÄT

Hypothesen, welche sich auf den Ablauf der Tests und auf die steigende Komplexität der Aufgaben bezogen, hätten den *Lerneffekt* ins Zentrum gestellt. Wie im Kapitel 4.4.1 «Durchführungskonzept» beschrieben, ging der Autor davon aus, dass ein solcher bestand, doch wurde er im Rahmen dieser Studie nicht vordergründig behandelt und daher nicht reflektiert gemessen. Sah man jedoch davon ab, konnte folgender Sachverhalt aufgestellt werden, welcher im Diskussionsteil näher behandelt wird:

LERNEFFEKT

**Kausalität 5:** Da die spezifische Parametrisierung der PMS ein Novum darstellt und keiner der Probanden zuvor mit einer vergleichbaren Parameterkonfiguration gearbeitet hat, bedarf es zum Verständnis des Auditory Displays einer Gewöhnungsphase, worauf im zunehmenden Verlauf der Tests mit exakteren Resultaten zu rechnen ist.

**Anlehnung:** Annahme – basiert auf keiner bekannten Quelle.

**Hypothese 6:** Die Wahrscheinlichkeit, bei der Interpretation eines Auditory Displays unter allen Komplexitätsstufen den tiefsten Durchschnittswert zu erzielen, ist bei einer erstmaligen Verwendung signifikant höher als bei den darauf folgenden Anwendungen.

Diese vorherige Hypothese berücksichtigte jedoch nicht die steigende Komplexität der Aufgaben, welche die Probanden zu lösen hatten. Diese äussert sich erstens darin, dass auf der niedrigsten Komplexitätsstufe mit diskreten Daten gearbeitet wurde, während die Modelle der oberen beiden Stufen auf stetigen Werten aufgebaut waren. Hierbei wurde davon ausgegangen, dass interpretierte Klangvariablen in ein kontinuierliches Spektrum übertragen werden konnten, welches frei von diskreten Kategorisierungen war.

DISKRET VS.  
STETIG

**Kausalität 6:** Da interpretierte Klangvariablen in ein kontinuierliches Spektrum übertragen werden können, werden beim Einsatz steiger Daten mit derselben Sonifikationsmethode keine ungenaueren Resultate bei der Interpretation von Werten erzielt als mit einem diskreten Datensatz.

**Anlehnung:** (Krygier 1994, S.166; Fisher 1994, S.32; Heuten u. a. 2006, S.158; Delogu u. a. 2010, S.168).

**Hypothese 7:** Die Wahrscheinlichkeit, bei der Interpretation eines Auditory Displays unter allen Komplexitätsstufen den höchsten Durchschnittswert zu erzielen, ist

beim Einsatz eines stetigen Datensatzes nicht signifikant geringer als beim Einsatz eines diskreten Datensatzes.

Eine zweite Methode, den Komplexitätsgrad im Laufe des Verfahrens zu erhöhen, war die Verkleinerung des Abbildungsmaßstabs bei zunehmendem *Level of Detail (LOD)*.

#### EINFLUSS DES LOD

- Kausalität 7:** Da der LOD bei abnehmendem Maßstab sowohl ein komplexeres räumliches Vorstellungsvermögen als auch eine höhere Konzentration erforderte, stieg im Laufe des Versuchs der Komplexitätsgrad an, wodurch stetig sinkende Resultate bezüglich der Interpretation des DHMs erwartet wurden.
- Anlehnung:** Annahme – basiert auf keiner bekannten Quelle.
- Hypothese 8a:** Die Wahrscheinlichkeit, bei der Interpretation eines Auditory Displays unter allen Komplexitätsstufen den höchsten Durchschnittswert zu erzielen, ist beim Einsatz eines grossen Maßstabs signifikant grösser als beim Einsatz eines kleinen Maßstabs.
- Hypothese 8b:** Die Wahrscheinlichkeit, bei der Interpretation eines Auditory Displays unter allen Komplexitätsstufen den höchsten Durchschnittswert zu erzielen, ist beim Einsatz eines kleinen LOD signifikant grösser als beim Einsatz eines hohen LOD.

#### HINTERGRUND

#### EINFLUSS MUSIKALISCHES VORWISSEN

Die erste Kausalität beruhte auf einem Zusammenhang mit dem musikalischen Vorwissen in Bezug zum generellen Umgang mit Tönen:

- Kausalität 8:** Je höher das musikalische Vorwissen, desto höher ist auch das musikalische Verständnis und der generelle Umgang mit Klängen.
- Anlehnung:** Ansatzweise an (Bearman & Lovett 2010, S.310), welche diesen Sachverhalt jedoch nicht spezifisch als These äusserten (siehe S.51).
- Hypothese 9:** Je höher das musikalische Vorwissen ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit eines hohen Resultats bei der Interpretation des Auditory Displays.

#### EINFLUSS TECHNISCHES VORWISSEN

Eine dritte Kausalität verband das technische Vorwissen mit der generellen Sicherheit im Umgang mit technischen Medien wie z. B. einem PC oder einem Tablet:

Kausalität 9:	Je höher das technische Vorwissen, desto sicherer fühlt sich der Proband im Umgang mit dem PC und dem Tablet.
Anlehnung:	Annahme – basiert auf keiner bekannten Quelle.
Hypothese 10:	Je höher das technische Vorwissen ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für ein hohes Resultat bei der Interpretation des Auditory Displays.

Der Einbezug des geographischen Verständnisses konnte dabei helfen, sich in einem virtuellen Höhenmodell einfacher orientieren zu können. Räumliche Formen konnten gemäss der Annahme somit einfacher erkannt und erfolgreich interpretiert werden.

EINFLUSS  
GEOGRAPHI-  
SCHES VER-  
STÄNDNIS

Kausalität 10:	Je höher das geographische Vorwissen, desto logischer und vertrauter erscheinen dem Probanden Reliefs und Höhenmodelle.
Anlehnung:	Annahme – basiert auf keiner bekannten Quelle.
Hypothese 11:	Je höher das geographische Vorwissen ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer hohen Genauigkeit bei der Interpretation des Auditory Displays.

#### ERGÄNZENDER HINTERGRUND

Ergänzend zu den drei im Study Design erwähnten Hintergründen stellte das Geschlecht ein interessantes Kriterium, dessen Effekt zu erforschen war.

EINFLUSS DES  
GESCHLECHTS

Kausalität 11:	Da zur heutigen Zeit der Zugang zu technischen Geräten nicht einem bestimmten Geschlecht vorbehalten ist, ist davon auszugehen, dass die Unterschiede in der Interpretation der Auditory Displays nicht signifikant in Bezug auf das Geschlecht sind.
Anlehnung:	Annahme – basiert auf keiner bekannten Quelle.
Hypothese 12:	Das Geschlecht hat einen nichtsignifikanten Einfluss auf die Interpretationsgenauigkeit von Auditory Displays.

Ebenfalls als Ergänzung war der Einfluss des Alters zu betrachten, welcher nicht als eine explizite Komponente des Study Designs vorgesehen wurde.

EINFLUSS DES  
ALTERS

Kausalität 12:	Da aufgrund des verbreiteten Gebrauchs des PCs das technische Verständnis über verschiedene Altersstufen tendenziell als hoch eingeschätzt werden
----------------	---

kann, sollten die Resultate hinsichtlich des Alters der Probanden keine signifikanten Unterschiede aufweisen.

Anlehnung: Annahme – basiert auf keiner bekannten Quelle.

Hypothese 13: Das Alter hat einen nichtsignifikanten Einfluss auf die Interpretationsgenauigkeit von Auditory Displays.

### 4.1.3 Definition der Variablen

Die folgende Auflistung und Beschreibung soll aufzeigen, welche Variablen für die vorliegende Forschungsarbeit verwendet wurden. Das Ziel war es, einen Einfluss der unabhängigen auf die abhängige Variable festzustellen und damit einen Zusammenhang aufzeigen zu können.

#### ABHÄNGIGE VARIABLE

ABHÄNGIGE  
VARIABLE

Die vier Forschungsleitfragen konnten mit dem Begriff *Genauigkeit* beantwortet werden, auf welche während des ganzen Testablaufs der Schwerpunkt gelegt wurde. Somit galt als einzige abhängige Variable die

- GENAUIGKEIT

Der Begriff *Genauigkeit* wurde je nach Aufgabenstellung von zwei bis drei Aspekten betrachtet und bedurfte einer *Operationalisierung*, auf welche im Kapitel 4.1.4 «Operationalisierung der Variablen (generell)» detaillierter eingegangen wird.

#### UNABHÄNGIGE VARIABLEN

UNABHÄNGIGE  
VARIABLEN

Gemäss der 3x3x3-Matrix des Study Designs (siehe Abbildung 17) konnten die drei Dimensionen *Hintergrund*, *Methode* und *Komplexität* als unabhängige Variablen aufgefasst werden, welche allesamt die abhängige Variable – die Genauigkeit der Antworten – beeinflussten. Es galt jedoch zu beachten, dass die Resultate der Hintergrundberechnung ebenfalls auf Genauigkeitsberechnungen basierten und bei ihrer Bestimmung selbst die abhängigen Variablen darstellten.

Erweiternd wurden auch Variablen wie das *Geschlecht* und das *Alter* der Probanden zur Auswertung beigezogen, was jedoch nicht zum Kern der Forschungsleitfragen gehörte. Somit gelten folgende Variablen als unabhängig:

• HINTERGRUND DES PROBANDEN	(MUSIKALISCH, TECHNISCH, GEOGRAPHISCH [ ])
• EINGESETZTE SONIFIKATIONSMETHODE	(A, B, C [ ])
• KOMPLEXITÄTSSTUFE DES TESTS	(1, 2, 3 [#])
• ALTERSGRUPPE	(19–24, 25–29, 30–39, 40–56 [A])
• GESCHLECHT	(M, W [ ])

Wie die Werte der unabhängigen Variablen erfasst und daraus Indices abgeleitet wurden, ist Gegenstand des Kapitels 4.3.3 «Fragebogen und spezifische Operationalisierung».

#### KONTROLLVARIABLEN

Zu den Kontrollvariablen (Martin 2008, S.27–28; Huber 2009, S.72–73) zählten in der vorliegenden Arbeit hauptsächlich folgende technische Gegenstände, mit denen die Probanden umgehen mussten, um eine Aufgabe zu bewerkstelligen (siehe Kapitel 4.3 «Apparate, Materialien und Programme»):

- PC
- EINGABEMEDIUM
- KLANGAUSGABEMEDIUM
- LICHTVERHÄLTNIS

KONTROLLVARIABLEN

#### ZUFALLSVARIABLEN

Zufällig definierte Variablen betrafen vor allem die *Tageszeit* oder den *Wochentag* der Testdurchführung. Da die Durchführung der Testreihen mit den Probanden abgesprochen und ein günstiges Zeitfenster dafür gefunden werden musste, variierte diese Variable während der ganzen Testperiode stark. Durch die Mobilität des Testapparates war es zudem möglich, den Test an verschiedenen Orten durchzuführen. Relevant war dabei eine ruhige Umgebung innerhalb eines stromversorgten Gebäudes mit angemessenen Lichtverhältnissen. Andere Zufallsvariablen wurden aufgrund der hohen Varianz nicht berücksichtigt, womit folgende drei Variablen zufälligen Charakter aufwiesen:

- TAGESZEIT
- WOCHENTAG
- ORT DER TESTDURCHFÜHRUNG

ZUFALLSVARIABLEN

#### 4.1.4 Operationalisierung der Variablen (generell)

Da eines der Forschungsziele einen *direkten Vergleich* zwischen den messbaren Resultaten und dem Hintergrundwissen der Probanden anstrebte, um allfällige Zusammenhänge ausfindig zu machen, mussten nicht direkt fassbare, abstrakte Begriffe operationalisiert werden. Dies geschah, indem jeder operationalisierte Wert abhängig von seiner Wirkung auf einen Wert *zwischen null und eins* normiert wurde, wobei *null* den niedrigsten und *eins* den höchsten Wert darstellte. Auf diese Weise wurde die Vergleichbarkeit zwischen den abhängigen Variablen gewährleistet.

Von den im Kapitel 4.1.3 «Definition der Variablen» aufgelisteten Variablen wurden folgende operationalisiert:

- TECHNISCHER HINTERGRUND
- MUSIKALISCHER HINTERGRUND
- GEOGRAPHISCHER HINTERGRUND
- GENAUIGKEIT

Die restlichen Variablen waren bereits als qualitative oder als quantitative Werte vorhanden und konnten direkt in der Analyse verwendet werden. Um die Operationalisierung der einzelnen Variablen übersichtlicher zu gestalten, wurden die zu operationalisierenden Begriffe der Pre-Tests gemäss ihrer Einteilung der Testgattung im Kapitel 4.3.3 «Fragebogen und spezifische Operationalisierung» behandelt. Da die *Genauigkeit* hingegen für alle angewandten Sonifikationsmethoden des Main Tests galt, wird ihre Operationalisierung in den folgenden Abschnitten erklärt.

#### GENAUIGKEIT

Die Genauigkeit wurde unter unterschiedlichen Aspekten betrachtet, wobei die Probanden das Auditory Display ausschliesslich über den Hörsinn wahrnahmen. Dadurch konstruierten sie sich bei der Exploration ein intrinsisches Modell, wobei gemessen wurde, wie weit Schätzungen darüber von den real angezeigten Cursorpositionen abwichen. Somit beschrieb die *Genauigkeit* erstens den Sachverhalt zwischen der angezeigten Position und der Schätzung des intrinsischen Modells.

Je nach Art der Frage war es auch möglich, eine absolute Abweichung festzustellen – sei es von der aktuellen Cursorposition oder von der geschätzten Lage des intrinsischen Modells zum tatsächlichen Zielpunkt. Dies eröffnete zwei neue Aspekte der Genauigkeit, nämlich zweitens den

Sachverhalt zwischen der tatsächlichen Zielposition und der Schätzung des intrinsischen Modells und drittens die Genauigkeit des physisch angezeigten Resultats verglichen mit dem tatsächlichen Zielwert der Aufgabenstellung.

Zusammengefasst existierten drei Sachverhalte, welche die Genauigkeit beschrieben:

- a) Genauigkeit, welche die Qualität der Antwort hinsichtlich des Abstandes der tatsächlichen, physisch angezeigten Position zum eigentlichen Zielpunkt der Aufgabenstellung beschreibt (sofern ein Zielpunkt vorhanden ist).
- b) Genauigkeit, welche die Qualität der Antwort hinsichtlich des Abstandes einer Schätzung des intrinsischen Modells zum eigentlichen Zielpunkt der Aufgabenstellung beschreibt (sofern ein Zielpunkt vorhanden ist).
- c) Genauigkeit, welche die Qualität der Antwort hinsichtlich des Abstandes einer Schätzung des intrinsischen Modells zur tatsächlichen, physisch angezeigten Position beschreibt.

Die Relationen konnten mit Bezug auf die soeben aufgestellte Gliederung wie folgt grafisch dargestellt werden:

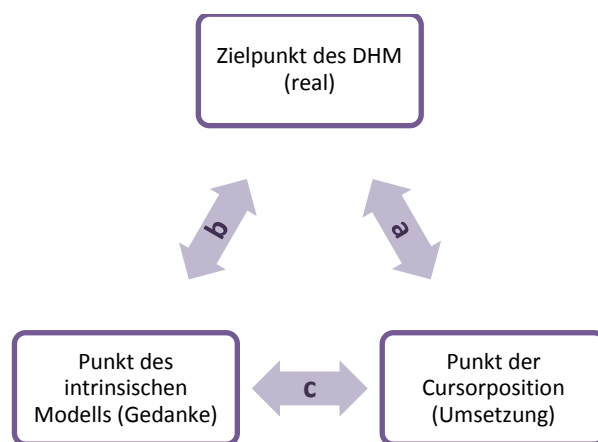


Abbildung 18: Genauigkeitsrelationen zwischen involvierten Instanzen.

Bezüglich der Berechnung rasterbasierter Distanzen, welche für die Ermittlung der Genauigkeiten relevant war, galt zudem folgender Grundsatz:

- Da das DHM rasterbasiert vorlag und in Pixel gerechnet wurde, wurde zur Berechnung der *rasterbasierten Distanz* zwischen zwei Punkten nicht die euklidische Distanz, sondern die maximale Distanz in x- oder in y-Richtung verwendet (= *Digital Differential Analyzer*).
- Excel-Formel:  $\text{DISTANZ}=\text{MAX}(\text{ABS}(\text{ZielX}-\text{AktuellX}),\text{ABS}(\text{ZielY}-\text{AktuellY}))$

## 4.2 Probanden

### ANZAHL PRO- BANDEN

Um die Interpretationsgenauigkeit von Raumdaten messen und beurteilen zu können, wurden sowohl Bekannte des Autors angefragt und einen Aufruf zur freiwilligen Teilnahme an der Studie gestartet. Insgesamt wurde der Test mit 65 Probanden durchgeführt, wobei zwei den Pilottest absolvierten und zwei weitere nicht zu den Resultaten gezählt werden konnten. In einem Fall wurde der Test aufgrund einer Überforderung abgebrochen, wohingegen eine weitere Person eine negativ beeinträchtigende Störung des Hörorgans aufwies und damit das Resultat allfällig verfälscht hätte. Letzten Endes haben *61 Probanden* den Test abgeschlossen.

### SONIFIKATIONS- ERFAHRUNG

Für alle Probanden stellte die Teilnahme an der vorliegenden Studie nach eigenen Angaben die erste Verwendung einer Sonifikationsapplikation dar.

### SEHVERMÖGEN

Die Entscheidung, nur Probanden mit intaktem Sehvermögen einzusetzen, beruhte auf dem Grund, dass sich durch den Einbezug sehbehinderter Menschen das Study Design um eine Dimension erweitert hätte (siehe Kapitel 4.1.1 «Dimensionen und Verlauf des Study Designs»). Somit wäre die doppelte Anzahl an Probanden – ungefähr 120 – nötig gewesen, wofür die zur Verfügung stehende Zeit nicht ausgereicht hätte.

### ANFORDE- RUNGSPROFIL

Es wurden primär Versuchspersonen beider Geschlechter gesucht, welche im Umgang mit dem PC mässig bis sehr geübt waren. Auch sollten sie ein Minimum an Raumverständnis besitzen und ca. 90 Minuten Zeit für die freiwillige Teilnahme aufbringen. Diese Voraussetzungen sah der Autor vor allem in der Gruppe ab einem Alter von 18 Jahren bei abgeschlossener Sekundärbildung bis zu einem Alter von 55–60 Jahren gegeben.

### ALTER

Die Festlegung auf ein Mindestalter war einerseits auf eine Erkenntnis des Pilottests zurückzuführen (siehe Kapitel 4.4.2 «Pilottest»), andererseits vermutete der Autor ein wachsendes räumliches Vorstellungsvermögen mit steigendem Alter aufgrund von gesammelten Erfahrungen (u. a. durch Reisen). Durch eine abgeschlossene Sekundärbildung sah der Autor eine höhere Wahrscheinlichkeit zum arbeitsorientierten und routinierten Umgang mit einem PC als bei Personen ohne abgeschlossene Sekundärbildung. Umgekehrt stellte mit zunehmendem Alter die rückläufige Verwendung von PCs samt dem tendenziell sinkenden Verständnis für neue Technologien ein potenzielles Risiko für ein Unverständnis der PMS dar. Aus diesen Gründen wurden Altersgrenzen zwischen 18 und 60 Jahren bestimmt.



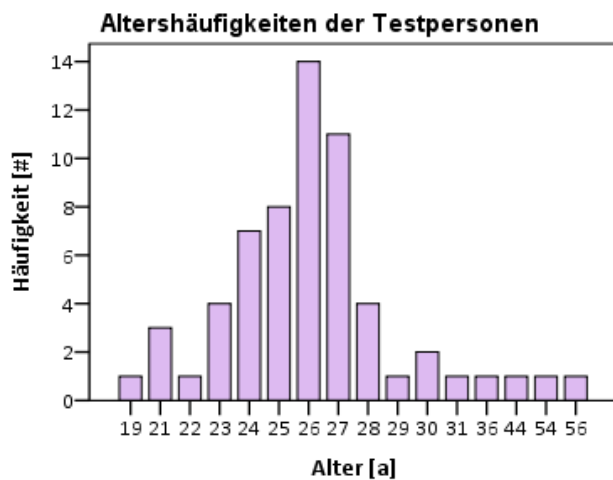


Abbildung 19: Altersverteilung der Testpersonen.

Um Unterschiede zwischen Altersgruppen festzustellen, wurden die Probanden gemäss ihrem Alter in Klassen unterteilt, wobei die grösste Anzahl der Teilnehmer zwischen 19 und 29 Jahren alt war. Deswegen lag es für den Autor nahe, diese Gruppe in zwei Hälften zu teilen. Folglich nahm die Gruppe zwischen 25–29 Jahren mit 38 Probanden mit 62.3% den grössten Anteil an der Gesamtmenge der Stichprobe ein.

ALTERSKLASSEN

Alter [a]	Häufigkeit [#]	Anteil in %
19–24	16	26.2
25–29	38	62.3
30–39	4	6.6
40–56	3	4.9
<b>Total</b>	<b>61</b>	<b>100.0</b>

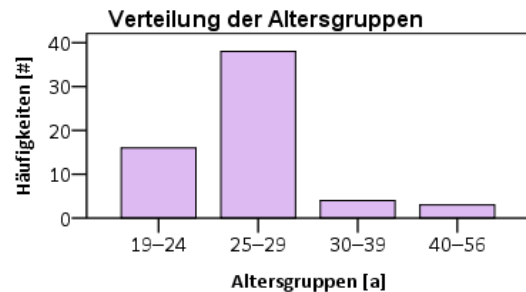


Tabelle 2: Altersverteilung der Testpersonen nach Altersklassen mit detaillierten Werten (links).

Abbildung 20: Verteilung der Testpersonen nach Altersklassen (rechts).

Nebst dem Alter wurde auch ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den beiden Geschlechtern angestrebt. Von den 61 Teilnehmern waren 26 weiblich und 35 männlich. Die exakten Anteile sind in der Tabelle 3 ersichtlich.

GESCHLECHT

Geschlecht [w/m]	Häufigkeit [#]	Anteil in %
w	26	42.6
m	35	57.4
<b>Total</b>	<b>61</b>	<b>100.0</b>

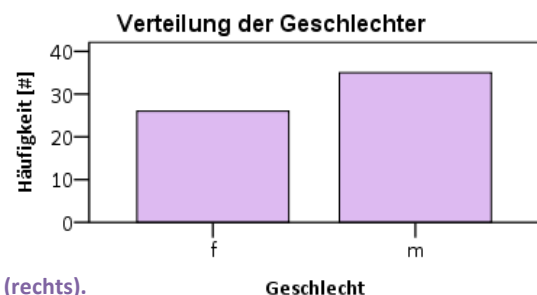


Tabelle 3: Geschlechterverteilung der Testpersonen.

Abbildung 21: Verteilung der Testpersonen nach Geschlecht (rechts).

## 4.3 Apparate, Materialien und Programme

### 4.3.1 Technische Vorüberlegungen

#### WAHL DES DATENSATZES

Da die Perzeption kontinuierlicher Daten erforscht werden wollte, stellte sich die Frage nach einem geeigneten Datensatz. Der Autor entschloss sich aus den folgenden drei Gründen, dafür ein *digitales Höhenmodell (DHM)* zu verwenden:

DHM ALS  
DATENSATZ

- Stetigkeit ist in einem DHM in allen drei Raumkomponenten gegeben.
- Kontinuierliche Raumdaten kommen häufig in Form von DHM vor.
- Die Darstellung von Raumdaten in Form eines DHM wurde bis heute nur wenig erforscht.

DIDAKTISCHER  
HINTERGRUND

Bezüglich der aufsteigenden Komplexität durfte ein reales DHM erst auf der höchsten Komplexitätsstufe eingesetzt werden, da nach Meinung des Autors der schrittweise Einstieg in ein vollkommen neues und abstraktes Wahrnehmungsgebiet für einige Probanden überfordernd gewesen wäre. Auch lag es nahe, mit einem diskreten Modell zu beginnen, um diese Resultate später mit denen eines stetigen Modells zu vergleichen. Eine Zwischenstufe bildete zwar ein stetiges, doch künstliches und abstraktes DHM mit nur wenigen Ausprägungen, welches jedoch das Erlernen einer systematischen Explorationstechnik erlaubte.

DHM AUS  
BILDDATEI

Die DHM der beiden tiefen Komplexitätsstufen wurden mit Hilfe des Programms `pre_test_load_image.pde` (siehe S.217–218) von je einem Schwarzweissbild transformiert. Dabei wurden in einer Auflösung von 1280x800 Pixel 256 mögliche Graustufen in Höhenwerte von 400–4225 Meter umgewandelt. Die Höhen liessen sich als elementare geometrische Figuren mit ähnlicher Grösse und ausgeglichener Verteilung visualisieren (siehe Abbildung 22):

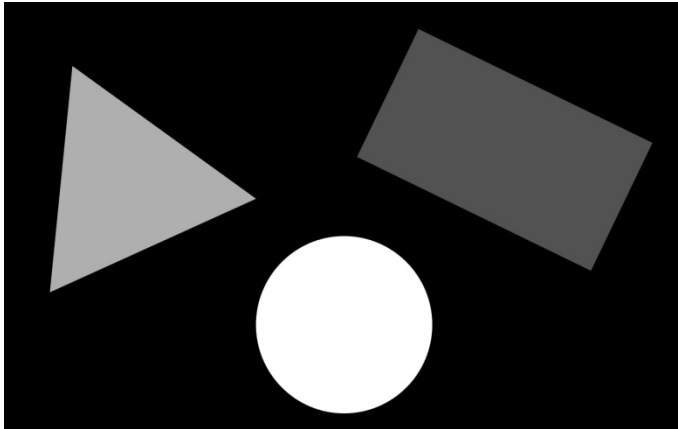


Abbildung 22: Visualisierung des diskreten DHM `dem_disc_2`.

Analog dazu wurde ein stetiges DHM mit demselben Höhenumfang erstellt. Die Wahl der Verläufe fiel auf ein unregelmässiges Grössen-, Formen- und Verteilungsmuster der dargestellten Höhen, deren Visualisierung in Abbildung 23 ersichtlich ist:



Abbildung 23: Visualisierung des stetigen, künstlichen DHM `dem_cont_art`.

Als reales und komplexes DHM wurde einen Ausschnitt des schweizerischen *DHM25* (swisstopo 2011) gewählt, welches nebst einem Grossteil der Schweiz auch Teile der umliegenden Länder beinhaltet. Das DHM wies eine Maschenweite von 200 Metern und eine Genauigkeit im Dezimeterbereich auf. Die Originaldatei wurde mit dem Programm `pre_test_read_file.pde` (siehe S.218–221) auf die Bildschirmauflösung von 1280 x 800 Pixel reduziert, was in Realität 256 x 160 Kilometern entsprach. Aufgrund des Verlaufs der Landesgrenzen ergab sich nach Abzug der Flächen ohne Daten (graue Flächen der Abbildung 24) ein abgedeckter Flächenanteil von 97.17%.

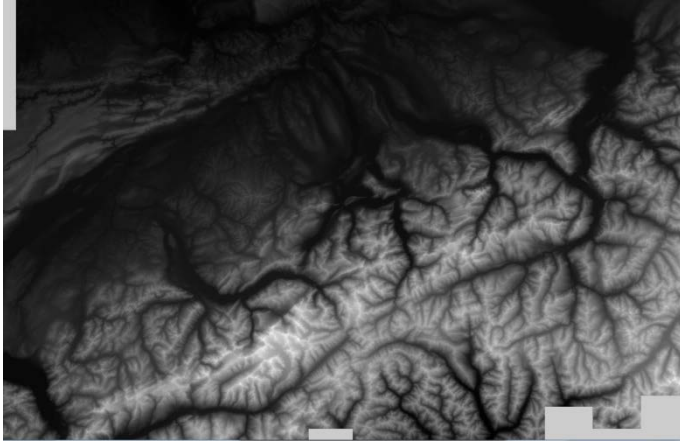


Abbildung 24: Visualisierung des Ausschnittes aus dem DHM25 (swisstopo).

#### WAHL DER SONIFIKATIONSMETHODE

Bei der Wahl der Sonifikationsmethoden galten folgende zwei Prämissen:

- Das Skalenniveau der Grunddaten soll bei der Sonifikation gewahrt werden.
- Die Information soll interaktiv und unmittelbar abgerufen werden können.

PMS ALS  
SONIFIKATIONSMETHODE

Wie bereits im Kapitel 3.4.4.4 «Parameter Mapping Sonification (PMS)» beschrieben, gilt PMS eine äusserst flexible Sonifikationsmethode, welche die Darstellung stetiger Daten zulässt. Dadurch sollte eine hohe Interaktion und das unmittelbare Abfragen von Daten gewährleistet werden. Auch Hermanns Empfehlung, für eine erfolgreiche exploratorische Datenanalyse die Sonifikationsparameter *homogen* einzusetzen und damit eine Invarianz in der Anwendung der Gesetzmässigkeiten zu vermeiden (siehe S.33), bezieht sich auf Eigenschaften, welche die PMS umzusetzen vermag. Aus diesen Gründen und da das Ziel der *stetigen* Parameterzuordnung unter einer hohen Interaktion erreicht werden wollte, fiel die Wahl der Sonifikationsmethode auf die PMS.

Zusätzlich dazu kam die Idee auf, eine Profillinie zwischen zwei Punkten als Stream abzuspielen. Folglich wurde nebst der PMS als zweite Sonifikationsmethode eine SBS auf der Basis der bestehenden PMS entwickelt.

#### WAHL DER PROGRAMMIERUMGEBUNG

PROCESSING

Zur Umsetzung des Vorhabens eignete sich die Programmierumgebung *Processing* gut, da die Programmiersprache mit Kenntnissen von *JAVA* und *JavaScript* vergleichsweise einfach erlernbar war. Als Vorteile waren unter anderem die integrierten Steuerfunktionen zur Darstellung von Grafiken, in der an *JAVA* angelehnten, jedoch vereinfachten Syntax zu nennen. Ausserdem

bot Processing eine Kompilierung in alle gängigen Betriebssysteme sowie das Exportieren als webtaugliches *Java-Applet* an, um Nutzern mobiler Geräte mit Touchfunktion die Applikation zukünftig anbieten zu können, sofern diese Java unterstützen.

Da die akustische Ausgabe von Tönen nicht in der gewünschten Form nativ vorhanden war, musste zusätzlich *Krister Olssons Library Ess* verwendet werden, auf welche auch im Processing-Handbuch verwiesen wurde (Dubois 2007, S.589–599).

LIBRARY ESS

### 4.3.2 Verwendete Apparate

#### BERECHNUNGSMEDIUM

Die verwendeten Apparate mussten die Darstellung eines Auditory Display ermöglichen, welches interaktiv bedient werden konnte. Da das Auditory Display programmiert werden musste und verschiedene Programmapplikationen eingesetzt werden mussten, fiel die Wahl des Hauptgerätes auf ein portables Notebook mit ausreichend Arbeitsspeicher und Prozessorleistung. Ein HP ProBook 6560b erfüllte alle technischen Anforderungen bei Weitem.

NOTEBOOK

- Notebook: HP ProBook 6560b; i5-2520M CPU @ 2.5 GHz; 4 GB RAM; 64-bit Win 7

#### EINGABEMEDIUM

Über das Keyboard sollten Zusatzinformationen eingeblendet werden können – entweder in Form einer akustischen Legende für den Probanden oder als Shell-Output für den Versuchsleiter. Die Tastenbelegung sollte dabei frei wählbar und nur mit einer Hand zu bedienen sein, damit die andere Hand ein Navigationsmedium bedienen konnte.

KEYBOARD

Da eine möglichst intuitive Eingabemethode angestrebt wurde, fiel die Wahl auf ein *Tablet mit Touchpad-Funktion*, welche dem Probanden die Navigation über Fingerberührungen erlaubt hätte. Gleichzeitig bot ein Tablet den Vorteil, den Rand und somit eine Begrenzung zu fühlen. Eine Touch-Eingabemethode wurde u.a. auch von Zhao (Zhao 2006, S.84), Delogu u. a. (Delogu u. a. 2010, S.168) und Laakso und Sarjakoski (Laakso & Sarjakoski 2010, S.303) angewandt, während Heuten u. a. (Heuten u. a. 2006, S.162) ein Tablet mit Stifteingabe einsetzte<sup>8</sup>.

TABLET

---

<sup>8</sup> Anmerkung: Obwohl Bearman und Lovett (Bearman & Lovett 2010, S.310) und MacVeigh und Jacobson (MacVeigh & Jacobson 2007, S.530–531) auch Prototypen für Karten für Blinde entwickelten, haben sie sich als Eingabemedium für eine Maus entschieden, die im Vergleich zu einem Tablet keine randliche Begrenzung aufwies.

Der Autor entschied sich daher für ein Tablet des Typs *Wacom Bamboo CTH-460*, welches sich aufgrund der mangelnden Unterstützung des Treibers nicht durch Touch- sondern nur durch Stifteingabe im *Stiftmodus* (= Navigation über absolute Koordinaten) steuern liess. Der Stift als Navigationsmedium wurde eingesetzt, da die Zuordnung absoluter Koordinaten dem Autor verglichen mit der intuitiven Touch-Eingabe das wichtigere Kriterium zu sein schien. Die vier Sondertasten wurden mit den wichtigsten Funktionen des Keyboards belegt, um die Legende aufrufen zu können.



Abbildung 25: Wacom Bamboo CTH-460 (Quelle: [itp.net](http://itp.net); Zugriff: 10.1.2012).

Aufgrund von Beobachtungen während des Pilottests (siehe Kapitel 4.4.2 «Pilottest») wurden die Ränder des Tablets abgeklebt, sodass einerseits die Grenzen fühlbar wurden und andererseits um Klicks abseits der Visualisierung des Auditory Displays zu vermeiden.

- Eingabemedium: Wacom Bamboo Pen & Touch CTH-460
- Eingabemedium: Keyboard des Notebooks

#### WIEDERGABEMEDIUM

#### KOPFHÖRER

Die Wahl des Kopfhörers fiel auf einen geschlossenen Studiokopfhörer mit hoher Klangtreue. Zentral war dabei, dass es sich um einen geschlossenen Kopfhörer handeln musste, der Umgebungsgeräusche gut zu filtern vermochte. Da dem Autor ein solcher der Marke *Beyerdynamics* zur Verfügung stand, wurde er für die Studie eingesetzt.

Da der Versuchsleiter die Aktionen der Probanden stets akustisch und visuell überwachte, musste an den Stereo-Audio-Ausgang des Notebooks ein Splitter angeschlossen werden, der das Stereo-Signal auf zwei Stereo-Signale verdoppelte. Diesen Zweck erfüllte ein Stereo-Y-Audio Adapter der Marke *Hama*. Der Versuchsleiter hörte die Interaktionen des Probanden über einen ebenfalls geschlossenen *Technics*-Kopfhörer mit.

- Kopfhörer: Beyerdynamic DT770 (Proband; Abbildung 26 links)
- Kopfhörer: Technics RP-DJ1200 (Versuchsleiter; Abbildung 26 rechts)
- Splitter: Hama 3.5 mm Y-Audio Adapter Stereo (Abbildung 26 Mitte)



Abbildung 26: Kopfhörer und Splitter (Quellen von links nach rechts: beyerdynamic.com, digitec.ch, audiopala-ce.de; Zugriff: 10.1.2012).

#### LICHTUNDURCHLÄSSIGE BRILLE

Die Probanden wurden mit verdeckten Augen auf ihre Interpretationsfähigkeit eines Auditory Displays getestet, damit erstens der Sehsinn entlastet und der Fokus ganz auf den Hörsinn gerichtet werden konnte. Zweitens durften die Probanden nicht ihre Bewegungen auf dem Tablet unter ihnen verfolgen, um sich auf diese Weise bedeutungsvolle Punkte visuell merken zu können. Drittens durften die Probanden die Visualisierung des Auditory Displays nicht erkennen, welche der Versuchsleiter aus Überwachungsgründen vor sich sah.

Durch eine lichtundurchlässige Brille, welche einen hohen Anteil des vom Menschen wahrnehmbaren Raumwinkels abdeckte, konnte dem entgegengewirkt werden. Diese wurde ausschliesslich für diese Studie angefertigt, indem eine Sonnenbrille mit schwarzer, undurchsichtiger Folie beklebt wurde.



Abbildung 27: Mit lichtundurchlässiger Folie beklebte Sonnenbrille (eigenes Foto).

## TESTSETTING

## ANORDNUNG

Das gesamte Testsetting wurde entsprechend der Abbildung 28 auf einem Tisch angeordnet, sodass sich vor dem Proband nur das Tablett befand, während der Versuchsleiter auf dem Bildschirm die Bewegungen auf dem Bildschirm mit verfolgen konnte und die Resultate auf dem Fragebogen notierte.



Abbildung 28: Testsetting mit Versuchsleiter (links) und Proband (rechts).

### 4.3.3 Fragebogen und spezifische Operationalisierung

## IDEE

Wie im Kapitel 4.4 «Durchführung» genauer beschrieben, hatten die Probanden die Aufgaben in einem vordefinierten und homogenen Ablauf zu absolvieren. Um die Resultate der einzelnen Aufgaben zu einem späteren Zeitpunkt auswerten zu können, wurden sie schriftlich auf einem Fragebogen festgehalten. Aus strategischen Gründen wurde auf eine praktische Handhabung mit hoher Übersichtlichkeit Wert gelegt und die Abschnitte gemäss dem Testverlauf (siehe Kapitel 4.4 «Durchführung») in folgende Teile gegliedert:

AUFBAU  
FRAGEBOGEN

Seiten	Teil	Getestet	Test
1	Personalien / Kontext / Testserie	Testserie, Name, Vorname, Alter, Geschlecht, Hör-, Sehschwäche, Händigkeit, Ort, Datum, Uhrzeit	
1	Pre-Test 1: technischer Hintergrund	Fragen zur Gaming-Erfahrung	[1a]
		Fragen zum 10-Finger-System	[1b]
		Test zum 10-Finger-System	[1c]
		Test zum Umgang mit Tablet	[1d]



2–3	Pre-Test 2: musikalischer Hintergrund	Musiksozialisierung	[2a]
		Solfège singen	[2b]
		Intervalle erkennen	[2c]
		Intervalle einem Wert zuordnen	[2d]
		Wellenunterschied erkennen	[2e]
		Rhythmen nachklopfen	[2f]
		Rhythmen im Takt weitergeführt?	[2g]
4–5	Pre-Test 3: geographischer Hintergrund	Grossräumlicher Überblick	[3a]
		Flussrichtung und Landschaft	[3b]
		Lage und Besonderheiten	[3c]
		Lage auf der Erde	[3d]
5–6	Main Test 1: Komplexitätsstufe 1 (diskretes Datenmodell)	Anzahl Figuren	[4a]
		Form der Figuren	[4b]
		Lage der Schwerpunkte	[4c]
		Orientierung	[4d]
		Grösse	[4e]
		Höhenwerte	[4f]
		Schwierigkeiten	[4g]
7–8	Main Test 2: Komplexitätsstufe 2 (stetiges Datenmodell; abstrakt)	X / Y / Z Minimum	[5a]
		Steigung um Minimum	[5b]
		X / Y / Z Maximum	[5c]
		Steigung um Maximum	[5d]
		X / Y / Z kleiner Hügel	[5e]
		X / Y / Z kleine Senke	[5f]
		Schwierigkeiten	[5g]
9–10	Main Test 3: Komplexitätsstufe 3 (stetiges Datenmodell; real)	X / Y / Z Talgrund	[6a]
		Talgrund getroffen & Zone	[6b]
		X / Y / Z Bergspitze	[6c]
		Bergspitze getroffen & Zone	[6d]
		X / Y / Z See	[6e]
		See getroffen & Zone	[6f]
		Z lokale Spitze	[6g]
		Lokale Spitze getroffen & Zone	[6h]
		Orientierung Bergkette	[6i]
		Schwierigkeiten	[6j]
11	Leere Skizzenfelder	Skizzenfeld 1 & 2	
12	Verwendete Bilder	Bilder zu [3a]–[3d]	

Tabelle 4: Aufbau des Fragebogens.

Die letzte Seite, welche die verwendeten Bilder enthielt, wurde im Gegensatz zu den restlichen farbig gedruckt. Aus praktischen Gründen wurden alle nötigen Hinweise zur Durchführung der Tests samt ihren Bewertungsschlüsseln direkt auf den Fragebogen gedruckt (siehe S.181–192).

In den folgenden Unterkapiteln wurden die einzelnen Teile des Fragebogens gegliedert und beschrieben. Die Erklärung der Indikatoren, welche abstrakte Begriffe operationalisierten, verlief dabei fortlaufend.

#### 4.3.3.1 Personalien / Kontext / Testserie

In diesem Teil wurde der Name der Probanden samt Geschlecht, Alter, Händigkeit, *Zuteilung der Sonifikationsmethode* sowie *Ort, Zeit* und *Datum* der Durchführung notiert. Ebenso wurde für eine allfällige *Hör-* oder *Sehschwäche* je ein Feld offen gelassen, damit die Resultate von Probanden mit einer schwerwiegenden Hörschädigung von der Datenauswertung ausgeschlossen werden konnten. Bezüglich der Sehschwäche wurde vor allem nach Farbfehlsichtigkeiten gefragt, da im geographischen Pre-Test drei Farbbilder verwendet wurden. Die Händigkeit wurde benötigt, um die Richtung des Tablets an den Nutzer anzupassen. Das Alter und das Geschlecht schliesslich konnten als weitere unabhängige Variablen auf der Suche nach einer Wirkung auf die Datenexploration oder weiteren Zusammenhängen eingesetzt werden.

#### 4.3.3.2 Pre-Test 1: technischer Hintergrund

Fokus	Spezifische Fragen	Antwort	Test
Fragen zur Gaming-Erfahrung	Verwendete Konsolentype	qualitativ	[1a]
Fragen zum 10-Finger-System	«F» blind erkannt?	[j/n]	[1b]
	Aktuelle Kenntnis des 10-Finger-Systems?	[j/n]	
	Kenntnis der Markierungen auf «F» und «J»?	[j/n]	
Test zum 10-Finger-System	Benötigte Zeit für Schreibübung	[s]	[1c]
	Getätigte Fehler oder Korrekturen	[#]	
	Anwendung des 10-Finger-Systems?	[j/n]	
Test zum Umgang mit Tablet	Anzahl Counts	[#]	[1d]
	Summe	[#]	
	Arithmetisches Mittel	[#]	
	Varianz	[ ]	
	SD	[ ]	
	Zeit	[ms]	

Tabelle 5: Detaillierter Auszug aus Tabelle 4 mit Fokus auf Pre-Test 1.

Der erste Pre-Test hatte zum Ziel, den technischen Hintergrund zu ermitteln, der für das Navigationsverständnis innerhalb der PMS nötig war. Dazu wurden folgende Tests durchgeführt, aus deren Resultaten das Niveau des technischen Hintergrunds operationalisiert wurde:

#### GAMING-ERFAHRUNG

Anhand der Erfahrung mit Games sollte sich erstens zeigen, wie vertraut die Probanden mit Eckwellentönen der 1980er- und 1990er-Jahre waren. Zweitens sollte sich – so die Vermutung – eine hohe Gaming-Erfahrung positiv auf die Sicherheit im Umgang mit Eingabemedien und im generellen PC-Verständnis äussern.

TEST [1A]

Operationalisiert wurde der Begriff, indem die Häufigkeiten gezählt wurden, in denen der Proband mindestens eine der aufgelisteten Spielkonsolen regelmässig benutzt hat oder alternativ dazu während einer vorgegebenen Zeitperiode regelmässig am PC gespielt hat. Pro verwendete Kategorie wurden 1.0 Punkte vergeben, wobei das Endresultat durch die Anzahl Kategorien normiert wurde. Zur Verfügung standen folgende Möglichkeiten:

Generation	Jahr	Konsole
1	Bis 1988	Commodore 64, ATARI, AMIGA
2	1989– 1994	Nintendo Gameboy, Nintendo NES, Nintendo SNES, Sega Mega Drive, Sega Game Gear
3	1995– 1999	Nintendo Gameboy Color, Nintendo 64, Sega Dreamcast, Sony Playstation
4	2000– 2005	Nintendo Gameboy Advance, Nintendo DS, Sony Playstation 2, Sony Playstation Portable, Microsoft XBOX
5	Seit 2006	Nintendo Wii, Nintendo DS, Nintendo 3DS, Sony Playstation 3, Sony Playstation Vita, Microsoft XBOX360

**Tabelle 6: Kategorisierung der Konsolen.**

Die Einteilung in fünf Generationen sowie die Zuteilung der einzelnen Konsolen geschah primär aufgrund einschneidender Technologiewechsel. Es wurde versucht, durch Vergleiche der bekanntesten Konsolenhersteller eine Systematik zu erstellen, welche sich an die Präsenzjahre auf dem Markt richtete. Es wurde jedoch kein Bezug zu einer bestehenden wissenschaftlichen Einteilung vorgenommen. Die Formel lautete:

$$Res_{[1a]} = \frac{\text{Anzahl gespielte Kategorien}}{\text{maximale Anzahl Kategorien}}$$

Formel 2

## 10-FINGER-SYSTEM

TESTS [1b] UND [1c]

Die Beherrschung des 10-Finger-Systems wurde als wesentlicher Vorteil betrachtet, da die Probanden nebst dem Tablet ein Keyboard zur Einblendung von Zusatzinformationen verwenden mussten. Deshalb wurde nebst einem Fragetest zu drei Merkmalen des 10-Finger-Systems eine Tastaturschreibübung durchgeführt, wodurch die Beherrschung des 10-Finger-Systems durch die in der Tabelle 5 aufgelisteten Indikatoren operationalisiert wurde.

Die Anzahl richtiger Antworten des Tests [1b] wurden zusammengezählt und durch die maximal mögliche Anzahl Antworten dividiert. Somit entstand ein normierter Index als Teil der Operationalisierung der Fähigkeit im Umgang mit dem 10-Finger-System:

$$Res_{[1b]} = \frac{\text{Anzahl richtiger Antworten}}{\text{maximale Anzahl Antworten}} \quad \text{Formel 3}$$

Die Werte des Tests [1c] wurden mit der folgenden, empirisch ermittelten Formel normiert, wobei zwischen Probanden unterschieden wurde, welche das 10-Finger-System (Abk.: 10FS) anwandten (siehe Formel 4 obere Bedingung) und solchen, welche ein anderes System benutzten (siehe Formel 4 untere Bedingung):

$$Res_{[1c]} = \begin{cases} \frac{\text{Minimum aller Probanden}}{\text{Zeit} \cdot (1 + 0.25 \cdot \text{Anzahl}_{\text{Fehler}})} & | \text{boolean}_{10FS} = \text{wahr} \\ \frac{\text{Minimum aller Probanden}}{1.25 \cdot \text{Zeit} \cdot (1 + 0.25 \cdot \text{Anzahl}_{\text{Fehler}})} & | \text{boolean}_{10FS} = \text{falsch} \end{cases} \quad \text{Formel 4}$$

## UMGANG MIT TABLET

TEST [1d]

Die Sicherheit im Umgang mit einem Tablet als Eingabemedium (siehe Kapitel 4.3.2 «Verwendete Apparate») wurde mithilfe eines selbstgeschriebenen Programms eruiert (siehe Kapitel 4.3.4.3 «Programm zum Messen der Sicherheit im Umgang mit dem Tablet»). Vier auf einem Bildschirm vorgegebene Linien mussten von den Probanden über das Tablet nachgefahren werden, während das Programm aus den Abständen zu den Ziellinien deren Abweichung mass (siehe Abbildung 35). Ermittelt wurden die in der Tabelle 5 unter dem Test [1d] aufgelisteten Indikatoren. Die empirisch ermittelte Formel zur Berechnung des Index lautete:

$$Res_{[1d]} = \frac{\text{Präzision}_{\text{aktuell}} \left\langle \frac{1000 \cdot \text{Anzahl}_{\text{registriertePunkte}}}{\text{Zeit}[\text{ms}] \cdot SD^{0.0625}} \right\rangle}{\text{Präzision}_{\text{maximal}} \left\langle \frac{1000 \cdot \text{Anzahl}_{\text{registriertePunkte}}}{\text{Zeit}[\text{ms}] \cdot SD^{0.0625}} \right\rangle} \quad \text{Formel 5}$$

Die Standardabweichung wurde primär deshalb gewählt, da sie Streuungen besser abzubilden vermochte als das arithmetische Mittel (Stahel 2007, S.19) und so den Verlauf einer nachge-

zeichneten Geraden genauer repräsentieren konnte. Ausserdem verliefen die Richtungen der vorgegebenen Linien nicht gleichmässig, worauf der Mittelwert keinen geeigneten Indikator darstellte. Die Multiplikation mit dem Faktor 1000 wandelte Millisekunden in Sekunden um. Die empirisch ermittelte Potenz wurde zur Glättung der Standardabweichung verwendet.

INDEX TECHNISCHER HINTERGRUND

Der Endindex des technischen Hintergrunds wurde durch das arithmetische Mittel der Resultate der Tests [1a]–[1d] berechnet.

TECHNISCHER HINTERGRUND

$$Hintergrund_{technisch} = \frac{Res_{[1a]} + Res_{[1b]} + Res_{[1c]} + Res_{[1d]}}{4} \quad \text{Formel 6}$$

4.3.3.3 Pre-Test 2: musikalischer Hintergrund

Der zweite Pre-Test sollte das bestehende musikalische Verständnis abbilden. Im Hinblick auf die Dateninterpretation des Auditory Display sollte vor allem die Fähigkeit zu Eingliederung von Tönen und Rhythmen sowie die Fähigkeit zur Unterscheidung verschiedener Wellenformen abgeschätzt werden. Folgende Tests wurden dazu durchgeführt, aus deren Resultaten das Niveau des musikalischen Hintergrunds operationalisiert wurde:

OPERATIONALISIERUNG MUSIKALISCHES VORWISSEN

Fokus	Spezifische Fragen	Bewertung	Test
Musiksozialisierung	Frage nach Musiksozialisierung (Vogt 2005, S.44)	[1/2/3/4]	[2a]
Solfège singen	So–do–So– do–So– do	[0/0.5/1]	[2b]
	Do–Re–Mi–Re–Do	[0/0.5/1]	
	Do–Mi–So–Mi–Do	[0/0.5/1]	
	Do–Mi–So–do–So–Mi–Do	[0/0.5/1]	
	Do–Di–Re–Ri–Re–Di–Do	[0/0.5/1]	
Intervalle erkennen	Reine Quarte auf f <sup>1</sup>	[0/0.5/1]	[2c]
	Reine Oktave auf D <sup>1</sup>	[0/0.5/1]	
	Kleine Terz auf a <sup>1</sup>	[0/0.5/1]	
	Tritonus auf es <sup>1</sup>	[0/0.5/1]	
	Kleine Sept auf C <sup>1</sup>	[0/0.5/1]	
Intervalle einem Wert zuordnen	Reine 8 auf a <sup>1</sup> = 2 · λ(a <sup>1</sup> ) = 1200 Cent = 100% [a <sup>1</sup> ; a <sup>2</sup> ]	[0/0.5/1]	[2d]
	Reine 5 auf D <sup>1</sup> = 1.5 · λ(a <sup>1</sup> ) = 700 Cent = 58.3% [D <sup>1</sup> ; d <sup>1</sup> ]	[0/0.5/1]	
	Grosse 3 auf G <sup>1</sup> = 1.25 · λ(a <sup>1</sup> ) = 400 Cent = 33.3% [G <sup>1</sup> ; g <sup>1</sup> ]	[0/0.5/1]	
	Kleine 2 auf C <sup>1</sup> = 1.06 · λ(a <sup>1</sup> ) = 100 Cent = 8.3% [C <sup>1</sup> ; c <sup>1</sup> ]	[0/0.5/1]	
	Verm. 5 auf A <sup>1</sup> = 1.42 · λ(a <sup>1</sup> ) = 600 Cent = 50% [A <sup>1</sup> ; a <sup>1</sup> ]	[0/0.5/1]	

Wellenunterschied erkennen	⟨Eckwelle⟩ oder ⟨Sinuswelle⟩ (zufällig)	[0/0.5/1]	[2e]
	⟨Eckwelle⟩ oder ⟨Sinuswelle⟩ (zufällig)	[0/0.5/1]	
	⟨Eckwelle⟩ oder ⟨Sinuswelle⟩ (zufällig)	[0/0.5/1]	
	⟨Eckwelle⟩ oder ⟨Sinuswelle⟩ (zufällig)	[0/0.5/1]	
	⟨Eckwelle⟩ oder ⟨Sinuswelle⟩ (zufällig)	[0/0.5/1]	
Rhythmen nachklopfen		[0/0.5/1]	[2f]
		[0/0.5/1]	
		[0/0.5/1]	
		[0/0.5/1]	
		[0/0.5/1]	
	Rhythmen ohne Unterbruch nachgeklopft? [nein/ja]	[0.8/1]	

Tabelle 7: Detaillierter Auszug aus Tabelle 4 mit Fokus auf Pre-Test 2.

#### MUSIKSOZIALISIERUNG NACH VOGT

Gemäss einer Studie über das die Musiksozialisierung adoleszenter Clubgänger in Berlin ordnete Sabine Vogt ihre Probanden in vier aufsteigende Kategorien ein (Vogt 2005, S.44):

- a) Präferenzbildungen von Musikstilen
- b) Selbstbildung im Umgang mit Musik
- c) Spezialisierungen im Hobbybereich
- d) Selbstprofessionalisierung

TEST [2A] Vogts Konzept wurde bei der Ermittlung der Musiksozialisation übernommen, wobei erstens Zwischenstufen erlaubt waren und zweitens das Erreichen einer vollen Stufe einen Punkt ergab. Ein Proband ohne Präferenzen erhielt null Punkte, während ein Profi, der mit Musik seinen Lebensunterhalt verdient, mit vier Punkten bewertet wurde. Die Resultate wurden schliesslich durch die Anzahl an Kategorien normiert, sodass ein Wert zwischen null und eins entstand.

#### SOLFÈGE SINGEN

TEST [2B] Das Singen einfacher, jedoch an Komplexität zunehmender Melodien wurde gewählt, da Solfègeübungen das musikalische Vorstellungsvermögen widerspiegeln. Bis zu einem Toleranzwert einer grossen Diësis (= 62.6 Cent) wurde ein voller Punkt erteilt. Zwischen einer grossen Diësis

und einem *reinen Halbton* (= 100 Cent) wurde ein halber Punkt vergeben, während Tonhöhen, welche darüber lagen, mit null Punkten bewertet wurden. Die erzielten Punkte wurden zusammengezählt und durch die maximal mögliche Anzahl Punkte normiert.

Der Autor strebte einen didaktischen Aufbau an, welcher sich in der steigenden Komplexität der Tonfolge äusserte. Dazu gehörte die Integration mehrerer Tonschritte gekoppelt an zunehmende Tonabstände. Die letzte Folge beendete das Solfège mit einer Halbtonreihe, welche für die westliche Musik untypisch und daher schwierig nachzuahmen ist.

DIDAKTISCHER  
AUFBAU DES  
SOLFÈGES

#### INTERVALLE ERKENNEN

Das Erkennen chromatischer und diatonaler Intervalle sollte ein direktes Verständnis der westlichen Musiktheorie aufzeigen, welche nach der Meinung des Autors bei der Interpretation des Auditory Displays von Vorteil sein konnte. Aus diesem Grund wurde das Musikverständnis in diesem Teil an theoretische Kenntnisse gekoppelt und durch die Erfolgsrate beim Erkennen von Intervallen operationalisiert.

Auch wenn bei einigen Probanden das Wissen über die Intervalle fehlte, entschied sich der Autor dennoch für die Verwendung des westlichen Tonsystems, da Kenntnisse darüber auch als musikalischer Wissensbestandteil galten. Obwohl durch die Sonifikationen stufenlose Töne darstellbar waren, war anzunehmen, dass ein Grossteil der Probanden versuchen würde, Regeln des ihnen bekannten, westlichen Tonsystems auf ihre Interpretation zu übertragen.

ENTSCHEID FÜR  
WESTLICHES  
TONSYSTEM

Das korrekte Erkennen eines Intervalls wurde mit einem ganzen Punkt bewertet. Als Toleranz für einen halben Punkt wurde eine Grenze von einem *Halbton*<sup>9</sup> festgelegt. Differenzen ab einem *Ganzton* wurden mit null Punkten bewertet.

TEST [2C]

#### INTERVALLE EINEM WERT ZUORDNEN

Einen praxisorientierten Bezug zur Interpretationsfähigkeit des Auditory Displays stellte die Zuordnung einer Tonhöhe in Bezug zu einem Grundton. Es wurde eine relative Skala von 0% bis 100% angenommen, wobei diese mit einem Tonumfang einer *Oktave* dargestellt wurde. Diese Zuteilung erfolgte nicht arbiträr, sondern wurde auf die Tatsache gestützt, dass die Oktave in vielen Kulturen als fundamentale akustische Wahrnehmungsgrösse betrachtet wird (B. N. Walker & Nees 2011, S.386).

WAHRNEH-  
MUNGSGRÖSSE  
OKTAVE

---

<sup>9</sup> Anmerkung: Da eine exakte Messung der Tonhöhe aus Zeitgründen ausgelassen wurde, wurde auf eine exakte Ausführung der diversen Halbtonschritte verzichtet. Der Autor war sich bewusst, dass unterschiedliche Halbtonschritte existieren, doch wurde als Richtlinie der diatonische Halbton mit 100 Cent gewählt.

TEST [2D] Die Zuordnung auf der Skala durfte in Prozent- oder Cent-Angaben stattfinden, wobei folgende Relation galt:

$$1 \text{ Oktave} = 100\% \text{ des Oktavspektrums} = 1200 \text{ Cent} \quad \text{Formel 7}$$

Die Genauigkeit der Antworten zu einem gegebenen Ton innerhalb eines Oktavspektrums sollte einen Teil des Tonverständnisses abbilden können. Somit wurden die Schätzungen der relativen Tonhöhen zu seinem Grundton als Indikator des Tonverständnisses erachtet. Dabei sollten zuerst die Abstände der Schätzungen gegenüber den vorgegebenen Werten ermittelt und anschließend folgende Formel angewandt werden:

$$\text{Resultat}_{\text{Intervallschätzung}} = 1.08^{-\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_i (x_i - \bar{x})^2}} \quad \text{Formel 8}$$

Die Basis mit dem Wert 1.08 wurde dabei empirisch ermittelt. Der Term im Exponent bezieht sich auf die negative Standardabweichung, was eine Umkehrung des gesamten Ausdrucks auf der rechten Seite zur Folge hat. Je geringer die Standardabweichung, desto höher liegt demnach die Genauigkeit der Schätzung.

#### WELLENUNTERSCHIED ERKENNEN

Da in den Auditory Displays die Ausgabe sowohl von Eck- als auch von Sinuswellen implementiert wurde, erschien ein Test auf Unterscheidbarkeit der beiden Wellentypen möglicherweise Aufschluss über den Zusammenhang zwischen dem Hörverständnis und der Interpretation zu geben. Demnach trug die Unterscheidungsfähigkeit zwischen Eck- und Sinuswellen als Indikator zum Hörverständnis bei.

TEST [2E] Das korrekte Erkennen eines Wellentyps wurde auf binäre Weise mit einem ganzen Punkt bewertet, während eine falsche Antwort keinen Punkt ergab. Die erhaltenen Werte wurden aufsummiert und genormt, woraus sich ein Index für die Unterscheidbarkeit der Wellentypen ergab.

#### RHYTHMEN NACHKLOPFEN

RHYTHMUSGE-  
FÜHL

Im folgenden Test wurde das Rhythmusgefühl als wesentlicher Bestandteil des musikalischen Verständnisses geprüft, indem die Qualität einer Nachahmung gemessen wurde. Diese wurde durch die zeitlicher Abweichungen zu einem vorgegebenen Rhythmus sowie durch das Erkennen eines Gestus und das Weiterführen des vorgegebenen Taktes operationalisiert. Die Schwierigkeitszunahme folgte einem didaktischen Aufbau: Mit jeder Aufgabe kamen neue Schwierigkeiten hinzu, welche der Reihe nach mit Verkürzungen der Tondauer, mit Punktierungen, mit



Pausen auf metrisch betonten Stellen und mit Triolen kombiniert und umgesetzt wurden (siehe eingesetzte Rhythmen der Tabelle 7).

Abweichungen von einem nachgeklopften zu einem vorgegebenen Rhythmus wurden unter zwei Aspekten betrachtet: Einerseits durfte ein zeitlicher Schwellenwert nicht überschritten werden, da sonst genug Zeit für eine fehlerfreie Nachahmung geblieben wäre. Zweitens musste der Gestus des Rhythmus erkennbar sein. Wurden beide Bedingungen innerhalb einer Toleranz von 0.5 Sekunden erfüllt, erhielt der Proband einen ganzen Punkt. Benötigte der Proband zwischen einer halben und einer Sekunde oder wurde bei erkennbarem Gestus ein Fehler bemerkt, wurde ihm ein halber Punkt zugesprochen. Wurden alle genannten Vorgaben missachtet, erhielt er keine Punkt.

TEST [2F]

Die Summe der erhaltenen Punkte wurde mit eins multipliziert, wenn die Rhythmen ohne Unterbruch im selben Takt nachgeklopft wurden. Unterbrach der Proband, nachdem der Versuchsleiter vorgeklopft hatte, wurde die Summe mit 0.8 multipliziert. Probanden mit einem ausgeprägten Rhythmusgefühl wurden auf diese Weise belohnt. Das Produkt wurde schliesslich durch die Anzahl aller Rhythmen normiert.

TEST [2G]

#### INDEX MUSIKALISCHER HINTERGRUND

Der Endindex des musikalischen Hintergrunds wurde durch das arithmetische Mittel der Resultate der Tests [2a]–[2g] berechnet.

MUSIKALISCHER  
HINTERGRUND

$$\text{Hintergrund}_{\text{musikalisch}} = \frac{\text{Res}_{[2a]} + \text{Res}_{[2b]} + \text{Res}_{[2c]} + \text{Res}_{[2d]} + \text{Res}_{[2e]} + \text{Res}_{[2f]} \cdot \text{Res}_{[2g]}}{6} \quad \text{Formel 9}$$

#### 4.3.3.4 Pre-Test 3: geographischer Hintergrund

Im letzten Pre-Test wurde das geographische Vorwissen der Probanden ermittelt. Zentrale Aspekte waren dabei das Raumverständnis und das Erkennen von Strukturen beim Betrachten eines Reliefs. Dazu gehörten sowohl Seen als auch Flüsse, Täler, Ebenen, oder Berge.

OPERATIONALI-  
SIERUNG  
GEOGRAPH.  
VORWISSEN

Um ein solches räumlich-geographisches Verständnis zu operationalisieren, wurde nach geeigneten Reliefs gesucht und drei davon in den Fragebogen integriert. Die Wahl fiel auf Ausschnitte, welche ein DHM ohne integrierte Legende und in unterschiedlichen Farbschemata visualisieren sollten. Die Gebiete sollten gut voneinander unterscheidbar sein und eine bestimmte Landschaft eindeutig repräsentieren.

WAHL DER  
RELIEFS

Es wurden möglichst Bilder mit Farben verwendet, welche von sehbeeinträchtigten Probanden v.a. mit *Deuteranopie* trotzdem noch gut voneinander unterscheidbar waren. Geprüft wurde dieser Sachverhalt mit Hilfe des Programms *Color Oracle 1.1.3* (Jenny & Vaughn Kelso 2011).

Die darauf aufbauenden Fragen bezogen sich dabei auf den Bildinhalt und beanspruchten räumliches Verständnis. Die Wahl fiel auf drei verschiedene Reliefs:

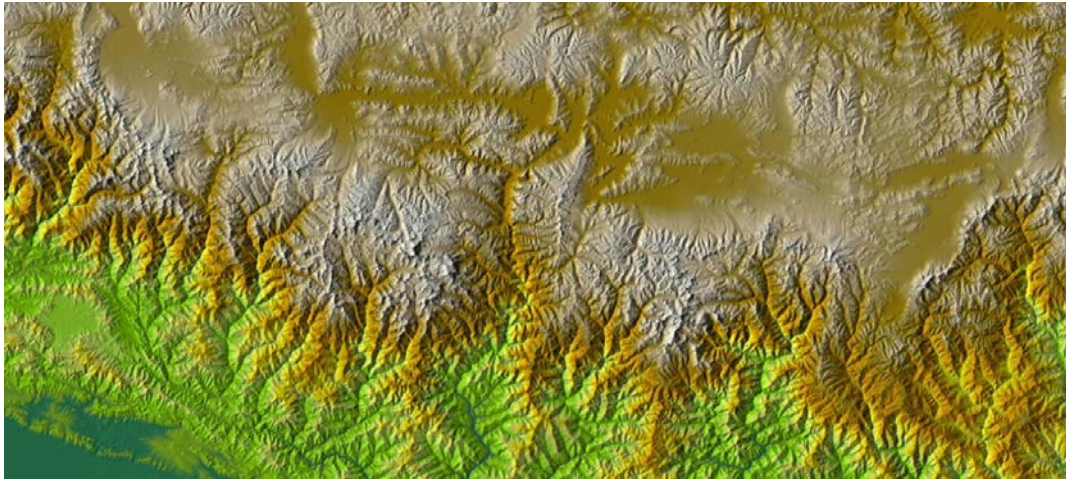


Abbildung 29: Relief eines Gebiets im Himalaya (Quelle: [www.viewfinderpanoramas.org](http://www.viewfinderpanoramas.org); Zugriff: 5.9.2011).

Das Relief der Abbildung 29 zeigte einen ca. 360x160 Kilometer grossen Ausschnitt des Himalaya-Gebirgszugs, welcher Nepal (südlich) von China (nördlich) trennt. Gut erkennbar waren nebst den vielen Tälern auch die nördlich gelegene Hochebene und die südwestlich gelegene Tiefebene. Die Farben sind gemäss einem Höhenstufenmodell eingefärbt, wobei die dunkelgrüne Fläche im Südwesten auf ca. 100 Metern und weisse Zonen Höhen ab ca. 5500 Metern darstellen. Im mittleren linken Teil ist zudem der *Mount Everest* in einem sehr hellen Weissston darstellt.

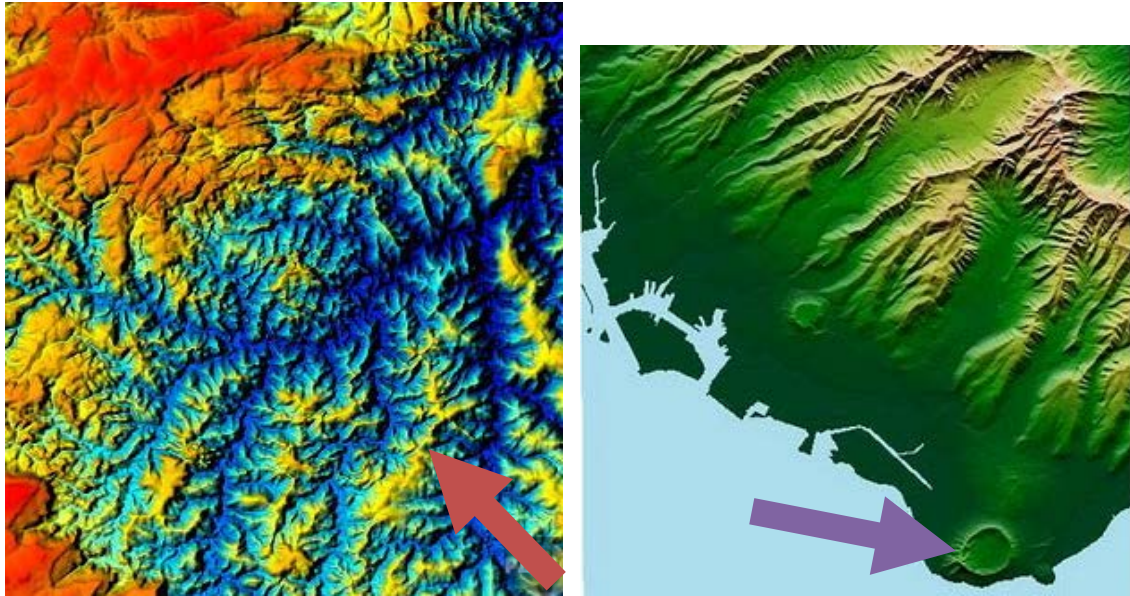


Abbildung 30 (links): Relief eines Teils des Araguainha-Kraters in Brasilien (Quelle: rucira.com; Zugriff: 5.9.2011).  
Abbildung 31 (rechts): Relief von Honolulu, Hawaii (Quelle: mattsmappcatalog.blogspot.com; Zugriff: 6.9.2011).

Die Abbildung 30 zeigte einen ca. 5x5 Kilometer grossen Teil des Araguainha-Kraters in Brasilien. Auffällig waren hierbei die kantigen, steilen Schluchten und das wahrscheinlich zusammenhängende, flache, höher gelegene Plateau im Westen. Die Höhen erstreckten sich von ca. 400 Metern (blau) bis ca. 800 Metern (rot). Die rote Pfeilspitze markiert einen Punkt auf einem Bergkamm, der für das Lösen einer Aufgabe notwendig war. Das Relief wurde ausgewählt, da es sich für eine Erklärung des Abflusssystemes bei unnatürlicher Farbgebung gut eignete.

RELIEF 2

Schliesslich stellte die Abbildung 31 den südlichen Teil der Insel *Honolulu* von Hawaii (USA) dar. Erkennbar waren nicht nur anthropogene Einflüsse wie z. B. der Hafen oder der gerade Kanal im südlichen Teil der Insel, sondern auch die in regelmässiger Richtung verlaufende Bergrücken und der Vulkankrater *Diamond Head*. Der violette Pfeil, welcher auf diesen Vulkankrater zeigt, wurde für das Lösen einer Aufgabe benötigt. Der Ausschnitt war ca. 14x14 Kilometer gross und deckte einen Höhenumfang von 0 Metern (blau; Meereshöhe) bis knapp 800 Metern ab. Ausgewählt wurde dieser Visualisierung aufgrund ihrer interessanten Strukturen.

RELIEF 3

Zu jeder Visualisierung wurden je vier raumbezogene Fragen gestellt, welche bei korrekter und ausführlicher Antwort mit einem Punkt bewertet wurden. War die Antwort zufriedenstellend, jedoch in einzelnen Punkten unvollständig aber dennoch korrekt, wurde ein halber Punkt vergütet. Null Punkte erhielt der Proband für eine ungenügende oder fehlende Antwort (inhaltlich falsch oder zu wenig detailliert ohne den Kern zu treffen). Die gestellten Fragen sind in der Tabelle 8 ersichtlich, während die Lösungen dem Anhang zu entnehmen sind (siehe S.184). Es gilt

FRAGEN UND  
BEWERTUNG

anzumerken, dass je nach Komplexität der jeweiligen Frage eine Gewichtung vorgenommen wurde, welche aus der Tabelle 8 entnommen werden kann und auf der Seite 87 erklärt wird.

Fokus	Spezifische Fragen	Bewertung	Gewichtung		Test
Grossräumlicher Überblick (Abbildung 29)	Zeichnen Sie auf der Karte 5 Flusstäler ein. In welche Richtung verlaufen sie hauptsächlich?	[0/0.5/1]	$\frac{32}{210}$	$\frac{2}{7}$	[3a]
	Wo liegen potentielle Standorte für Seen? Markieren Sie zwei davon auf der Karte.	[0/0.5/1]	$\frac{18}{210}$		
	Wo sehen Sie die höchsten Berge? Markieren Sie.	[0/0.5/1]	$\frac{8}{210}$		
	In welche Himmelsrichtung verläuft die Bergkette? Zeichnen Sie ein.	[0/0.5/1]	$\frac{2}{210}$		
Flussrichtung und Landschaft (Abbildung 30)	Angenommen, Sie würden den Weg des Wassers nachbilden, welches beim roten Pfeil abfließt – in welche Richtung würde es fließen (2 Antworten möglich)? Zeichnen Sie ein.	[0/0.5/1]	$\frac{8}{210}$	$\frac{2}{7}$	[3b]
	In welche Himmelsrichtung verläuft das Haupttal?	[0/0.5/1]	$\frac{2}{210}$		
	Was ist das Besondere der höchsten Punkte (rot) im Gegensatz zum restlichen Profil (blau)? Beschreiben Sie das Landschaftsprofil in einem Satz oder in einem treffenden Begriff.	[0/0.5/1]	$\frac{32}{210}$		
	Wurde das Gebiet von einem Gletscher überprägt? Begründen Sie.	[0/0.5/1]	$\frac{18}{210}$		
Lage und Besonderheiten (Abbildung 31)	Woran erkennen Sie, dass hellblaue Flächen Wasser darstellen? Begründen Sie.	[0/0.5/1]	$\frac{2}{210}$	$\frac{2}{7}$	[3c]
	Was könnte der grüne Bereich inklusive den Bergen demzufolge sein bzw. wo könnte der genannte Bereich liegen?	[0/0.5/1]	$\frac{32}{210}$		
	In welche Himmelsrichtung verlaufen die Bergkämme hauptsächlich?	[0/0.5/1]	$\frac{18}{210}$		
	Was könnte die Einheit darstellen, welche durch den violetten Pfeil gekennzeichnet ist?	[0/0.5/1]	$\frac{8}{210}$		
Lage auf der Erde	Wo auf der Erde könnte die Abbildung 29 liegen?	[0/0.5/1]	$\frac{10}{210}$	$\frac{1}{7}$	[3d]
	Wo auf der Erde könnte die Abbildung 30 liegen?	[0/0.5/1]	$\frac{10}{210}$		
	Wo auf der Erde könnte die Abbildung 31 liegen?	[0/0.5/1]	$\frac{10}{210}$		

Tabelle 8: Detaillierter Auszug aus Tabelle 4 mit Fokus auf Pre-Test 3.

### GROSSRÄUMLICHER ÜBERBLICK

In der Aufgabe [3a] ging es hauptsächlich um das Erkennen von Grossstrukturen und das grundlegende Verständnis eines Reliefs, welches für ein Verständnis des Auditory Displays relevant war. Daher entschied sich der Autor primär für Aufgaben, deren Antworten einzuzeichnen waren. Betrachtet wurde dabei die Abbildung 29. Die erarbeiteten Punkte wurden nach ihrer Komplexität gewichtet, worauf auf der Seite 87 näher eingegangen wird.

TEST [3A]

### FLUSSRICHTUNG UND LANDSCHAFT

Die Aufgabe [3b] bezog sich auf die Abbildung 30 und behandelte mehrheitlich das Landschaftsprofil und die Abflussrichtung ab einem bestimmten Punkt. Die Komplexität der Fragen nahm aus dem Grund zu, da nun Fragen eingesetzt wurden, die einer Erklärung oder einer Beschreibung bedurften. Auf das Erkennen von Strukturen wurde in zwei Fragen ein Schwerpunkt gesetzt. Die erhaltenen Punkte wurden analog zur Aufgabe [3a] gewichtet (siehe S.87).

TEST [3B]

### LAGE UND BESONDERHEITEN

Für die Aufgabe [3c] wurde die Abbildung 31 verwendet, welche einen Ausschnitt einer Insel darstellt. Dabei wurde der Fokus wieder auf das Erkennen von Strukturen gelegt, während eine Frage eine Begründung verlangt. Auch hier wurden die Resultate nach der Komplexität der Fragen gewichtet (siehe S.87).

TEST [3C]

### LAGE AUF DER ERDE

Die letzte Aufgabe bezog sich auf die reale Lage alle drei verwendeten Bilder. Die Probanden mussten anhand von Indizien die tatsächliche Lage auf der Erde ermitteln können. Gebiete, die bestimmten Kriterien nicht entsprechen konnten oder in sich widersprüchlich waren, wurden mit null Punkten bewertet. Einen halben Punkt erhielt, wer im Gegensatz zur Musterlösung ein alternatives Gebiet nannte (siehe S.184). Probanden, die das tatsächliche Gebiet richtig erraten hatten, erhielten einen Punkt. Schliesslich wurde der Mittelwert der Punkte berechnet.

TEST [3D]

### GEWICHTUNG DER FRAGEN

Die Fragen wurden innerhalb der ersten drei Tests ([3a], [3b], [3c]) intern gewichtet, indem erstens die nach der Einschätzung des Autors simpelste Aufgabe mit dem Faktor  $1^2$ , die nächst schwierigere mit dem Faktor  $2^2$ , die zweitschwierigste mit dem Faktor  $3^2$  und zuletzt die komplexeste mit dem Faktor  $4^2$  bewertet wurde. Die Faktoren ergaben eine Summe von 30, worauf zweitens die Faktoren durch 30 geteilt werden musste, um als gültige Gewichtung eingesetzt zu

INNERHALB  
EINES TESTS

werden. Die Summe der Gewichtungen ergab schliesslich eins. Das gewichtete Mittel wurde demnach für die Tests [3a]–[3c] wie folgt berechnet:

$$x_{within} = \frac{1^2}{30} \cdot Frage_{schwierig1} + \frac{2^2}{30} \cdot Frage_{schwierig2} + \frac{3^2}{30} \cdot Frage_{schwierig3} + \frac{4^2}{30} \cdot Frage_{schwierig4} \quad \text{Formel 10}$$

ZWISCHEN DEN  
TESTS

Zwischen den Tests wurden auch Gewichtungen vorgenommen. Während die Tests [3a]–[3c] mit dem Faktor 2 gewichtet wurden, erhielten die Antworten des Tests [3d] den Faktor 1. Dies wurde so entschieden, da erstens der Test [3d] aus weniger Einzelfragen bestand und zweitens, da das Resultat nicht ausschlaggebend für das räumliche Verständnis war. Die Faktoren mussten anschliessend analog zum oberen Vorgehen durch deren Summe (7) geteilt werden. Das gewichtete Mittel über alle Aufgaben, welches den geographischen Hintergrund repräsentieren sollte, berechnete sich wie folgt:

$$Hintergrund_{geo} = x_{between} = \frac{2}{7} \cdot x_{within[3a]} + \frac{2}{7} \cdot x_{within[3b]} + \frac{2}{7} \cdot x_{within[3c]} + \frac{1}{7} \cdot x_{within[3d]} \quad \text{Formel 11}$$

#### 4.3.3.5 Main Test 1: Komplexitätsstufe 1 (diskretes Datenmodell)

KONZEPTION  
MAIN TEST 1

Der erste Main Test stellte rückblickend für alle Probanden die erste Situation dar, in der sie mit einem Auditory Display Raumdaten wahrgenommen haben. Umso wichtiger erschien es dem Autor, den ersten Kontakt mit einer PMS durch ein diskretes Modell zu vereinfachen. Ausserdem wurde im Gegensatz zu späteren Tests auf die Schätzung der Lagekoordinaten verzichtet. Dennoch musste sichergestellt werden, dass das *Parameter Mapping* (= konstante Zuordnung der Klangvariablen an die Interaktion) in einer ersten Phase dermassen verinnerlicht werden konnte, damit in einem zweiten Schritt die Handhabung der stetigen Modelle leichter fiel.

OPERATIONALI-  
SIERUNG MAIN  
TEST 1

Um diese Konsolidierung zu erreichen, wurde das eingesetzte und im Kapitel 4.3.1 «Technische Vorüberlegungen» vorgestellte, diskrete Modell mit drei unterschiedlichen Figuren à je fünf Aufgaben ausgestattet, wobei die Resultate der Tests [4b]–[4f] zur Operationalisierung der Genauigkeit der Komplexitätsstufe 1 beigetragen haben:

Fokus	Spezifische Fragen	Für Form	Bewertung	Gewichtung	Test	
Perzeption	Anzahl Figuren	alle	[#]	0	[4a]	
	Form der Figuren: korrekt geschätzt?	Dreieck	[j/n]	$\frac{1}{14}$	$\frac{3}{14}$	[4b]
		Kreis		$\frac{1}{14}$		
		Rechteck		$\frac{1}{14}$		
	Lage de Schwerpunkte	Dreieck	[x/y]	$\frac{1}{14}$	$\frac{3}{14}$	[4c]
		Kreis		$\frac{1}{14}$		
		Rechteck		$\frac{1}{14}$		
	Orientierung	Dreieck	[°]	$\frac{1}{14}$	$\frac{2}{14}$	[4d]
		Rechteck		$\frac{1}{14}$		
	Grösse	Dreieck	[A]	$\frac{1}{14}$	$\frac{3}{14}$	[4e]
		Kreis		$\frac{1}{14}$		
		Rechteck		$\frac{1}{14}$		
	Höhe	Dreieck	[z]	$\frac{1}{14}$	$\frac{3}{14}$	[4f]
		Kreis		$\frac{1}{14}$		
		Rechteck		$\frac{1}{14}$		
Schwierigkeit	[qual]				[4g]	

Tabelle 9: Detaillierter Auszug aus Tabelle 4 mit Fokus auf Main Test 1.

## ANZAHL FIGUREN

Der erste Test [4a] hatte die Sensibilisierung der Probanden auf die jeweilige Sonifikationsmethode zum Ziel. Es sollte dabei anhand unterschiedlicher Parameter ermittelt werden, wie viele unterschiedliche Objekte auf dem Auditory Display zu hören waren. Das Resultat wurde nicht zur Operationalisierung der Genauigkeit beigezogen.

TEST [4A]

## FORM DER FIGUREN

Das Erkennen von Formen wurde als Bestandteil in der Ermittlung der Genauigkeit betrachtet. Dabei konnten die Antworten der Probanden der gegebenen Form entsprechen oder nicht. Für jede korrekt definierte Form wurde ein Punkt vergeben.

TEST [4B]

## LAGE DE SCHWERPUNKTE

Eine weitere Methode, mit welcher die Genauigkeit der Antworten innerhalb der Komplexitätsstufe 1 operationalisiert wurde, war die Schätzungsgenauigkeit des jeweiligen Formenschwer-

TEST [4C]

punkts gegenüber seinem tatsächlichen Schwerpunkt. Erstens wurde der Schwerpunkt durch geometrische Konstruktionen im Bild ermittelt (siehe Abbildung 32) und mit dem Programm `pre_test_load_image.pde` (siehe S.217–218) in das diskrete DHM `dem_disc_2` übertragen. Dort wurden die Zielkoordinaten des Schwerpunkts extrahiert und als Vorlage für jede Form verwendet.

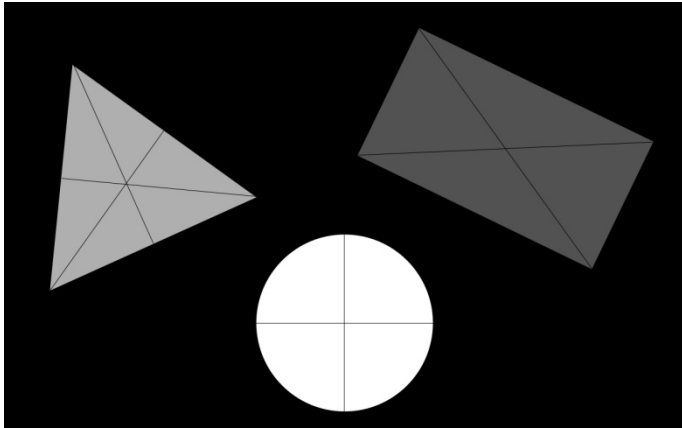
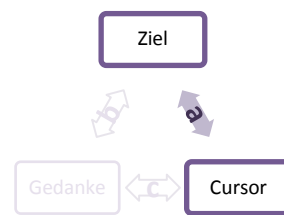


Abbildung 32: diskretes Modell mit eingezeichneten Schwerpunkten.

Bei den Probanden wurde in einem weiteren Schritt die *rasterbasierte Distanz* (siehe S.65) zum jeweiligen Zielschwerpunkt ermittelt, welche sich auf die Genauigkeit zwischen der angezeigten Cursorposition und dem eigentlichen Zielpunkt des DHM bezog (siehe Abbildung rechts). Die Genauigkeit in Prozent ergab sich durch folgende Berechnung:



$$\text{Präzision}_{\text{Distanz}[4c]} = 1 - \frac{\text{aktuelle Distanz [px]}}{\text{maximale Distanz [px]} + 50[\text{px}]}$$

Formel 12

Auf die maximale Distanz aller Probanden wurde ein empirisch festgelegter Toleranzwert von 50 Pixeln dazugerechnet, worauf die aktuelle Distanz durch die zuvor erhaltene Summe geteilt wurde. Somit ergab sich ein Wert zwischen null und eins.

#### ORIENTIERUNG

TEST [4b]

Bezüglich der Orientierung wurde die Abweichung der intrinsischen Vorstellung zum tatsächlichen Modell als *Integerwert* gemessen und in Kategorien gegliedert. Dabei wurde zwischen einem Rechteck und einem gleichseitigen Dreieck unterschieden und als maximale Abweichung die Hälfte eines Winkels gewählt. Während beim Dreieck ein linearer Verlauf angewendet wurde, fielen beim Rechteck Abweichungen ab 10° weniger stark ins Gewicht.



Da ein Kreis keine Orientierung aufweist, wurde dieser Wert ignoriert, auch wenn der Proband von einer orientierten Figur ausging und diese mass. Ging ein Proband fälschlicherweise von einem Kreis als Figur aus, wurde dies als VOID kategorisiert und somit als Folgefehler mit null Punkten bewertet. Die Bewertung wurde wie folgt vorgenommen:

Abweichung Rechteck [°]	Abweichung Dreieck [°]	Bewertung
[0 ; 4]	[0 ; 4]	1.0
[5 ; 9]	[5 ; 9]	0.8
[10 ; 19]	[10 ; 14]	0.6
[20 ; 29]	[15 ; 19]	0.4
[30; 39]	[20; 24]	0.2
[40; 45]	[25 ; 30]	0.0
VOID	VOID	0.0

Tabelle 10: Bewertung der Winkelabweichungen.

#### GRÖSSE

Die Abschätzung der Grössenverhältnisse der einzelnen Figuren sollte ebenfalls einen Aspekt der Genauigkeit operationalisieren. Dazu bestimmte der Versuchsleiter aufgrund der Cursorangaben des Probanden einen *Faktor*, welcher in Bezug zur tatsächlichen Grösse der Figur stand.

TEST [4E]

Bei falsch angenommenen, innenliegenden Figuren mit Berührungspunkten, welche auf der eigentlichen Figur lagen, konnte auf folgende berechnete Werte zurückgegriffen werden:

	Aussen-Quadrat $A_q$	Aussen-Dreieck $A_d$	Aussen-Kreis $A_k$
In-Quadrat $A_{in-q}$	$A_{in-q} = 0.5 \cdot A_q$	$A_{in-q} = 0.4974 \cdot A_d$	$A_{in-q} = 0.6366 \cdot A_k$
In-Dreieck $A_{in-d}$	$A_{in-d} = 0.5 \cdot A_q$	$A_{in-d} = 0.25 \cdot A_d$	$A_{in-d} = 0.7162 \cdot A_k$
In-Kreis $A_{in-k}$	$A_{in-k} = 0.7854 \cdot A_q$	$A_{in-k} = 0.6048 \cdot A_d$	$A_{in-k} = A_k$

Tabelle 11: Zuordnung von Grössenfaktoren bei Innenfiguren mit Berührungspunkten.

Da auch Faktoren genannt werden konnten, welche die Figur vergrösserten, musste mit folgender Formel eine Korrektur vorgenommen werden, welche die Faktoren in jedem Fall auf Werte zwischen null und eins normierten:

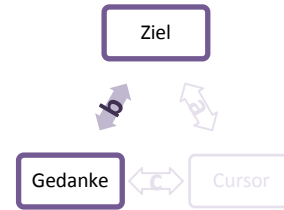
$$Pr\ddot{a}zision_{Gr\ddot{o}sse[4e]} = 1 - |1 - Gr\ddot{o}ssenfaktor_{Figur}|$$

Formel 13

## HÖHE

TEST [4f]

Die Fähigkeit zur Abschätzung von Höhenwerten trägt nach der Auffassung des Autors eine zentrale Bedeutung in der Ermittlung der Genauigkeit der Interpretation eines DHM. Die Relation liegt dabei zwischen dem Gedanken des Nutzers und dem Realwert des DHM (siehe Abbildung rechts). Die Höhenabschätzung wurde auf dieselbe Weise vorgenommen, wie sie im Test [2d] exemplarisch vorkam. Der einzige Unterschied bestand in einem einheitlichen Tonumfang, wobei als Grundton der *Kammerton*  $a^1$  mit 440 Hz definiert wurde (Gründe für diesen Entscheid siehe Kapitel 4.3.4.6 «Parameter Mapping Sonification: Vorüberlegungen»). Der geschätzte Prozentualwert  $\hat{h}$  wurde mit dem relativen Höhenwert  $\frac{h_{\text{Objekt}} - h_{\text{min}}}{h_{\text{max}} - h_{\text{min}}}$  des DHM (gemessen am absoluten Hörenspektrum) verglichen, woraus bei einer Abweichung eine prozentuale Differenz entstand. Die Subtraktion deren Betrags vom Wert 1 ergab schliesslich die Genauigkeit der Höhenabschätzung:



$$\text{Präzision}_{\text{Höhe}[4f]} = 1 - \left| 0.01 \cdot \hat{h} [\%] - \frac{h_{\text{Objekt}} - h_{\text{min}}}{h_{\text{max}} - h_{\text{min}}} \right| \quad \text{Formel 14}$$

## SCHWIERIGKEIT

TEST [4g]

Schliesslich wurde auf qualitative Weise erfasst, worin der Proband Schwierigkeiten im Umgang mit dem Auditory Display oder bei der Interpretation des DHM sah. Die Daten wurden mit der Absicht gesammelt, das Programm künftig für weitere Studienzwecke zu verbessern und aus den Informationen Rückschlüsse auf den Erfolg oder Misserfolg bei der Dateninterpretation zu ziehen.

## INDEX GENAUIGKEIT KOMPLEXITÄTSSTUFE 1

GEWICHTUNG

Bei der Endrechnung wurden sowohl Mittelwerte innerhalb der verschiedenen Tests [4b]–[4f] als auch innerhalb der dargestellten Figuren berechnet. Mit Ausnahme der Orientierung konnten für jede der drei Figuren fünf Aufgaben gelöst werden, was eine Summe von 14 Werten ergibt. Die Figuren- oder Methodenmittelwerte wurden anhand ihrer Häufigkeit normiert. Die Genauigkeit berechnete sich schliesslich aus folgenden Formeln:

$$x_{\text{within}} = \begin{cases} \frac{1}{5} \cdot x_{[4b]} + \frac{1}{5} \cdot x_{[4c]} + \frac{1}{5} \cdot x_{[4d]} + \frac{1}{5} \cdot x_{[4e]} + \frac{1}{5} \cdot x_{[4f]} & \text{Form} = \{\text{Rechteck}, \text{Dreieck}\} \\ \frac{1}{4} \cdot x_{[4b]} + \frac{1}{4} \cdot x_{[4c]} + \frac{1}{4} \cdot x_{[4e]} + \frac{1}{4} \cdot x_{[4f]} & \text{Form} = \{\text{Kreis}\} \end{cases} \quad \text{Formel 15}$$

$$\text{Präzision}_{\text{Komplex1}} = x_{\text{between}} = \frac{5}{14} \cdot x_{\text{withinDreieck}} + \frac{5}{14} \cdot x_{\text{withinRechteck}} + \frac{4}{14} \cdot x_{\text{withinKreis}} \quad \text{Formel 16}$$

**4.3.3.6 Main Test 2: Komplexitätsstufe 2 (stetiges Datenmodell; abstrakt)**

Der Main Test 2 umfasste die Komplexitätsstufe 2, wonach stetige Verläufe als Auditory Display dargestellt wurden. Als zugrunde liegendes Modell wurde aufgrund eines erstellten Bildes mit dem Programm `pre_test_load_image.pde` (siehe S.217–218) das stetige Modell `dem_cont_art` (siehe S.69) entwickelt und für die Studie verwendet, welches je zwei Erhebungen und zwei Senken mit eindeutigen Tiefst- und Höchstpunkten abbildete. Die Schwierigkeit gegenüber dem ersten Main Test lag darin, dass neu auch Positionen geschätzt werden mussten und dass das zugrunde liegende Modell stetig war.

KONZEPTION  
MAIN TEST 2

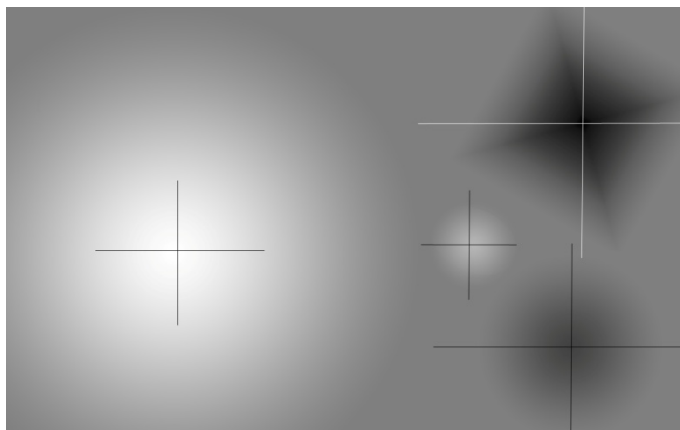
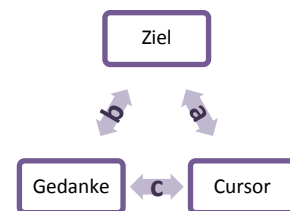


Abbildung 33: Stetiges, abstraktes Modell mit Mittelpunkten (extremste Werte).

Die Genauigkeiten konnten bei diesem Test unter anderem durch alle drei Relationsmöglichkeiten (siehe S.65 und Abbildung rechts) operationalisiert werden, da in den jeweiligen Formen klare lokalen Minima oder Maxima vorhanden waren (siehe Abbildung 33). Konkret hiess das, dass durch die Ermittlung des *Eastings* und des *Northings* alle drei Relationen bestanden, jedoch nicht für die Höhe, da sich die Cursorposition nur auf x- und y-Koordinaten bezog.



OPERATIONALISIERUNG  
MAIN TEST 1

Die Tabelle 12 gibt einen Überblick, welche Werte in welchen Tests erhoben wurden (siehe eckige Klammern):

ERHOBENE  
WERTE

Fokus	Einheit	Spezifische Fragen	Bewertung <sub>Gedanke</sub>	Bewertung <sub>Cursor</sub>	Test
Perzeption	Tal	Easting	[X <sub>Gedanke</sub> ]	[X <sub>Cursor</sub> ]	[5a]
		Northing	[Y <sub>Gedanke</sub> ]	[Y <sub>Cursor</sub> ]	
		Höhe	[Z <sub>Gedanke</sub> ]	[Z <sub>Cursor</sub> ]	
		Steigung	[α <sub>qual</sub> ]		[5b]

	Berg	Easting	[X <sub>Gedanke</sub> ]	[X <sub>Cursor</sub> ]	[5c]
		Northing	[Y <sub>Gedanke</sub> ]	[Y <sub>Cursor</sub> ]	
		Höhe	[Z <sub>Gedanke</sub> ]	[Z <sub>Cursor</sub> ]	
		Steigung	[α <sub>qual</sub> ]		[5d]
	Senke	Easting	[X <sub>Gedanke</sub> ]	[X <sub>Cursor</sub> ]	[5e]
		Northing	[Y <sub>Gedanke</sub> ]	[Y <sub>Cursor</sub> ]	
		Höhe	[Z <sub>Gedanke</sub> ]	[Z <sub>Cursor</sub> ]	
	Hügel	Easting	[X <sub>Gedanke</sub> ]	[X <sub>Cursor</sub> ]	[5f]
		Northing	[Y <sub>Gedanke</sub> ]	[Y <sub>Cursor</sub> ]	
		Höhe	[Z <sub>Gedanke</sub> ]	[Z <sub>Cursor</sub> ]	
Schwierigkeit	[qual]				[5g]

Tabelle 12: Detaillierter Auszug aus Tabelle 4 mit Fokus auf Main Test 2.

#### RELATION A

TESTS [5A],  
[5c], [5E], [5F]

Durch die Relation A lässt sich die Genauigkeit zwischen dem Wert der aktuellen Cursorposition und dem absoluten Zielwert des DHM operationalisieren (siehe Abbildung rechts). Diese Relation wurde jedoch nur für das Easting und das Northing, aber nicht für die Höhe definiert. Der Grund lag in der Festlegung der Aufgabenstellung, welche vorsah, dass lokale Höhenminima und –Maxima ermittelt werden sollten, die von der aktuellen Cursorposition und somit von der Interaktion des Nutzers abhängig waren.



Dieser Sachverhalt wurde auf zwei unterschiedliche Methoden abgebildet: Erstens konnte der tatsächliche Unterschied in Pixel durch eine Subtraktion berechnet werden. Relevant war dabei der höhere Wert, der die rasterbasierte Distanz darstellte. Zudem wurde ein Toleranzwert eingebaut, welcher ungefähr zwei Drittel der Breite der profilgebenden Einheit entsprach und bei dessen Überschreiten den Wert null zurückgab. Auf diese Weise wurde präzises Arbeiten und Interpretieren belohnt.

$$Präzision_{aEN1} = \begin{cases} 0 & | Dist_{aRaster} > Dist_{aToleranz} \\ 1 - \frac{Dist_{aRaster}}{Dist_{aToleranz}} & | Dist_{aRaster} \leq Dist_{aToleranz} \end{cases}$$

Formel 17

Eine zweite Methode der Operationalisierung der Genauigkeit berücksichtigte die aktuelle Einbettung der Stiftspitze auf dem Tablet. Dabei wurde die fiktive Distanz zwischen Gedankenmodell und Cursorposition ( $Dist_{cRaster}$ ) durch die maximale, in Pixel gemessene Distanz zum Tablettrand ( $Dist_{MaxTabletrand}$ ) dividiert und von eins subtrahiert. Dies wurde so entschieden, da diese

Vorgehensweise Bezug auf die aktuelle Lage der Stiftspitze auf dem Tablet und somit auf die Konstruktion des intrinsischen Modells durch den Tastsinn nahm. Die Formel lautete wie folgt:

$$Pr\ddot{a}zision_{aEN2} = 1 - \frac{Dist_{aRaster}[px]}{Dist_{MaxTabletrand}[px]} \tag{Formel 18}$$

RELATION B

Easting / Northing (Index EN) und die Höhe (Index Z) mussten getrennt werden, da sie durch unterschiedliche Parametrisierungen im Auditory Display dargestellt wurden. Dies ergab für die Relation *b* zwischen dem intrinsischen Modell (= Gedanke) und dem Zielpunkt (= DHM) in x- als auch in y-Richtung zwei Werte, die als unabhängige Schätzungen unter der Verwendung des gleichen Klangparameters angenommen wurden. Daher schien es angebracht zu sein, aus beiden Komponenten den Mittelwert als Operationalisierung der Relation *b* zu berechnen. Dabei wurden die Punkte des DHM abhängig von der Auflösung des Auditory Displays auf eine Skala von null bis eins transformiert, um sie von den geschätzten Koordinaten subtrahieren zu können.



und dem Zielpunkt (= DHM) in x- als auch in y-Richtung zwei Werte, die als unabhängige Schätzungen unter der Verwendung des gleichen Klangparameters angenommen wurden. Daher schien es angebracht zu sein, aus beiden Komponenten den Mittelwert als Operationalisierung der Relation *b* zu berechnen. Dabei wurden die Punkte des DHM abhängig von der Auflösung des Auditory Displays auf eine Skala von null bis eins transformiert, um sie von den geschätzten Koordinaten subtrahieren zu können.

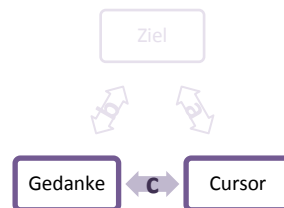
$$Pr\ddot{a}zision_{bEN} = \frac{Dist_{bx} + Dist_{by}}{2} = \frac{0.01 \cdot \hat{x} [\%] - \frac{x_{DHM}}{Aufl\ddot{o}sung_x} + 0.01 \cdot \hat{y} [\%] - \frac{y_{DHM}}{Aufl\ddot{o}sung_y}}{2} \tag{Formel 19}$$

Die Höhenwerte wurden dabei ähnlich behandelt, wobei unter Auflösung die Höhendifferenz zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Punkt zu verstehen ist:

$$Pr\ddot{a}zision_{bz} = Dist_{bz} = 0.01 \cdot \hat{z} [\%] - \frac{z_{DHM}}{Aufl\ddot{o}sung_z} \tag{Formel 20}$$

RELATION C

Die Relation *c* beschreibt die Genauigkeit der Interpretation vom intrinsischen Modell (= Gedanke) zur tatsächlichen Cursorposition. Die intrinsisch geschätzte Distanz wurde in das vorhandene Koordinatensystem transformiert, wonach anschließend die rasterbasierte Distanz berechnet werden konnte.



Eine Möglichkeit der Operationalisierung stellt diesen direkten Bezug dar, der sowohl für das Easting / Northing als auch für die Höhe gilt. Im Falle des Eastings / Northings wurde aus Gründen der gemeinsamen Nutzung desselben Klangparameters und aufgrund unabhängiger Schätzungen der arithmetische Mittelwert berechnet. Somit gelten:

$$\text{Pr\u00e4zision}_{cEN1} = \frac{\text{Dist}_{cx} + \text{Dist}_{cy}}{2} = \frac{0.01 \cdot \hat{x} [\%] - \frac{x_{\text{cursor}}}{\text{Aufl\u00f6sung}_x} + 0.01 \cdot \hat{y} [\%] - \frac{y_{\text{cursor}}}{\text{Aufl\u00f6sung}_y}}{2} \quad \text{Formel 21}$$

$$\text{Pr\u00e4zision}_{cZ} = \text{Dist}_{cz} = 0.01 \cdot \hat{z} [\%] - \frac{z_{\text{cursor}}}{\text{Aufl\u00f6sung}_z} \quad \text{Formel 22}$$

Analog zur Formel 18 der *Relation a* existierte f\u00fcr das Easting und das Northing die M\u00f6glichkeit, die fiktive Distanz zwischen dem Punkt des Gedankenmodells und dem der Cursorposition ( $\text{Dist}_{cRaster}$ ) durch die maximal noch vorhandene, in Pixel gemessene Distanz zum Tabletrand ( $\text{Dist}_{MaxTabletrand}$ ) zu dividieren und von eins zu subtrahieren:

$$\text{Pr\u00e4zision}_{cEN2} = 1 - \frac{\text{Dist}_{cRaster} [px]}{\text{Dist}_{MaxTabletrand} [px]} \quad \text{Formel 23}$$

### STEIGUNG

TESTS [5b],  
[5d]

Die Steigung wurde bei den zwei extremsten H\u00f6henauspr\u00e4gungen qualitativ abgefragt. Dabei mussten die Probanden den Auspr\u00e4gungen die Adjektive *steil* oder *flach* zuordnen. Korrekte Zuordnungen ergaben je einen Punkt, wohingegen falsche Antworten mit null Punkten bewertet wurden.

$$\text{Pr\u00e4zision}_{cSteigung} = \frac{\text{Resultat}_{[5b]} + \text{Resultat}_{[5d]}}{2} \quad \text{Formel 24}$$

### SCHWIERIGKEIT

TEST [5g]

Analog zum ersten Main Test wurden Schwierigkeiten im Umgang mit dem Auditory Display oder bei der Interpretation des DHM erfasst.

### INDEX GENAUIGKEIT KOMPLEXIT\u00c4TSSTUFE 2

GEWICHTUNG

Bei der Endrechnung wurden einerseits die bestehenden Relationen ber\u00fccksichtigt als auch Gew\u00fchtungen vorgenommen. Relationen mit Bezug zur Aufgabenstellung, welche das Finden und Sch\u00e4tzen lokaler maximaler und minimaler Werte beschrieb, wurden einer Gruppe zugeordnet (*Relation a* und *Relation b*). Die zweite Gruppe umfasste Indikatoren, welche der *Relation c* zugeordnet waren. In einem zweiten Schritt wurden beide Gruppen nach der Kategorisierung der Repr\u00e4sentation (Easting / Northing oder H\u00f6henwert) unterteilt, sodass vier Kategorien entstanden, welche in der Tabelle 13 als Crosstab ersichtlich sind.

Gew\u00fchtungen *zwischen* den Gruppen wurden wie folgt vorgenommen:

- Kategorien, mit oder ohne Relation zum Ziel wurden zu gleichen Teilen mit dem Faktor 0.5 gewichtet.
- Kategorien mit gekoppelter Parametrisierung (Easting gekoppelt an Northing da gleiche Klangvariable) wurden mit  $\frac{2}{3}$  gewichtet, während Kategorien mit selbstständigen Parametrisierungen mit  $\frac{1}{3}$  multipliziert wurden.

Anschliessend wurden nur *innerhalb* der Gruppen mit gekoppelter Parametrisierung Gewichtungen vorgenommen. Wo pro Kategorie, welche erstens nach Easting / Northing vs. Höhenwerten und zweitens nach Relation a vs. Relation b unterteilt werden, mehrere Indikatoren vorkamen, entschied sich der Autor für folgende Regeln:

- Die Relation a (zwischen dem Gedanken und dem lokalem Maximalwert) wurde mit dem Faktor 0.5 gewichtet, da eine klare Aufgabenstellung mit dem Ziel, den Maximalwert innerhalb des Auditory Displays zu finden, vorgegeben war.
- Die restliche Hälfte wurde im Verhältnis 3: 1 zu drei Teilen zugunsten desjenigen Indikators aufgeteilt, welcher einen Abstand zum Tabletrand berücksichtigte. Der restliche Teil ging an den Indikator, welcher einen Toleranzwert beim Abstand zum Zielpunkt berücksichtigte. War kein solcher vorhanden, erhielt die Relation a diesen Teil zusätzlich dazu. Diese Aufteilung wurde so gewählt, um den Einbezug des Tastsinns stärker als einen arbiträr gesetzten Schwellenwert zu gewichten.

Somit entstand folgende Gewichtungstabelle, welche für jede höhenbestimmende Einheit (Berg, Hügel, Senke, Schlucht) galt:

	Relation zum Ziel	Ohne Relation zum Ziel
<b>Gekoppelte Parametrisierung</b>	$Pr\ddot{a}z_{AA} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1.5 \cdot Pr\ddot{a}z_{aEN1} + 0.5 \cdot Pr\ddot{a}z_{aEN2} + 2 \cdot Pr\ddot{a}z_{bEN}}{4}$	$Pr\ddot{a}z_{AB} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{5.5 \cdot Pr\ddot{a}z_{cEN1} + 2.5 \cdot Pr\ddot{a}z_{cEN2}}{8}$
<b>Selbstständige Parametrisierung</b>	$Pr\ddot{a}z_{BA} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot Pr\ddot{a}z_{bZ}$	$Pr\ddot{a}z_{BB} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot Pr\ddot{a}z_{cZ}$

Tabelle 13: Crosstab zur Einteilung der Indikatoren der Main Test 2.

Zuletzt wurden die erhaltenen Gewichtungen zu gleichen Teilen auf die höhenbestimmenden Einheiten angewandt. Zudem wurden die beiden Antworten über die Steigung die Endopera-

tionalisierung integriert, sodass total 26 Antworten in der Tabelle 12 eingetragen werden konnten. Die Schlussformel für die gesamte operationalisierte Präzision des zweiten Main Tests lautete:

$$\text{Präzision}_{\text{Komplex2}} = \frac{4 \cdot (\text{Präz}_{AA} + \text{Präz}_{AB} + \text{Präz}_{BA} + \text{Präz}_{BB}) + 2 \cdot \text{Präz}_{c\text{Steigung}}}{26} \quad \text{Formel 25}$$

#### 4.3.3.7 Main Test 3: Komplexitätsstufe 3 (stetiges Datenmodell; real)

##### KONZEPTION MAIN TEST 3

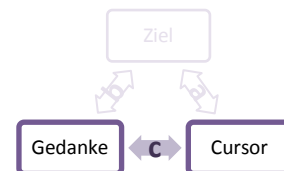
Der letzte Main Test stellte als Ausschnitt eines realen DHM das komplexeste Auditory Display der Studie dar. Im Vergleich zu den zuvor eingesetzten Modellen wies dieses DHM einen höheren LOD und einen kleineren Masstab auf, was zu abrupten Wechseln der sonifizierten Höhenwerte führte. Die Aufgabenstellung bezog sich im Vergleich zum Main Test 2 nicht mehr auf explizite Ziele, die gefunden werden mussten, sondern auf Datenexploration. Dies führte dazu, dass die Aufgaben und der Fragebogen an ein Schema angepasst werden musste, welches primär der *Relation c* (siehe Abbildung rechts) folgte.

##### AUFGABENSTELLUNG

Die Aufgabe bestand darin, ein möglichst tiefes Tal, eine möglichst hohe Bergspitze und einen See zu finden und deren relative Lage wie auch relative Höhe zu schätzen. Ausserdem sollte eine zweite lokale Erhebung egal welcher Höhe erkannt und deren absolute Höhe geschätzt werden. Schliesslich war die Orientierung der Bergkette zu schätzen.

##### ZIELSETZUNG

Das Ziel war es, die Genauigkeit der Interpretation der sonifizierten Werte zu messen. Dazu musste die Genauigkeit in messbare Einheiten operationalisiert werden. Für die *Relation c* eignete sich dabei besonders die Stärke der Korrelation bzw. des Unterschieds von der intrinsischen Vorstellung zum realen Klang ([6a], [6c], [6e], [6g]). Ebenso wurde eine qualitative Frage eingebaut, die eine Exploration erforderte ([6i]).



Aufgaben, welche die Suche eines Objektes als Ziel definierten und gleichzeitig bei dieser hohen Komplexitätsstufe über das Gehör zu lösen waren, konnten nach der Ansicht des Autors nur auf qualitative Weise erhoben werden. Somit wurden auch drei Fragen der *Relation b* ausgearbeitet ([6b], [6d], [6f]).



Diese Überlegungen führten zu folgendem Aufbau des Fragebogens:



Fokus	Einheit	Spezifische Fragen	Bewertung <sub>Gedanke</sub>	Bewertung <sub>Cursor</sub>	Gewichtung	Test
Perzeption	Tal	Easting	[X <sub>Gedanke</sub> ]	[X <sub>Cursor</sub> ]		[6a]
		Northing	[Y <sub>Gedanke</sub> ]	[Y <sub>Cursor</sub> ]		
		Höhe	[Z <sub>Gedanke</sub> ]	[Z <sub>Cursor</sub> ]		
		Getroffen?	[j/n]			[6b]
		MS-Region	[MS]			
	Berg	Easting	[X <sub>Gedanke</sub> ]	[X <sub>Cursor</sub> ]		[6c]
		Northing	[Y <sub>Gedanke</sub> ]	[Y <sub>Cursor</sub> ]		
		Höhe	[Z <sub>Gedanke</sub> ]	[Z <sub>Cursor</sub> ]		
		Getroffen?	[j/n]			[6d]
		MS-Region	[MS]			
	See	Easting	[X <sub>Gedanke</sub> ]	[X <sub>Cursor</sub> ]		[6e]
		Northing	[Y <sub>Gedanke</sub> ]	[Y <sub>Cursor</sub> ]		
		Höhe	[Z <sub>Gedanke</sub> ]	[Z <sub>Cursor</sub> ]		
		Getroffen?	[j/n]			[6f]
		MS-Region	[MS]			
	Hügel	Höhe	[Z <sub>Gedanke</sub> ]	[Z <sub>Cursor</sub> ]		[6g]
		Getroffen?	[j/n]			[6h]
		MS-Region	[MS]			
	Bergkette	Orientierung	[°]			[6i]
Schwierigkeit	[qual]				[6j]	

Tabelle 14: Detaillierter Auszug aus Tabelle 4 mit Fokus auf Main Test 3.

EASTING / NORTHING / HÖHE

Eine Methode der Operationalisierung der Interpretationsgenauigkeit des Auditory Displays bestand darin, den Betrag der prozentualen Abweichungen der intrinsischen Vorstellung zum tatsächlich sonifizierte Ton vom Wert eins zu subtrahieren. Da das Easting (X) und Northing (Y) den gleichen Klangparameter teilten und voneinander unabhängige Schätzungen darstellten, wurde ihr arithmetisches Mittel zur Berechnung des Indikators benutzt:

TESTS [6A] [6C]  
[6E] [6G]

$$Pr\ddot{a}zision_{xy1} = \frac{1 - \left| 0.01 \cdot \hat{x} [\%] - \frac{x_{Cursor}}{Aufl\ddot{o}sung_x} \right| + 1 - \left| 0.01 \cdot \hat{y} [\%] - \frac{y_{Cursor}}{Aufl\ddot{o}sung_y} \right|}{2}$$

Formel 26

$$Pr\ddot{a}zision_z = 1 - \left| 0.01 \cdot \hat{z} [\%] - \frac{z_{Cursor}}{max_z - min_z} \right|$$

Formel 27

Eine weitere Methode der Operationalisierung der Schätzgenauigkeit in x- und y-Richtung stellte die Division der rasterbasierten, fiktiven Distanz zwischen Gedankenmodell und eigentlicher Cursorposition ( $Dist_{cRaster}$ ) durch die maximal mögliche rasterbasierte Distanz des Modells ( $Dist_{MaxModelExtent}$ ) dar. Im Gegensatz zur Formel 18, welche die aktuelle Distanz zum Tabletrand berücksichtigte, bezog sich die folgende Formel auf die maximal mögliche Ausdehnung des Modells in Pixel. Dies wurde aus dem Grund entschieden, da im Gegensatz zum zweiten Main Test kein vorbestimmtes Ziel geschätzt werden musste und das gesamte Feld genutzt werden konnte. Somit lag der maximal mögliche Schätzfehler auf der maximalen rasterbasierten Distanz zwischen zwei Punkten, welche in diesem Fall der Breite des Modells entsprach.

$$Pr\ddot{a}zision_{xy2} = \frac{Dist_{cRaster} [px]}{Dist_{MaxModelExtent} [px]} \quad \text{Formel 28}$$

#### ZIELINFORMATIONEN

TESTS [6b] [6d]  
[6f] [6h]

Um die in der Zielsetzung genannten Aufgaben der Relation b abzudecken, wurde qualitativ und visuell geprüft, ob der Proband ein potentielles Ziel getroffen hatte. Eine Abweichung von ca. 5 Pixeln zu einem erkennbaren lokalen Hoch- oder Tiefpunkt wurde toleriert. War der Proband erfolgreich, erhielt er einen Punkt – bei einer zu grossen Abweichung wurden null Punkte erteilt. Die erreichte Punktzahl wurde zur Normierung durch die maximal mögliche Anzahl an Punkten geteilt. Die Interpretationsfähigkeit konnte somit auch durch die Treffgenauigkeit bestimmter Punkte operationalisiert werden, welche einen Hinweis auf Sicherheit in der Interpretation des Auditory Displays vermittelten.

$$Pr\ddot{a}zision_{qual} = \frac{erreichte\ Punktzahl_{[6b],[6d],[6f],[6h]}}{maximale\ Punktzahl_{[6b],[6d],[6f],[6h]}} \quad \text{Formel 29}$$

Der Platz auf dem Fragebogen sollte auch ausreichen, um die jeweilige MS-Region der Schätzung eintragen zu können. Dies sollte dem Zweck einer späteren Datenauswertung dienen und war nicht ein primärer Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Aus Gründen der Qualitätssicherung wurde dieses Feld erst nachträglich ausgefüllt.

#### ORIENTIERUNG

TEST [6i]

Bei der Beurteilung der Schätzungsgenauigkeit über die Orientierung der Bergkette wurde aus Homogenitätsgründen auf die Tabelle 10 des Tests [4d] zurückgegriffen. Die Bewertungen wurden auf die Spalte «Orientierung Rechteck» bezogen, da das zugrunde liegende DHM ebenfalls rechteckig aufgebaut war.

$$Pr\ddot{a}zision_{[6i]} = \frac{\text{erreichte Punktzahl}_{[6i]}}{\text{maximale Punktzahl}_{[6i]}} \quad \text{Formel 30}$$

#### SCHWIERIGKEIT

Wiederum wurden in qualitativer Weise die empfundenen Schwierigkeiten im Umgang mit dem Auditory Display notiert und später ausgewertet.

TEST [6j]

#### INDEX GENAUIGKEIT KOMPLEXITÄTSSTUFE 3

Um den Index des dritten Main Tests zu berechnen, wurden die einzelnen Indikatoren der jeweiligen Anzahl Erfassungen entsprechend gewichtet. Einzig in x- und y-Richtung wurde der Durchschnitt zwischen den Indikatoren  $Pr\ddot{a}zision_{xy1}$  und  $Pr\ddot{a}zision_{xy2}$  gewählt. Folglich gilt für die Operationalisierung des Index für die Genauigkeit des dritten Main Tests die Formel:

GEWICHTUNG

$$Pr\ddot{a}zision_{\text{Komplex3}} = \frac{3 \cdot Pr\ddot{a}z_{xy1} + 3 \cdot Pr\ddot{a}z_{xy2} + 4 \cdot Pr\ddot{a}z_z + 4 \cdot Pr\ddot{a}z_{\text{qual}} + 1 \cdot Pr\ddot{a}z_{[6i]}}{15} \quad \text{Formel 31}$$

#### 4.3.3.8 Anhang

##### LEERE SKIZZENFELDER

Zwei leere Skizzenfelder sollten den Probanden ermöglichen, ihre Erinnerungen und Gedanken zu notieren, sofern sie bei bestimmten Antworten Unsicherheit zeigten. Die Längenverhältnisse wurden den Ausdehnungen des Auditory Displays entsprechend angepasst.

##### VERWENDETE BILDER

Den Abschluss des Fragebogens bildeten die im Pre-Test 3 verwendeten und farbig ausgedruckten Abbildungen (Abbildung 29 bis Abbildung 31). Die hochaufgelöste Abbildung 29 wurde auf den Satzspiegel von ca. 15 cm Breite reduziert, während die restlichen beiden auf dieselbe Höhe getrimmt, mit ca. 15 cm Breite nebeneinander angeordnet wurden. Sowohl die Zuordnungen zu den Aufgaben wie auch Quellenhinweise waren auf der Seite zu finden.

#### 4.3.4 Verwendete Programme

API

In diesem Kapitel werden die Programme genannt, welche direkt für die Durchführung der Tests verwendet wurden. Während das erste eine online verfügbare Applikation darstellte, wurden die restlichen selbstständig mit der Programmierumgebung *Processing* entwickelt. Für das Erlernen der Programmiersprache waren dabei das online dokumentierte Processing API (Processing Volunteers Team 2011) und das Buch der Processing-Entwickler Reas und Fry (Reas & Fry 2007) von zentraler Bedeutung. Alle erarbeiteten Codes sind mitsamt den Erklärungen im Anhang (S.213–249) zu finden.



Abbildung 34: Processing-Logo  
(Quelle: [processing.org](http://processing.org);  
Zugriff: 25.9.2011).

##### 4.3.4.1 Solfège-Programm

SOLFÈGE-  
PROGRAMM

Um die musikalischen Vorkenntnisse zu ermitteln, welche für das Lösen des Main Tests von Bedeutung waren, wurde ein Programm benötigt, welches zwei Töne eines variablen Intervalls in einer bestimmten Reihenfolge auf Befehl wiedergeben konnte. Sowohl Solfège-Programme als auch virtuelle Keyboards oder Notationsprogramme vermochten dieser Aufgabe nachzukommen. Für die vorliegende Arbeit wurde die einfache, jedoch aufgrund der langen Klangdauer wirkungsvolle Applikation *YGS Virtual Piano* (Dzhusupov 2010) verwendet.

##### 4.3.4.2 Grafik-, Textverarbeitungs- und Rechenprogramme

ARBEITSPRO-  
GRAMME

Rasterbasierte Grafiken wurden primär in *Adobe Photoshop CS4* erstellt oder bearbeitet. Für die schriftliche Arbeit wurden zusätzlich dazu *Adobe Illustrator CS4*, *Google SketchUp 8*, *GeoGebra 4* und *ColorOracle 1.1.3* verwendet. Verfasst wurde die Arbeit in *Microsoft Word 2007* durch Unterstützung des Quellenverwaltungs-Add-Ins *Zotero*. Die Zusammentragung der erhobenen Daten erfolgte mit *Microsoft Excel 2007* und deren Auswertung schliesslich mit *IBM SPSS Statistics 20*.

##### 4.3.4.3 Programm zum Messen der Sicherheit im Umgang mit dem Tablet

TABLET-  
PROGRAMM

Wie erfahren ein Proband mit einem Tablet umgehen konnte, war Gegenstand der Untersuchung der technischen Vorkenntnisse. Dazu wurde das Programm `pre_test_tablet_accuracy` geschrieben, welches beim Nachfahren einer Linie den Abstand von der gezeichneten Linie zur Ziellinie mass und als Code im Anhang einsehbar ist (siehe S.213–217).

Wie die Abbildung 35 zeigt, wurde in *Processing* dazu ein Fenster in der Auflösung von 1280 x 800 Pixel mit vier geraden Linien vorgegeben, welche den Bereich vertikal, horizontal und diagonal teilten. Jede Achse wurde zur intuitiven Erkennbarkeit mit einem Buchstaben beschriftet und mit einer Farbe eingefärbt. Die Erstellung von Buchstaben bedurfte der Verwendung des internen *Create Font*-Tools.

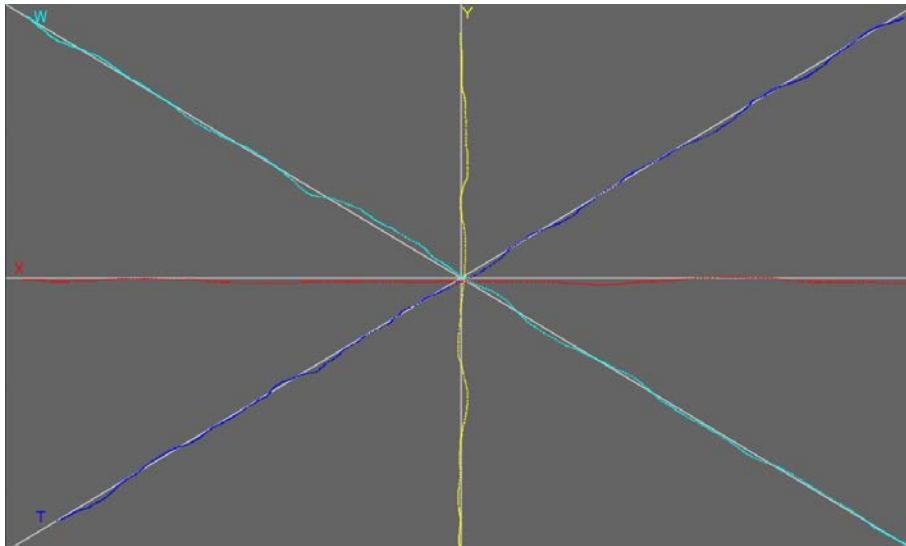


Abbildung 35: Nachgezeichnete Linien des Tests [1d] auf dem Display der Applikation *pre\_test\_tablet\_accuracy*.

Durch den unmittelbaren Kontakt der Stiftspitze und des Tablets mit gleichzeitigem Drücken der jeweiligen Taste wurden *sowohl die Koordinaten als auch die nächste Distanz jedes Punktes zur Ziellinie* in einem der jeweiligen Ziellinie entsprechenden, globalen Array registriert und im Hintergrund in vier Textdokumente (abhängig von der Achse) geschrieben. Gleichzeitig wurde ein Punkt in der Einfärbung der Beschriftung der Koordinatenachse gezeichnet. Mit dem Drücken der ENTER-Taste stoppte die gemessene Zeit und das Programm berechnete aus den gesammelten Daten ihre statistischen Werte.

Dazu iterierte das Programm durch alle registrierten Punkte und berechnete fortlaufend anhand der aufsummierten Mittelwerte der Distanz und der aktuellen Distanz zur Ziellinie die Varianz und die Standardabweichung. Die Formeln dazu wurden mathematischer Literatur entnommen (Stahel 2007, S.17–19) und in die Processing-Programmiersprache umgesetzt.

Es musste vor allem darauf geachtet werden, dass die Werte erst aufgezeichnet wurden, wenn sowohl eine bestimmte Taste gedrückt wurde als auch die Stiftspitze mit dem Tablett in Kontakt war, was einem linken Mausklick entsprach (Codeausschnitt 1, Zeilen 1–2). Dies geschah primär aus dem Grund, um Fehlregistrierungen durch unabsichtliche Bewegungen zu vermei-

den, da das Tablet auch Bewegungen registrierte, die eine gewisse Distanz zur Schreibfläche aufwiesen. Zweitens musste berücksichtigt werden, dass die Koordinaten erst registriert wurden, wenn sie sich von denen der letzten Position unterschieden, da sonst beim Verharren an einem Punkt Mehrfachaufzeichnungen die Aussagekraft der Analyse beeinträchtigt hätten (Codeausschnitt 1, Zeile 3). Somit entstanden drei ineinander verschachtelte Bedingungen, in welchen schliesslich die Distanzen berechnet wurden:

```

1   if (mousePressed == true && mouseButton == LEFT) {
      if (mouseX != pmouseX || mouseY != pmouseY) {
3       if (keyPressed == true) {...}
      }
5   }

```

#### Codeausschnitt 1

Am Ende der Iteration wurden von links nach rechts die statistischen Werte *Anzahl*, *Summe*, *Mittelwert*, *Varianz* und *Standardabweichung* der Abweichungen sowie die verstrichene *Zeit* in Millisekunden ausgegeben und in ein Textfile gespeichert. Die Abbildung 36 zeigt einen möglichen Output des Programms:

Count	Sum	Mean	Variance	SD	Time [ms]
972.0	3339.0	3.4351852	47.798473	6.913644	17404

Abbildung 36: Exemplarischer Output der Applikation *pre\_test\_tablet\_accuracy*.

#### 4.3.4.4 Programm zur Umwandlung von Graustufen in Höhenwerte

##### KONZEPTION

Da nur beim Main Test 3 ein reales Modell eingesetzt wurde, mussten die DHM für die Main Tests 1 und 2 künstlich gebildet werden. Der Autor entschied sich dazu, in *Adobe Photoshop* Graustufenbilder in der Auflösung von 1280 x 800 Pixel zu gestalten und diese anschliessend mit einem eigens konzipierten Programm mit Processing in ein DHM umzuwandeln. Die Kritik zu diesem Verfahren ist im Diskussionsteil im Kapitel 6.1.2 «Stetigkeit der Daten» zu finden.

##### IMPLEMENTIERUNG

Mit dem eigens entwickelten Programm `preliminary_loadImage`, welches sich von der Konzeption an Shiffman Tutorial (Shiffman 2011) anlehnte, war es möglich, eine JPG-Bilddatei zu laden und mit deren Pixel weiterzurechnen. Dazu mussten zu Beginn globale Variablen der Typen *PImage* und *PrinterWriter* definiert und ein zu bearbeitendes Bild bestimmt werden (siehe *setup*-Funktion S.217). Den Kern des Prozesses bildete die Processing-interne *draw*-

Funktion, in welcher die Pixel des Bilds mit der Funktion `loadPixels()` (Codeausschnitt 2, Zeile 2) geladen und in einem iterativen Prozess sowohl in x- als auch in y-Richtung gelesen (Codeausschnitt 2, Zeilen 3–4) und bearbeitet wurden. Da das zu transformierende Bild auf Graustufen aufbaute, musste nur ein RGB-Kanal berücksichtigt werden. Der Autor entschied sich, für jedes Pixel den Wert des Kanals R abzufragen (Codeausschnitt 2, Zeile 6) und diesen über eine Return-Funktion zu übermitteln (Codeausschnitt 2, Zeile 7).

Die *Return-Funktion* (Codeausschnitt 2, Zeilen 17–20) berechnet aufgrund der folgenden Formel den Höhenwert des künstlichen DHM:

$$\text{Höhenwert}_{DHM} = \text{Rotwert} \cdot 15 + 400 \quad \text{Formel 32}$$

Die Formel 32 orientiert sich mit den potentiell möglichen Höhenwerten, welche zwischen 400 und 4240 Metern liegen, in etwa an den Werten des verwendeten Ausschnitts des DHM25. Dieser berechnete Höhenwert (`rNew`) wird zurückgeschickt, worauf er zusammen mit dem lokalen x- und y-Wert durch Tabulatoren getrennt über die `PrintWriter`-Variable in ein Textdokument (`newImageDEM.txt`) geschrieben wurde (Codeausschnitt 2, Zeilen 9–10).

Die restlichen Operationen (Codeausschnitt 2, Zeilen 9, 13 und 14)) veranlassten schliesslich eine Visualisierung der Daten. Da die Processing-interne `draw`-Funktion endlos ausgeführt wird, musste sie nach erfolgtem Berechnungsprozess mit der Funktion `noLoop()` gestoppt werden.

```
1  draw(){
    loadPixels();
    for (int y = 0; y < height; y++ ) {
        for (int x = 0; x < width; x++ ) {
5         int local = x + y * width;
            float r = red(img.pixels[local]);
            float altitude = conversion(r);
            pixels[local] = color(r);
            newImageDEM.println(x + "\t" + y + "\t" + altitude);
10         newImageDEM.flush();
        }
    }
    updatePixels();
    noLoop();
15 }
float conversion(float rNew) {
    rNew = rNew * 15 + 400;
    return rNew;
}
```

Codeausschnitt 2

Analog zum Programm *preliminary\_readFile* wurde der Output so angepasst, dass durch die erfolgten Iterationen die erzeugten Masse des DHM kontrolliert werden konnten.

```
x-axis [px]      y-axis [px]      total [px]
1280             800             1024000
New DEM created!
```

Abbildung 37: Exemplarischer Output der Applikation *preliminary\_loadImage*.

#### 4.3.4.5 Programm zum Croppen eines DHMs

KONZEPTION

Da beim dritten Main Test die Verwendung des *DHM25* der *swisstopo* vorgesehen war, dessen Masse jedoch die konzipierte Auflösung überstiegen, musste das DHM auf 1280 x 800 Pixel reduziert werden. Da die gegebene Maschenweite ausserdem bei 200 Metern lag, waren aufgrund des kleinen Masstabs Datenlücken gegen die Nachbarländer der Schweiz unausweichlich. Diese galt es, auf ein Minimum zu beschränken.

DATENSTRUKTUR

Das von *swisstopo* verwendete *DHM25* wurde als Textfile verarbeitet, wobei pro Zeile drei Werte durch Tabulatoren getrennt von links nach rechts *x (Easting)*, *y (Northing)* und *z (Höhe)* darstellten. Die Werte für *x* und *y* waren im Schweizer Landeskoordinatensystem *CH1903* als *Integer* angegeben, die Höhenwerte hingegen als *Float* in Metern über Meer.

#### FUNKTION `DATAIMPORT ( )`

IMPORTVORGANG

Das Programm musste beim Importvorgang die gegebene Datenstruktur berücksichtigen und in einem Iterationsvorgang zeilenweise getrennte Zeichen erkennen und diese in einen Array abspeichern. Da Processings Lesevorgang nur Strings erkannte, wurde ein eindimensionaler String-Array mit drei Attributen gebildet, der im selben Iterationsprozess in einen zweidimensionalen Array transformiert wurde, bei dem die Zeichen in Integer- oder Floatwerte umgewandelt wurden. An diesem Punkt war die gegebene Textdatei in derselben Struktur in ein internes Array (`coordinatesArray` im Codeausschnitt 3) umgewandelt worden. Gleichzeitig wurden alle Maximal- und Minimalwerte als globale Variablen erfasst.

Um das gesamte Modell auf einen Ausschnitt von 1280 x 800 Pixel zu verkleinern, mussten im Voraus *Grenzwerte* bestimmt werden, welche die gewünschte Anzahl Pixel abzubilden vermochte. Die Grenzwerte wurden empirisch festgelegt, wobei erstens eine *Visualisierung* (siehe Funktion `drawDEM` weiter unten) und eine statistische Berechnung unterstützend wirkten.



Um den Anteil an Pixel ohne Daten möglichst tief zu halten, wurde eine Berechnung eingeführt, die den Anteil der mit Daten behafteten Pixel (siehe `counts` in Abbildung 38) gegenüber der Gesamtmenge der Pixel angab. Am Ende jedes oben beschriebenen Iterationsvorgangs wurde ein Zähler aktiviert, der die Anzahl an Pixeln mit Daten zählte und ihn durch die Anzahl Pixel der gewünschten Auflösung dividierte (siehe `coverage` in Abbildung 38). Eine zusätzliche Kontrollfunktion bestand in der Berechnung der virtuellen Maschenweite in x- und y-Richtung. Dabei wurde in jeder Richtung der Minimal- vom Maximalwert subtrahiert und durch die Ausmasse in Pixel dividiert. Stimmte dieses Resultat (siehe `meshSizeX` und `meshSizeY` in Abbildung 38) mit der Vorgabe von 200 Metern überein, wurden die Grenzwerte korrekt festgelegt.

Die maximale Abdeckung wurde auf empirische Weise mit der Festlegung von Grenzen zu bestimmen versucht. Die Grenzwerte der Tabelle 15 ergaben den höchsten ermittelten Abdeckungsgrad von 97.17% und somit folgenden Output:

```
meshSizeX  meshSizeY  counts  coverage [%]
200        200        995054  97.17324%
New DEM created!
```

Abbildung 38: Exemplarischer Output der Applikation `preliminary_readFile`.

Variable	Wert
<code>minimumBoundaryX</code>	544000
<code>maximumBoundaryX</code>	800000
<code>minimumBoundaryY</code>	118000
<code>maximumBoundaryY</code>	278000

Tabelle 15: Festgelegte Grenzwerte des DHM25.

#### FUNKTION `DRAWDEM()`

Die importierten Daten wurden zu Vergleichszwecken auch visualisiert. Dies geschah, indem zuerst das Bildkoordinatensystem in y-Richtung um den Faktor  $-1$  transformiert wurde, da die Schweizer Landeskoordinaten von Süden nach Norden aufsteigen, doch Processing von oben nach unten rechnet. Anschliessend wurden in einem iterativen Prozess die x- und y-Koordinaten aus den Spalten `[0]` und `[1]` des neu erstellten Koordinatenarrays `coordinateArray` in Bildkoordinaten umgewandelt (siehe Codeausschnitt 3, Zeilen 2–5). Dies geschah, indem in einem ersten Schritt von jedem Landeskoordinatenpaar der Minimalwert der jeweiligen Achse subtrahiert und anschliessend aus Korrekturgründen eine Maschenweite (`meshSi-`

`zeIncrementX` oder `meshSizeIncrementY`) dazu addiert wurde. In einem zweiten Schritt musste dieser Wert durch die Maschenweite geteilt werden, was zum Bildkoordinatenpaar führte.

Die Zeilen 6–9 (siehe Codeausschnitt 3) beschreiben den Einfärbungsprozess jedes Koordinatenpaars – welches einem Pixel entspricht – durch seine Höhe, bei welchem der maximale Höhenunterschied in 256 Graustufen unterteilt wurde. Die Funktion `stroke()` definierte den jeweiligen Grauwert abhängig vom Höhenwert (`coordinatesArray[i][2]`), während `point()` den Punkt aufgrund den Bildkoordinaten der berechneten Farbe entsprechend einfärbte.

```

1 for (int i = 0; i < coordinatesArray.length; i++) {
    int x = int(coordinatesArray[i][0]);
    int y = int(coordinatesArray[i][1]);
    int xCoord = (x - minimumX + meshSizeIncrementX) / (meshSizeIncrementX);
5   int yCoord = (y - minimumY + meshSizeIncrementY) / (meshSizeIncrementY);
    float colorDividend = (maximumZ - minimumZ) / 256;
    int zColor = round((coordinatesArray[i][2] - minimumZ)/colorDividend);
    stroke(zColor);
    point(xCoord,yCoord);
10 }

```

Codeausschnitt 3

#### 4.3.4.6 Parameter Mapping Sonification: Vorüberlegungen

##### WAHL DES TONSPEKTRUMS UND DES GRUNDTONS

Analog zu den Überlegungen zum Test [2d] (siehe S.81) wurde die Oktave als Grundspektrum gewählt, da die intuitiv wahrgenommene Höhenverdoppelung auf einer physikalischen Schwingungsverdoppelung beruht. Nach Ansicht des Autors sollte durch die Oktave ein intuitiv wahrnehmbares Tonspektrum vorgegeben werden, um den Hörer möglichst von seinem gewohnten Harmoniebezug loszulösen<sup>10</sup>.

Die Wahl, den Grundton auf 440 Hz festzulegen, lag nicht primär auf musikhistorischen Gründen, sondern berücksichtigte hauptsächlich die menschliche Psychophysik. Durch die Festlegung auf 440 Hz war laut der Abbildung 5 einerseits anzunehmen, dass die natürliche Lautstärkeempfindung im Bereich von 440 bis 880 Hz nicht allzu sehr schwanken sollte. Andererseits sollte die Obergrenze von 880 Hz eine noch tolerierbare Frequenz darstellen, ohne von den

<sup>10</sup> Anmerkung: Dieses Konzept stand im Gegensatz zu Bearman und Lovetts (Bearman & Lovett 2010) Idee, welche gerade durch Harmoniebezüge versuchten, Klassen an Töne zu binden und dafür Intervalle bis zur *Dezime* darstellten, was bei der Interpretation diskreter Werte durchaus zweckvoll zu sein schien.

meisten Probanden als äusserst unangenehm oder schmerzhaft empfunden zu werden. Dass am Test auch Probanden mit einem ausgeprägten musikalischen Hintergrund teilnehmen sollten, die mit diesem Frequenzspektrum vertraut waren, war nur sekundär von Belang.

#### WAHL DER LAUTSTÄRKE

Aus Gründen der unterschiedlichen Lautstärkenwahrnehmung wurde es jedem Probanden selbst überlassen, über die Wahl der Lautstärke zu verfügen. Diese konnte einerseits über die Betriebssystemlautstärke oder über die Amplitude innerhalb des Programms reguliert werden. Der Versuchsleiter stellte einzig die Bedingung, dass die Lautstärke allfällige Umgebungsgeräusche übertönen musste und die Anweisungen des Versuchsleiters dennoch wahrgenommen werden sollten.

LAUTSTÄRKE  
NACH WUNSCH

#### WAHL DER PARAMETRISIERUNG

Die Parametrisierung stellte die Umsetzung der Forschungsleitfragen b) und c) (siehe Kapitel 2.4 «Forschungsleitfragen») sowie des aufgestellten Konzepts des Study Designs (siehe Kapitel 4.1 «Study Design») und somit einen zentralen Aspekt des Programmierprozesses dar.

Auf die Forschungsleitfrage b) («Welche musikalischen Parameter eignen sich am besten zur salienten Wiedergabe eines kontinuierlichen Oberflächenmodells?») bezogen, mussten zwei komplett unterschiedliche Parametrisierungen eingesetzt werden, welche dennoch durch stetige Klangparameter sonifiziert werden konnten. Zur Auswahl standen daher die im Kapitel 3.2.2 «Grundbegriffe der Akustik» vorgestellten Klangparameter *Amplitude*, *Frequenz* und *Dauer*. Der Autor entschied sich dazu, nur deren zwei gleichzeitig einzusetzen, da seiner Ansicht nach die Interpretation dreier Klangparameter eine zu hohe Konzentration gefordert hätte.

PRÄMISSEN

Überdies sollte das Navigationsgefühl vereinfacht werden und so intuitiv als möglich wirken. Dies führte dazu, ähnlich einem Herabschauen auf eine Karte aus der Vogelperspektive, die Navigation auf die x- und y-Achse zu beziehen und daraus den z-Wert abzufragen. Aufgrund der Datenlage, welche durch den rasterförmigen Aufbau ein 2.5D-Höhenmodell wiederspiegelte, war diese Voraussetzung gegeben. Daraus folgte:

<b><u>Prämisse 1:</u></b>	Für die x- und y-Achse wurde jeweils der gleiche, stetige Klangparameter eingesetzt.
<b><u>Prämisse 2:</u></b>	Die Repräsentation der z-Achse erfolgte durch einen zur x- und y-Achse unterschiedlichen, stetigen Klangparameter.
<b><u>Lemma:</u></b>	Die x-, y- und z-Ordinaten wurden durch zwei unterschiedliche, stetige Klangparameter sonifiziert.

## UMSETZUNG

Konkret wurden zwei ungleiche Navigationskonzepte aufgestellt:

- Ein absolutes Modell, welches die Lage als Koordinatensystem mit dem Ursprung in der linken, unteren Ecke mit 0% angab und zur rechten, oberen Ecke jeweils 100% erreichte.
- Ein absolutes Modell, welches von einem Zentrum ausging und durch die Balance zwischen zwei Mal zwei Polen ein Gefühl der Einbettung innerhalb eines Koordinatensystems verlieh.

Das Konzept b) wurde in ähnlicher Weise von MacVeigh und Jacobson (MacVeigh & Jacobson 2007) eingesetzt. Während die Sicht aus der Vogelperspektive gleich konzipiert wurde, unterschied sich die Lautstärkenzunahme darin, dass im Gegensatz zu MacVeigh und Jacobsons Projekt nicht die Häufigkeiten von Klassen innerhalb einer bestimmten Matrix, sondern der absolute Abstand zum jeweiligen Rand für die Berechnung der Sonifikation eingesetzt wird.

Anhand der Navigationskonzepte wurden anschliessend die Parametrisierungen für aufsteigende Koordinatenwerte des DHM wie folgt festgelegt:

- x-Richtung: Frequenzzunahme auf dem linken Ohr von 440 Hz bis 880 Hz.

y-Richtung: Frequenzzunahme auf dem rechten Ohr von 440 Hz bis 880 Hz.

z-Richtung: Verkürzung der Dauer auf beiden Ohren von  $\frac{200 [ms] \cdot h_{max}}{h_{min}}$  nach 200 ms.
- x-Richtung: Balance aufgrund relativer Amplitude von 100% links 100% rechts.

y-Richtung: Pan aufgrund relativer Amplitude von 100% Eckwelle nach 100% Sinuswelle.

z-Richtung: Frequenzzunahme auf beiden Ohren von 440 Hz bis 880 Hz.

KONZEPT A) =  
METHODE A

Das Konzept a) wurde der *Sonifikationsmethode A* zugeteilt. Der Nutzer sollte in der Ebene durch das Auditory Display zweier Frequenzen seine Lage ermitteln können, wobei Bezug zum Ursprung in der unteren linken Ecke genommen wurde. Zur zusätzlichen Unterscheidung wurden auf beiden Kanäle verschiedene Wellenformen eingesetzt – auf dem linken Sinuswellen

und auf dem rechten Eckwellen<sup>11</sup>. Die Aufteilung auf zwei Ohren vermied zudem Maskierungseffekte (siehe Kapitel 3.3.2.3 «Effekte beim Hören mehrerer Töne»).

Die Dauer als Wechsel zwischen *Ton* und *Stille* sollte in Abhängigkeit der technischen Voraussetzungen der Sonifikationsapplikation auf das kürzeste Zeitintervall definiert werden. Diese lag bei 200 Millisekunden pro Ton bzw. Stilleinheit und ergo bei einer Gesamtperiode von 400 Millisekunden. Eine Halbierung der Geschwindigkeit (= doppeltes Zeitintervall) stand für die doppelte Höhe, genauso wie ein vierfaches Zeitintervall für die vierfache Höhe etc. Die Ausgangslage dieser Idee war es, ein System zu bilden, welches die absolute Höhe darzustellen vermochte, die durch Quervergleiche mit anderen Bezugspunkten ermittelt werden konnte, wobei die äusseren Bezugspunkte das Minimum und Maximum darstellten. *Der Einbezug der Dauer musste berücksichtigen, dass die Probanden für die Ermittlung von Werten eine bestimmte Zeit aufwenden mussten* (siehe Study Design S.56).

Die Abbildung 39 zeigt die Zuteilung der Klangparameter an die Raumdimensionen der *Sonifikationsmethode A*:

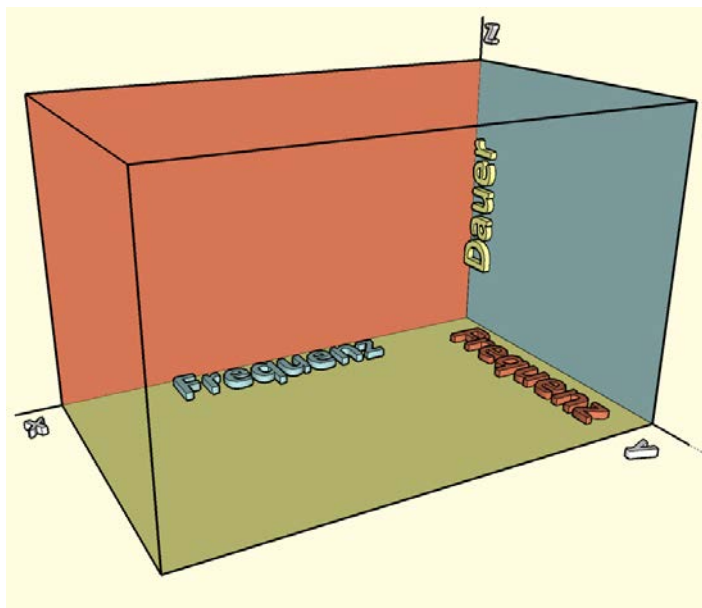


Abbildung 39: Dimensionen der Sonifikationsmethode A; Konzept a) folgend.

Das zweite Konzept sah vor, einen Raumeindruck durch Navigation im Raum zu verleihen. Deshalb wurde sowohl in x- als auch in y-Richtung ein Spannungsfeld zwischen zwei polarisierenden

KONZEPT B) =  
METHODE B

<sup>11</sup> Anmerkung: Diese Unterscheidung erlaubte es auch, die Methode so abzuändern, dass in einer Mono-Version beide Kanäle auf einen Ausgang ausgegeben wurden. Die Methode bedurfte daher eines abgeänderten Codes, wurde aber nicht in der Studie berücksichtigt. Sie ist als *Methode A<sub>2</sub>* im Anhang zu finden.

den Variablen erzeugt. Durch den Einbezug der Lautstärke zwischen dem linken und dem rechten Ohr in Abhängigkeit des jeweiligen horizontalen Abstands zum Zentrum konnte ein intuitiv wahrnehmbarer Raumbezug geschaffen werden, welcher die Vorteile des binauralen Hörens (siehe Kapitel 3.3.2.2 «Das binaurale Hören») nutzte.

Zweitens wurde ein Spannungsfeld zwischen zwei deutlich voneinander unterscheidbaren Wellenformen erzeugt, welche in Processing auf einfache Weise angepasst werden konnten. Wie im Kapitel 4.4.2 «Pilottest» beschrieben, entschied sich der Autor für die Verwendung von Sinus- und Eckwellen. Ebenso wurden beim Pilottest die Lautstärkewerte beider Wellen festgelegt, um damit in der vertikalen Mitte ein empfundenes Lautstärkegleichgewicht zu erzeugen.

Mit dieser Parametrisierung konnte die *Dauer* umgangen und stattdessen die *Frequenz* als eine intuitiv wahrnehmbare Klangvariable für die Repräsentation der Höhe eingesetzt werden (siehe Study Design S.56). Je höher dabei der Höhenwert an einer exakten Cursorposition war, desto höher erschien auch die berechnete Frequenz des Auditory Displays. Die Abbildung 40 gibt Aufschluss über den Sachverhalt zwischen den eingesetzten Klangvariablen:

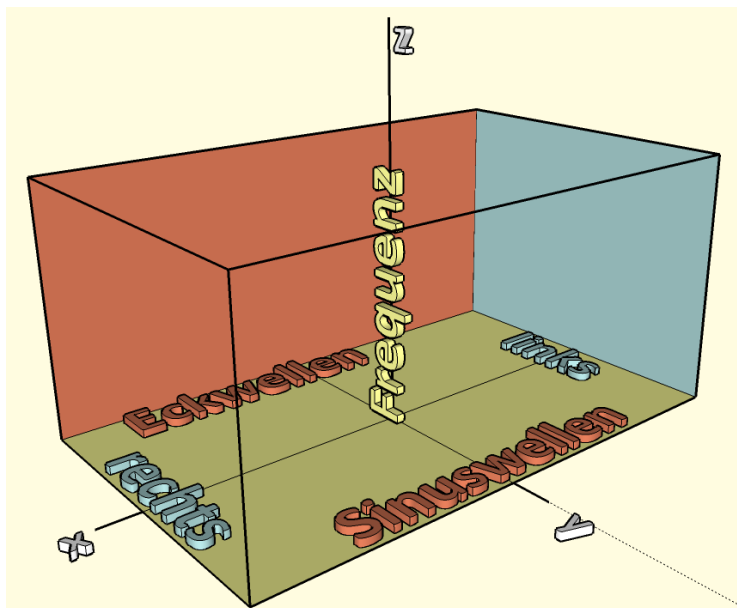


Abbildung 40: Dimensionen der Sonifikationsmethoden B und C; Konzept b) folgend.

KONZEPT B) =  
METHODE C

Um die Forschungsleitfrage c) («Ist die Perzeption der interaktiven Höherermittlung einzelner Punkte genauer als das Abspielen eines Höhenprofils zwischen zwei Punkten?») zu beantworten, konnte eine bestehende Methode mit einem Profilzeichner erweitert werden, der ein Profil über zwei gegebene Punkte als Abfolge von Tönen darstellt. Es wurde angenommen, dass gleiche Zeitintervalle besser miteinander verglichen werden konnten als solche mit unter-

schiedlicher Dauer. Aus diesem Grund wurde die Methode B durch einen Profilzeichner ergänzt, woraus die Methode C entstand.

Auf Knopfdruck konnte die aktuelle Cursorposition als Ausgangspunkt definiert werden. Das Drücken einer zweiten Taste berechnete die Koordinaten der Linie gemäss dem *Digital Differential Analyzer-Algorithmus* (siehe S.65), welche die Profilzeichnungsfunktion zu durchlaufen hatte. Die abgerufenen Höhendaten wurden anschliessend in einen Array gespeichert, welcher der Reihe nach durchlaufen wurde und in regelmässigen Zeitabständen einen Ton mit der berechneten Frequenz wiedergab.

#### LEGENDE

Um die sonifizierten Werte einordnen zu können, wurde analog zu Zhaos *iSonic* (Zhao 2006, S.56) eine akustische Legende eingebaut, welche auf Knopfdruck Referenzwerte ertönen liess. Diese beinhaltete die Einblendung maximaler und minimaler Höhenwerte sowie bei der Methode A den Tonumfang der Lagekoordinaten. Die Methoden B und C mussten eine Möglichkeit bieten, durch die Ein- und Ausblendung einzelner Kanäle die Lage auf den einzelnen Achsen durch Quervergleiche festzustellen. Die festgelegten Tasten wurden in den Kommentaren der jeweiligen Sonifikationsapplikation definiert und den Probanden vorgängig erklärt.

#### PIXEL OHNE DATEN

Traf der Cursor auf Pixel ohne Daten, ertönte in allen drei Methoden ein Ton, welcher eine Oktave tiefer als der tiefste Ton lag, was durch den Vergleich mit der Legende ermittelt werden konnte. Durch den markanten Bruch und den sprunghaften Abfall sollten Pixel ohne Daten klar erkennbar sein. Bei der Methode A wurde zusätzlich dazu die Dauer des Tones auf *unendlich* festgelegt.

#### REGISTRIERUNG VON CURSORKOORDINATEN

Nach dem Start des Programms wurden im Hintergrund alle Bildkoordinaten des Cursors in einem Textdokument nach Tabulatoren getrennt der Reihe nach gespeichert. Die automatische Übernahme der aktuellen Uhrzeit in den Dateinamen diente der Übersichtlichkeit. Der Zweck der Registrierung lag in einer allfälligen späteren Untersuchung der Bewegungsmuster.

#### REGISTRIERUNG VON PUNKTEN AUF WUNSCH DES NUTZERS

Um die Antworten der Probanden auf verlässliche Weise zu registrieren, wurde analog zur Registrierung der Cursorkoordinaten ein automatisch generiertes Textdokument erstellt. Durch das Drücken bestimmter Tasten schrieb das Programm die aktuelle Cursorposition, den abgeru-

fenen Höhenwert dieses Pixels und der Art des Ziels (Berg, Tal, See, Hügel) in das genannte Dokument. Ausserdem wurden auf dem Bildschirm anhand der registrierten Positionen Markierungen in Form eines Kreises eingezeichnet, welche sich durch ihre kategoriale Farbgebung voneinander unterscheiden liessen.

#### 4.3.4.7 Parameter Mapping Sonification: Grundstruktur

Die Grundstruktur aller drei (bzw. vier; siehe Fussnote 11, S.111) entwickelten Sonifikationsmethoden basierte auf dem gleichen, folgenden Muster:

Funktion	Beschreibung und Zweck
{globale Variablen}	Initialisierung globaler Variablen, welche in verschiedenen Funktionen verwendet werden.
setup() <i>Processing-intern</i>	Stetig ausgeführt; Definition <i>Processing</i> -interner Variablen, Starten von Funktionen.
draw() <i>Processing-intern</i>	Stetig ausgeführt; Nur Aufruf zur Ausführung der Funktion <i>sonify()</i> , da stetige Ausführung.
dataImport()	Einmalig ausgeführt; Importieren und Umwandeln des DHM in ein internes Koordinatennarray. Maschenweite und Maximal- / Minimalwerte des DHM eruieren.
startEss()	Einmalig ausgeführt; Initialisierung <i>Ess</i> -interner Variablen.
drawDEM()	Einmalig ausgeführt; Visualisierung des DHM.
mousePressed() <i>Processing-intern</i>	Auf Aktion ausgeführt; Handlung beim Drücken einer Maustaste.
keyPressed() <i>Processing-intern</i>	Auf Aktion ausgeführt; Handlung beim Drücken einer Keyboardtaste.
mouseMoved() <i>Processing-intern</i>	Auf Aktion ausgeführt; Handlung beim Bewegen der Maus.
mouseDragged() <i>Processing-intern</i>	Auf Aktion ausgeführt; Handlung beim Draggen (gleichzeitiges Klicken und Bewegen) der Maus.
sonify()	Stetig ausgeführt; Berechnung der zu übergebenden Sonifikationsparameter an <i>audioStreamWrite()</i> . Beim Festlegen einer Punktemarkierung grafische Visualisierung und Eintrag in Textdokument. Legt fest, was geschieht, wenn Cursor auf Pixel ohne Daten trifft.
audioStreamWrite()	Stetig ausgeführt; Tonausgabe aufgrund der durch <i>sonify()</i> übermittelten Parameter. Einblenden der Sound-Legende auf Wunsch. Bei Methode A: Senden der Dauer an die Return-Funktion <i>sampleRateShiftCheck()</i> und Empfangen des Resultats. Daraus Umsetzung des Entscheids, ob Ton oder Stille herrscht.
sampleRateShiftCheck()	Stetig ausgeführt; Nur Methode A (und A <sub>2</sub> ); Erhält die Dauer des zu sonifizierenden Tons, vergleicht sie mit der verstrichenen Zeit und legt fest, ob Ton oder Stille stattfinden muss. Rückgabe an <i>audioStreamWrite()</i> .
stop()	Einmalig am Ende ausgeführt.; Stop-Funktion beim Beenden der Applikation.

Tabelle 16: Grundstruktur und Beschreibung der Funktionen der Sonifikationsapplikationen A, A<sub>2</sub>, B und C.



Die Sonifikationsprogramme und das Programm `preliminary_readFile` (siehe Kapitel 4.3.4.5 «Programm zum Croppen eines DHMs» bzw. S.218–221) teilten sich die Grundstruktur der Funktionen `dataImport()` und `drawDEM()`.

## 4.4 Durchführung

### 4.4.1 Durchführungskonzept

Folgender Prozessablauf wurde – analog zum Aufbau des Fragebogens – mit allen Probanden durchgeführt:

ABLAUF

Reihenfolge	Teilschritt	Dauer
1	Vorbereitung und Aufbau Testapparat	3'
2	Erklärung der Studie, Losentscheid Gruppe	2'
3	Informationen zum Probanden	5'
4	Pre-Test 1: Technik	5'
5	Pre-Test 2: Musik	5'
6	Pre-Test 3: Geographie	20'
7	Test 1: diskretes Modell	15'
8	Test 2: stetiges Modell (einfach)	15'
9	Test 3: stetiges Modell (komplex)	5'
10	Auswertung, Abschluss	5'

Tabelle 17: Schematischer Ablauf eines Tests (eigene Darstellung).

Die notierten Zeitangaben gingen von einem Idealfall mit wenigen Erklärungen und einer hohen Auffassungsgabe des Probanden aus. Der gesamte Testablauf konnte jedoch bis 105 Minuten dauern – ein oberes Zeitlimit wurde nicht gesetzt. Rückblickend zeigte sich eine durchschnittliche Dauer von 90 Minuten.

TESTDAUER

Beginnend sollten drei voneinander unabhängige Pre-Tests den technischen, musikalischen und geographischen Hintergrund der Probanden quantitativ ermitteln (siehe blaugraue Dimension der Abbildung 17). Anschliessend folgten drei Main Tests, welche einen quantitativen Wert über die *Genauigkeit der sonifizierten Informationsinterpretation* (siehe Kapitel 4.3.3 «Fragebogen und spezifische Operationalisierung») der drei Komplexitätsstufen ergaben (siehe hellbraune Dimension der Abbildung 17).

ÜBERBLICK

### DIDAKTISCHER HINTERGRUND

#### DIDAKTISCHER AUFBAU

Der Verlauf des Tests sollte didaktisch sinnvoll aufgebaut sein und eine mögliche Überforderung der Probanden bei der Interpretation des Auditory Displays verhindern. Dazu wurden erstens der Umgang mit dem Tablet im Pre-Test 1 und zweitens das musikalische Eingliederungsverfahren eines beliebigen Tons in eine Oktave im Pre-Test 2 trainiert. Zudem baute der Verlauf des Haupttests auf *Lerneffekten* auf, wobei ein Rückgang der Abstraktion mit einer Zunahme der Komplexität der Aufgaben einherging.

Auf das semantische Modell bezogen (siehe Abbildung 2) sollte der Verlauf der Haupttests vom symbolischen (Symbol) zum analogen Ende (Index) verlaufen. Während der Haupttest 1 mit einem diskreten, abstrakten Modell am symbolischen Ende eröffnet, wird versucht, den Haupttest 3 mit einem analogen, stetigen und realitätsbezogenen Modell am analogen Ende zu schliessen. Eine Zwischenstufe bildet der Haupttest 2, der mit seinem steigen Charakter einen Ausschnitt der Realität darstellen könnte, aber dennoch durch seine Abstraktion symbolischen Charakter aufweist.

#### LERNEFFEKTE

Durch den genannten Verlauf ein bestmögliches Resultat bei der Interpretation eines realen Modells zu erzielen, sollte durch den Einsatz von Lerneffekten vereinfacht werden. Dazu wurden die Resultate einer abgeschlossenen Testeinheit unmittelbar nach Beendigung des Tests besprochen. Damit wurde den Probanden die Möglichkeit gegeben, ihr intrinsisches Modell mit realen Zielwerten zu kalibrieren.

### ERKLÄREN, MESSEN, BEOBACHTEN, EINTRAGEN UND FEEDBACK GEBEN

#### ERKLÄREN

Die Experimente wurden zu Beginn einer Testeinheit erklärt, wobei den Probanden die entsprechenden Seiten der Fragebogen nicht vorgelegt wurden. Sie hatten daher keine Möglichkeit, sich auf bestimmte Fragen vorzubereiten. Im Main Test wurden die eingesetzten Masstäbe, die Handhabung des Programms und die Benutzung der Legende ausführlich erklärt. Alle präzisen Erklärungen und Fragen, die abgegeben oder gestellt wurden, sind im Fragebogen im Anhang (siehe S. 181–192) ersichtlich.

#### MESSEN

Soweit als möglich sollten die Probanden selbstständig vorgehen und die Sonifikationsapplikation bedienen. Um Fehler bei der Klassierung der gefundenen Punkte und um eine Unterbrechung der Konzentration zu vermeiden, wurden diese durch den Versuchsleiter per Knopfdruck in einer Datei registriert, welche in einen persönlichen Ordner abgelegt wurde. Gleichzeitig wurden sie auf dem Display visualisiert, was dem Versuchsleiter bei der Zuordnung und bei der Interpretation half. Wo möglich, wurden parametrische Messungen durch Programme vorgenommen und deren Resultate als Datensätze abgespeichert.

Der Versuchsleiter versuchte, bei subjektiven Messungen (v.a. im musikalischen Bereich) die Werte konzentriert wahrzunehmen und sie so genau als möglich eingliedern zu können. Aus diesem Grund wurden stets gleiche Bewertungsroutinen angewandt. Strenge Eingliederungen, wie sie auf dem Fragebogen vorgegeben wurden, sollten den Messungen zumindest ein Minimum an Objektivität verleihen.

SUBJEKTIVE  
MESSUNGEN

Während des Tests wurde das Verhalten der Probanden hinsichtlich angewandter Strategien und genereller Suchmuster beobachtet. Auffälligkeiten sowie die direkten Messresultate wurden unmittelbar und verdeckt in den Fragebogen notiert.

BEOBACHTEN,  
NOTIEREN UND  
BESPRECHEN

#### 4.4.2 *Pilottest*

##### EINSCHRÄNKUNG DER ZIELGRUPPE

Bei der Durchführung des Pilottests mit einer minderjährigen Person stellte sich heraus, dass das Aufbringen von Geduld für das Erlernen der Sonifikationsdecodierung tendenziell niedriger als bei einer volljährigen Person war. Aus diesem Grund entschied sich der Autor für eine minimale Altersgrenze von 18 Jahren.

##### MARKIERUNG VON ZIELPUNKTEN

Zum Zeitpunkt der Durchführung der Pilottests wurde ein vom Probanden definierter Zielpunkt zwar registriert, jedoch nicht dargestellt. Für den Versuchsleiter stellte es sich als Vereinfachung heraus, sich den Markierungsprozess nicht nur über Processings Shell, sondern auch auf dem Display in Farben abhängig der gewählten Keyboardtaste darstellen zu lassen.

##### FRAGESTELLUNGEN DES GEOGRAPHISCHEN PRE-TESTS

Da im geographischen Pre-Test die Qualität der Antworten unabhängig vom Hintergrund der Probanden vergleichsweise hoch lag, musste darauf geschlossen werden, dass die Fragen tendenziell zu einfach beantwortet werden konnten. Die ursprünglich drei Fragen pro Bild wurden in ihrer Komplexität angepasst und durch jeweils zwei Fragen ergänzt. Zusätzlich dazu wurde eine Gewichtung nach der Komplexität der Frage eingeführt, was schliesslich zu einer grösseren Streuung geführt hat.

##### ZEIGEN EINES EXEMPLARISCHEN BEISPIELS BEIM MAIN TEST 1

Es zeigte sich, dass der Main Test 1 ohne das Zeigen eines exemplarischen Bildes hinsichtlich des Interpretationsverständnisses des Auditory Displays grosse Mühe bereitet hatte. Da alle Probanden eine Erklärung der Methode durch das Zeigen eines solchen Bildes befürworteten,

wurde die Abbildung 41 in den Test eingebaut, wobei in der Studie darauf hingewiesen wurde, dass alle dargestellten Werte vom exemplarischen Beispiel abweichen können.

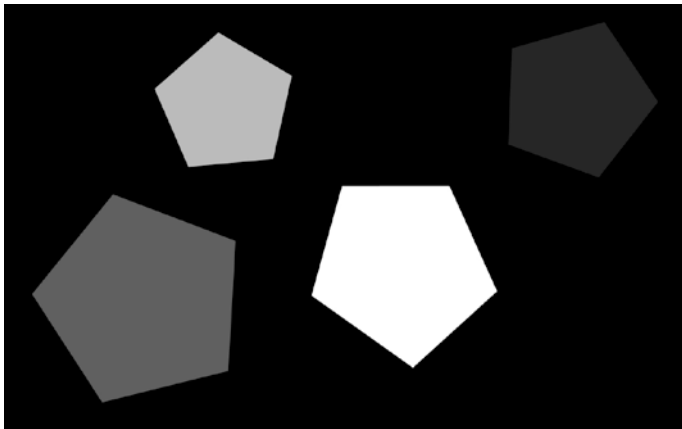


Abbildung 41: Exemplarisches Erklärungsbeispiel für den Main Test 1.

#### SEITLICHE BEGRENZUNG DES TABLETS MIT KLEBEBAND

Obwohl beim Tablet der Eingabebereich durch Ränder abgetrennt war, fühlten die Probanden während des Pilottests de facto keine seitliche Begrenzungen. Dies führte zu unwillentlichen Verschiebungen des gesamten Fensters oder zum Anklicken des Hintergrunds und hatte somit einen Unterbruch des Testverlaufs und folglich die Zerstörung des intrinsischen Modells zur Folge. Eine solide Lösung erbrachte das Abkleben der Ränder des Tablet-Eingabebereichs durch dickes Klebeband, wonach eine fühlbare Kerbe entstand und die Probanden auf eine seitliche Begrenzung hinwies, wodurch deutlich seltener der Test unterbrochen werden musste.

#### WAHL DER WELLENFORMEN

Es wurde angenommen, dass Wellenformen bei der Unterscheidung von Kanälen unterstützend wirkten. Im Pilottest wurde empirisch ermittelt, dass *Sinus-* und *Sägezahnwellen* (siehe Abbildung 6) am zuverlässigsten voneinander unterschieden werden konnten. Da Sägezahnwellen jedoch als zu dominant empfunden wurden, entschied sich der Autor stattdessen für die Verwendung von *Eckwellen* (engl.: *square waves*). Die Dreiecksform als Zwischenform zwischen Eck- und Sinuswelle konnte am wenigsten deutlich von allen anderen unterschieden werden.

#### FESTLEGUNG DER AUSGEWÄHLTEN LAUTSTÄRKEN ZWISCHEN ECK- UND SINUSWELLEN

Für die Experimente der Methoden B und C wurden unterschiedliche Wellenkurven herbeigezogen. Da Eckwellen bei gleich gewählter Amplitude eine grössere Integralfäche als Sinuswellen aufwiesen, musste die Lautstärke der Eckwellen reduziert oder die Lautstärke der Sinuswellen

len erhöht werden. Gemäss Campenhausen (Campenhausen 1993, S.76) betrug der Korrekturfaktor für die Amplitude der Sinuswelle gegenüber der Eckwelle:

$$a_{sineWave} = \frac{volume_{sineWave}}{volume_{squareWave}} = \frac{\pi}{4} \approx 1.273 \dots \quad \text{Formel 33}$$

Der vorgeschlagene Wert ergab im Pilottest jedoch, dass Eckwellen gegenüber Sinuswellen viel zu laut wahrgenommen wurde. Dies äusserte sich darin, dass die Probanden mit abgedeckten Augen nach der Aufforderung des Leiters, die Stelle anzuzeigen, wo die Lautstärken zweier gleichfrequenten Töne gleich laut waren, einen Bereich deutlich abseits der Mitte angezeigt hatten (ca. Verhältnis 3:1 zugunsten des Bereiches, in welchem Eckwellen dominierten). Aus diesem Grund wurde der Korrekturfaktor wie folgt empirisch an die Programme angepasst:

$$a_{sineWave} = \frac{volume_{sineWave}}{volume_{squareWave}} = \frac{0.33}{0.05} = 6.6 \quad \text{Formel 34}$$

## 5 Resultate

### 5.1 Auflistung der in der Analyse verwendeten Variablen

Im diesem Unterkapitel werden alle für das Verständnis wichtigen Variablen aufgelistet. Die zur Analyse beigezogenen Variablen der Tabelle 18 wurden auf Normalverteilung überprüft (siehe Tabelle 19 samt Nullhypothese und Resultat). Die angegebenen und zur Analyse verwendeten, unabhängigen Variablen wurden auf einen Wert zwischen null und eins normiert.

ANALYSIERTE  
VARIABLEN

Test	Name	Kürzel	Bedeutung der Mittelwerte (MW)
Pre-Test	technicalSkill_overall_result	tech_ovR	Resultat des technischen Pre-Tests
	music_overall_result	music_ovR	Resultat des musikalischen Pre-Tests
	geo_overall_result	geo_ovR	Resultat des geographischen Pre-Tests
	preTest_overall_result	preTest_ovR	MW der drei Pre-Test-Resultate
Main Test	t1_distance_relative	t1_dist	Relative Distanzen zum Schwerpunkt
	t1_shapeRecognition	t1_shape	Erfolg beim Erkennen der Formen
	t1_orientationEstimation	t1_orient	Schätzungsgenauigkeit der Orientierung
	t1_sizeEstimation	t1_size	Schätzung der Grösse
	t1_heightEstimation	t1_height	Schätzung der Höhe
	t1_overall_result	t1_ovR	Resultat des Main Test 1
	t2_distToGiven	t2_distToGiven	MW Cursorposition zu Zielwert (Relation a)
	t2_mindToGiven	t2_mindToGiven	MW Schätzung zu Zielwert (Relation b)
	t2_mindToTarget	t2_distToTarget	MW Schätzung zu Cursorposition (Relation c)
	t2_trueOrFalse	t2_trueOrFalse	MW der richtig geschätzten Steigungen
	t2_overall_result	t2_ovR	Resultat des Main Test 2
	t3_pOther_zAbs	t3_pOther_zAbs	Absolute Höhendifferenz zwischen geschätzter Höhe und sonifizierter Zielhöhe
	t3_distToTarget	t3_distToTarget	MW Schätzung zu Cursorposition (Relation c)
	t3_heightToTarget	t3_heightToTarget	MW Höhenschätzung zu Cursorpos. (Relation C)
	t3_hitTargetTrueOrFalse	t3_trueOrFalse	MW der richtig geschätzten Zielkategorien
	t3_mountainOrientation	t3_mountain	Schätzungsgenauigkeit der Orientierung
	t3_overall_result	t3_ovR	Resultat des Main Test 3
	t23_mindToTarget_mean	t23_mindToTarget	Mittelwert der Werteschätzungen zur Cursorposition bzw. dem sonifizierten Wert
	tAll_overall_result	tAll_ovR	MW der drei Main Tests

Tabelle 18: Beschreibung aller genannten Variablen in der Analyse.

Hypothesis Test Summary				
	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The distribution of technicalSkill_overall_result is normal with mean 0.45 and standard deviation 0.15.	1-Sample KS Test	.804	Retain the null hypothesis.
2	The distribution of music_overall_result is normal with mean 0.51 and standard deviation 0.17.	1-Sample KS Test	.573	Retain the null hypothesis.
3	The distribution of geo_overall_result is normal with mean 0.81 and standard deviation 0.12.	1-Sample KS Test	.503	Retain the null hypothesis.
4	The distribution of preTest_overall_result is normal with mean 0.59 and standard deviation 0.10.	1-Sample KS Test	.999	Retain the null hypothesis.
5	The distribution of t1_distance_reative is normal with mean 0.69 and standard deviation 0.11.	1-Sample KS Test	.827	Retain the null hypothesis.
6	The distribution of t1_shapeRecognition is normal with mean 0.56 and standard deviation 0.33.	1-Sample KS Test	.008	Reject the null hypothesis.
7	The distribution of t1_orientationEstimation is normal with mean 0.58 and standard deviation 0.28.	1-Sample KS Test	.020	Reject the null hypothesis.
8	The distribution of t1_sizeEstimation is normal with mean 0.77 and standard deviation 0.15.	1-Sample KS Test	.063	Retain the null hypothesis.
9	The distribution of t1_heightEstimation is normal with mean 0.89 and standard deviation 0.05.	1-Sample KS Test	.099	Retain the null hypothesis.
10	The distribution of t1_overall_result is normal with mean 0.71 and standard deviation 0.13.	1-Sample KS Test	.513	Retain the null hypothesis.
11	The distribution of t2_distToGiven is normal with mean 0.74 and standard deviation 0.18.	1-Sample KS Test	.045	Reject the null hypothesis.
12	The distribution of t2_mindToGiven is normal with mean 0.83 and standard deviation 0.06.	1-Sample KS Test	.095	Retain the null hypothesis.
13	The distribution of t2_mindToTarget is normal with mean 0.86 and standard deviation 0.05.	1-Sample KS Test	.254	Retain the null hypothesis.
14	The distribution of t2_TrueOrFalse is normal with mean 0.76 and standard deviation 0.39.	1-Sample KS Test	.000	Reject the null hypothesis.
15	The distribution of t2_overall_result is normal with mean 0.81 and standard deviation 0.08.	1-Sample KS Test	.177	Retain the null hypothesis.
16	The distribution of t3_pOther_zAbs is normal with mean 417.06 and standard deviation 952.03.	1-Sample KS Test	.440	Retain the null hypothesis.
17	The distribution of t3_distToTarget is normal with mean 0.87 and standard deviation 0.08.	1-Sample KS Test	.312	Retain the null hypothesis.
18	The distribution of t3_heightToTarget is normal with mean 0.84 and standard deviation 0.09.	1-Sample KS Test	.245	Retain the null hypothesis.
19	The distribution of t3_hitTargetTrueOrFalse is normal with mean 0.74 and standard deviation 0.25.	1-Sample KS Test	.000	Reject the null hypothesis.
20	The distribution of t3_mountainOrientation is normal with mean 0.56 and standard deviation 0.32.	1-Sample KS Test	.016	Reject the null hypothesis.
21	The distribution of t3_overall_result is normal with mean 0.81 and standard deviation 0.11.	1-Sample KS Test	.175	Retain the null hypothesis.
22	The distribution of t23_mindToTarget_mean is normal with mean 0.87 and standard deviation 0.06.	1-Sample KS Test	.383	Retain the null hypothesis.
23	The distribution of tAll_overall_result is normal with mean 0.78 and standard deviation 0.07.	1-Sample KS Test	.649	Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

Tabelle 19: Liste der in der Analyse verwendeten Variablen samt Test auf Normalverteilung.

## 5.2 Resultate zur Forschungsleitfrage a)

a) Wie genau können die eingesetzten Methoden interpretiert werden?

### 5.2.1 Deskriptive Statistik der einzelnen Tests

Die Forschungsleitfrage a) wurde versucht, durch deskriptive Statistik zu beantworten.

#### PRE-TEST

Die Resultate der Pre-Tests zeigen die grösste Streuung beim musikalischen Test. Der geographische Test wurde im Gegensatz zu den anderen beiden überdurchschnittlich hoch bewertet und weist die geringste Streuung auf. Der Mittelwert gibt an, wie genau die Resultate über alle Gruppen durchschnittlich waren. Tabelle 20 und Abbildung 42 zeigen den Sachverhalt.

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
technicalSkill_overall_unweighted_result	61	.703	.117	.820	.454	.147
music_overall_result	61	.754	.246	1.000	.509	.171
geo_overall_result	61	.624	.376	1.000	.810	.122

Tabelle 20: Deskriptive Statistik der Pre-Tests.

### Resultate der Pre-Tests im Vergleich

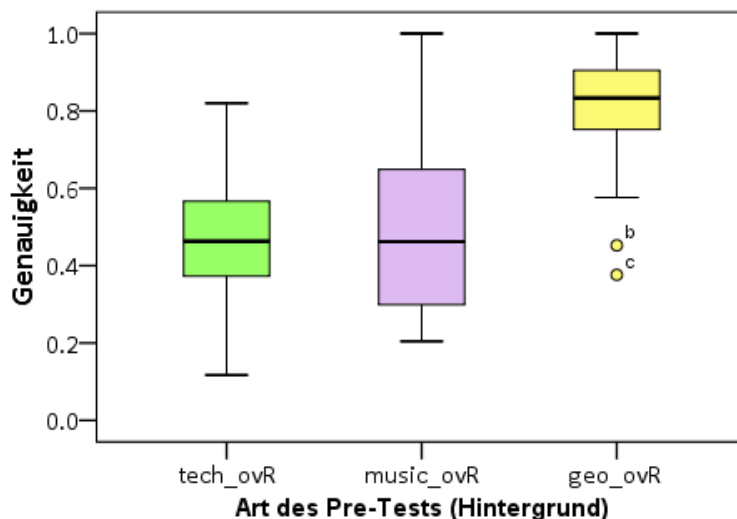


Abbildung 42: Boxplot der Resultate der Pre-Tests.



MAIN TESTS ALLGEMEIN

Wie in Tabelle 21 und Abbildung 43 ersichtlich ist, nahm im Verlauf der drei Haupttests die durchschnittliche Genauigkeit vom Main Test 1 zum Main Test 2 sprunghaft zu und die Varianz ab. Während die Genauigkeit zum letzten Main Test ungefähr gleich blieb, stieg dessen Streuung in etwa auf das Niveau des ersten Main Tests an. Dabei sind drei Ausreisser unterhalb des unteren Whiskers ersichtlich. Abbildung 44 zeigt die Resultate der einzelnen Main Tests nach Methoden aufgeteilt als Boxplots.

ALLGEMEINER  
DURCH-  
SCHNITTSWERT

Descriptive Statistics									
	N	Minimum	Maximum	Mean	SD	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
t1_overall_result	61	.454	.968	.70755	.129541	.010	.306	-1.006	.604
t2_overall_result	61	.623	.929	.81438	.079516	-.488	.306	-.631	.604
t3_overall_result	61	.487	.955	.80615	.108855	-1.142	.306	1.268	.604

Tabelle 21: Deskriptive Statistik der Main Tests.

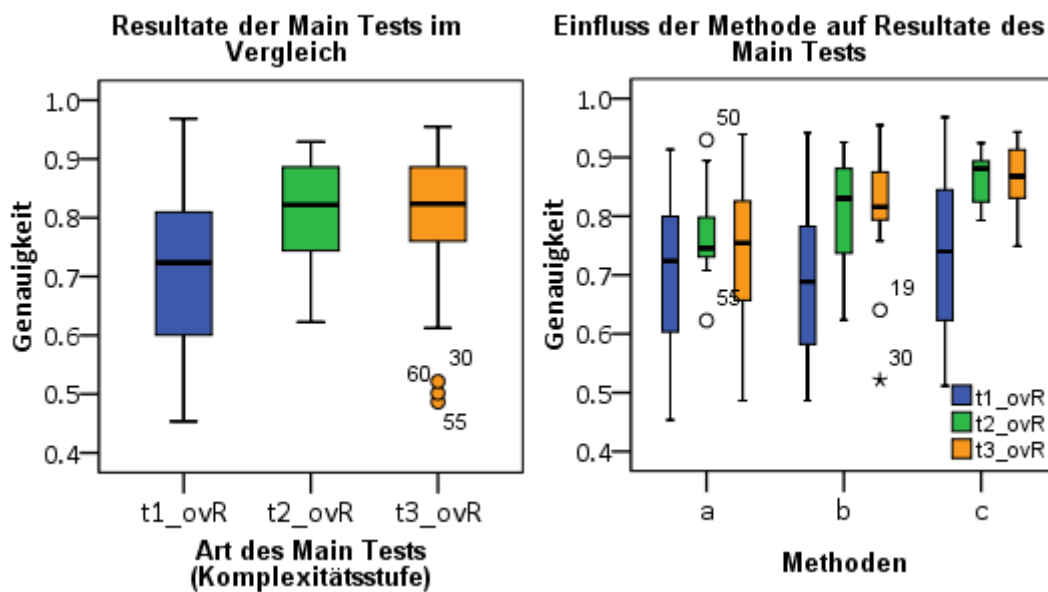


Abbildung 43: Boxplot der Resultate der Main Tests (links).

Abbildung 44: Boxplot der Resultate der Main Tests nach Methoden aufgeteilt (rechts).

Aufgrund der Analyse der in der Tabelle 22 nach Methoden aufgeteilten und in der Abbildung 45 dargestellten Werte ist ersichtlich, dass die Mittelwerte mit steigender Alphabetisierung der Methode zunahmten. Die über alle Main Tests gemittelte Genauigkeit betrug bei der Methode C ca. 82%, während die Mittelwerte der Methoden B bei ca. 77% und deren der Methode A bei ca. 74% lagen. Mit Abnahme der Mittelwerte nahm die Varianz zu. Während im ersten Test die Mittelwerte der unterschiedlichen Methoden noch näher beieinander lagen, nahm deren Unterschied im Verlauf des Tests zu.

Descriptives									
Komplexitätsstufe	Methode	Mean	5% Tr.Mean	Median	SD	Min	Max	Skewness	Kurtosis
t1_ovR	a	.705	.707	.724	.128	.454	.913	-.047	-.833
	b	.691	.689	.689	.131	.486	.942	.201	-.869
	c	.727	.725	.740	.134	.511	.968	-.136	-1.052
t2_ovR	a	.767	.766	.746	.069	.623	.929	.638	1.244
	b	.807	.811	.830	.089	.624	.926	-.559	-.766
	c	.867	.868	.881	.041	.793	.924	-.679	-.899
t3_ovR	a	.737	.740	.754	.123	.487	.939	-.475	-.211
	b	.816	.825	.816	.010	.521	.955	-1.414	3.383
	c	.863	.864	.868	.059	.749	.943	-.399	-.907
tAll_ovR (Total)	a	.736	.740	.743	.069	.573	.831	-.464	-.012
	b	.771	.771	.771	.064	.655	.897	-.066	-.586
	c	.819	.818	.821	.054	.726	.919	-.108	-.512

Tabelle 22: Deskriptive Statistik der Main Tests nach Methoden aufgeteilt.

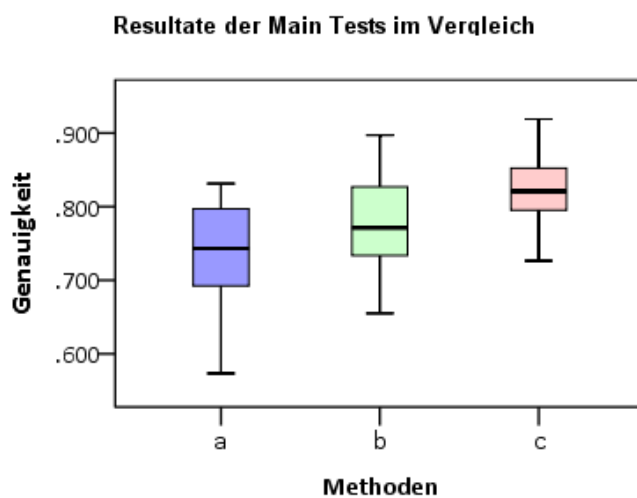


Abbildung 45: Boxplot der gemittelten Resultate des Main Tests nach Methoden.

Mit Zunahme der Komplexität nahmen die Mittelwerte der Methoden B und C vor allem vom ersten zum zweiten Main Test sprunghaft zu und blieben danach auf etwa demselben Niveau. Die Mittelwerte der Methode A hingegen verzeichneten einen ähnlichen, jedoch nicht dermaßen markanten Aufstieg vom ersten zum zweiten Main Test und sanken anschliessend auf ein Niveau von ca. 74%. Während die Maximalwerte zwischen den Gruppen einigermaßen konstant blieben und kleine Differenzen aufwiesen, stiegen die Schwankungen der Minimalwerte mit steigender Komplexität an.

**Fazit:** Die gemittelten Genauigkeiten der Main Tests 1–3 lagen bei der Methode C mit 82% am höchsten, wohingegen durch die Methoden B und C Werte von 77% bzw. 74% verzeichnet waren.

**Fazit:** Während alle Methoden vom ersten zum zweiten Main Test einen Aufwärtstrend verzeichneten, lagen diese bei den Methoden B und C bei über 10% und blieben ungefähr auf demselben Niveau, wohingegen der Mittelwert der Methode A weniger stark anstieg und auf sein mittleres Niveau sank.

MAIN TEST 1

Die Resultate der einzelnen Messparameter des Main Tests 1 liegen in der Tabelle 23 vor und wurden in der Abbildung 46 als Boxplots visualisiert. Auffallend ist die Linksschiefe und die grosse Streuung zwischen 0% und 100% bei der Schätzung der Orientierung und der Form. Der Mittelwert lag bei den besagten Messparametern tiefer als bei den übrigen. Der höchste Genauigkeitsmittelwert und die geringste Streuung wies der Messparameter der Höhenschätzung auf. Die Schätzung der Distanz wies zudem eine vergleichsweise niedrige Varianz bei einem Genauigkeitsmittelwert von ca. 69% auf.

Descriptive Statistics									
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
t1_dist	61	.426	.962	.692	.106	-.269	.306	.335	.604
t1_shape	61	.000	1.000	.557	.326	-.062	.306	-1.029	.604
t1_orient	61	.000	1.000	.579	.276	-.295	.306	-.983	.604
t1_size	61	.417	.980	.773	.146	-.602	.306	-.747	.604
t1_height	61	.755	.975	.893	.050	-.691	.306	.239	.604

Tabelle 23: Deskriptive Statistik der einzelnen Messparameter des Main Tests 1.

### Resultate der einzelnen Parameter des MainTests 1 im Vergleich

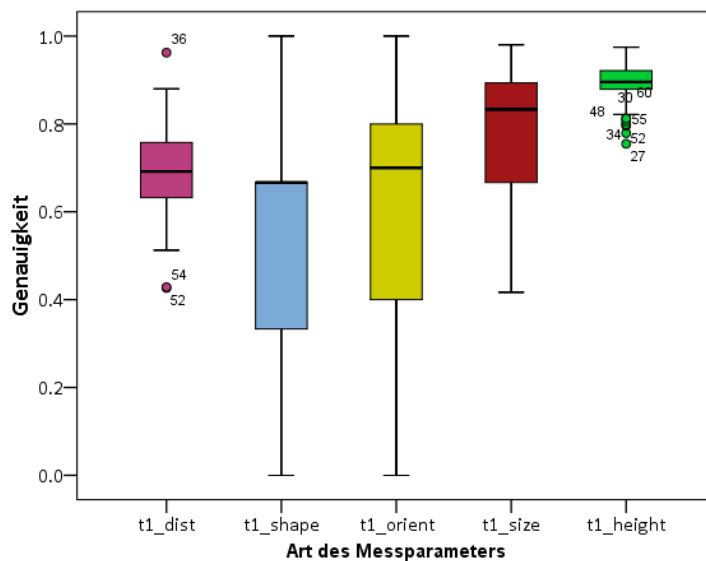
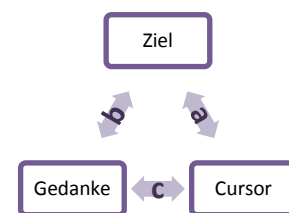


Abbildung 46: Boxplots der einzelnen Messparameter des Main Tests 1.

### MAIN TEST 2

Die Teilresultate der einzelnen Messparameter des Main Tests 2 zeigten, dass die mittlere Schätzgenauigkeit der Relation c (siehe Tabelle 18 und Abbildung rechts) mit 86.4% am höchsten, jene der Relation b mit 82.7% am zweithöchsten und die der Relation a mit 73.6% am niedrigsten und zudem mit einer höheren Varianz ausfiel. Die geschätzten Parameter fielen somit höher aus als die gemessene Distanz zum Zielpunkt, wobei jedoch zu erwähnen ist, dass letztere (**t2\_distToGiven**) im Gegensatz zu den geschätzten Parametern (**t2\_mindToGiven** und **t2\_mindToTarget**) bloss die x- und y-Distanz zum Zielpunkt berücksichtigte und den z-Unterschied ignorierte. Zudem fielen alle ermittelten Messparameter linksschief aus. Der Entscheid, die Steigungen qualitativ zu eruieren, wies aufgrund von drei Möglichkeiten (beide richtig / eine richtig / beide falsch) eine hohe Varianz mit einem Range von 0% bis 100% auf. Die Einzelwerte der Variablen, welche in der Tabelle 24 ersichtlich sind und in der Abbildung 47 dargestellt wurden, beziehen sich auf die in der Tabelle 18 verwendeten Messparameter.



Descriptive Statistics									
	N	Minimum	Maximum	Mean	SD	Skewness		Kurtosis	
						Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error
t2_distToGiven	61	.251	.963	.736	.182	-.665	.306	-.641	.604
t2_mindToGiven	61	.672	.925	.828	.057	-.679	.306	-.160	.604
t2_mindToTarget	61	.714	.941	.86453	.051722	-1.050	.306	.988	.604
t2_trueOrFalse	61	.000	1.000	.76230	.393770	-1.248	.306	-.180	.604

Tabelle 24: Deskriptive Statistik der einzelnen Messparameter des Main Tests 2.

Resultate der einzelnen Parameter des Main Tests 2 im Vergleich

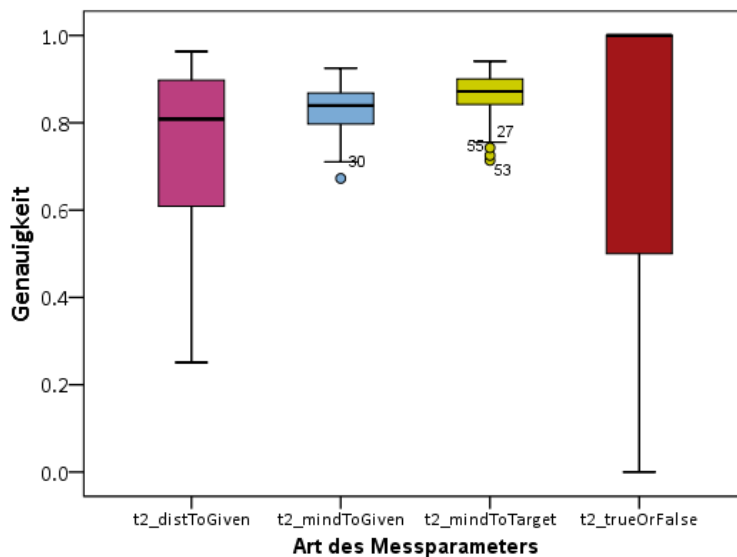
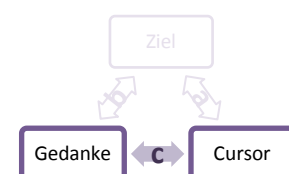


Abbildung 47: Boxplots der einzelnen Messparameter des Main Tests 2.

MAIN TEST 3

Die Teilergebnisse der einzelnen Messparameter des Main Tests 2 zeigten, dass die mittlere Schätzgenauigkeit der Relation c (siehe Tabelle 18 und Abbildung rechts) mit 86.4% am höchsten, jene der Relation b mit 82.7% am zweithöchsten und die der Relation a mit 73.6% am niedrigsten und zudem mit einer höheren Varianz ausfiel. Die geschätzten Parameter waren somit höher als die gemessene Distanz zum Zielpunkt, wobei jedoch zu erwähnen ist, dass letztere (**t2\_distToGiven**) im Gegensatz zu den geschätzten Parametern (**t2\_mindToGiven** und **t2\_mindToTarget**) bloss die x- und y-Distanz zum Zielpunkt berücksichtigte und den z-Unterschied ignorierte. Zudem fielen alle ermittelten Messparameter linksschief aus. Der Entscheid, die Steigungen qualitativ zu eruieren, wies aufgrund von drei Mög-



lichkeiten (beide richtig / eine richtig / beide falsch) eine hohe Varianz mit einem Range von 0% bis 100% auf. Die Einzelwerte der Variablen, welche in der Tabelle 24 ersichtlich sind und in der Abbildung 47 dargestellt wurden, beziehen sich auf die in der Tabelle 18 verwendeten Messparameter.

Die Schätzung der Orientierung der Bergkette und der Erfolg bei der Zuordnung der gefundenen Punkte zu deren Kategorien wiesen im Gegensatz zur Genauigkeit der geschätzten Koordinaten einen niedrigeren Mittelwert und eine grössere Streuung auf. Wie die Tabelle 25 zeigt, fiel vor allem die Höhenschätzung (Relation c) sehr steilgipflig und linksschief aus. Grundsätzlich wurden die Lagekoordinaten und die Höhe mit ähnlichen Genauigkeitswerten geschätzt. Die Abbildung 48 zeigt die Boxplots der einzelnen Messparameter.

Descriptive Statistics									
	N	Minimum	Maximum	Mean	SD	Skewness		Kurtosis	
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	SE	Statistic	SE
t3_mountainOrientation	61	.000	1.000	.561	.318	-.026	.306	-1.374	.604
t3_distToTarget	61	.626	.981	.867	.078	-1.073	.306	1.271	.604
t3_heightToTarget	61	.494	.963	.840	.094	-1.478	.306	2.654	.604
t3_hitTargetTrueOrFalse	61	.000	1.000	.742	.250	-1.175	.306	1.324	.604

Tabelle 25: Deskriptive Statistik der einzelnen Messparameter des Main Tests 3.

Resultate der einzelnen Parameter des Main Tests 3 im Vergleich

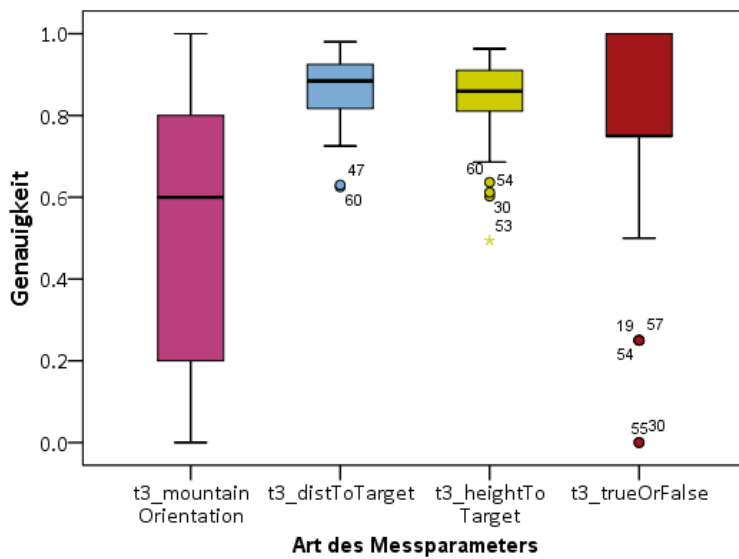


Abbildung 48: Boxplots der einzelnen Messparameter des Main Tests 3.

### 5.2.2 Analyse der absoluten Höhermittlung

Auf die Frage, die absolute Höhe einer frei wählbaren lokalen Erhebung in Metern zu schätzen, unterschieden sich die Antworten zwischen den eingesetzten Methoden stark voneinander. Da die Methoden B und C dieselbe Parametrisierung verwendeten, wurden sie gleich wie im Kapitel 5.3 «Resultate zur Forschungsleitfrage b)» zu einer Gruppe zusammengefasst und mit den Resultaten der Methode A verglichen.

Wie in der Tabelle 26 und in der Abbildung 49 ersichtlich, überschätzten beide Gruppen die Höhenwerte tendenziell. Die Streuung und der Range der Methode A fiel geringer aus als jene der Methoden B/C, was auf die geringere Anzahl an Probanden zurückzuführen sein könnte. Die geringsten Abweichungen (Spalte *next to 0*) lagen bei -32.8 Metern (Methode A) und bei -56.6 Metern (Methoden B/C), wohingegen die mittleren Abweichungen bei der Methode A rund 24 Mal so hoch bei 780 Metern und bei den Methoden B/C rund fünf Mal so hoch bei 240 Metern waren.

GENAUIGKEIT  
DER HÖHEN-  
SCHÄTZUNG  
(ABSOLUT)

Meth.	N	Mean	95%CI for Mean		5% Tr. Mean	Median	SD	next to 0	Min	Max	Range
			Lower	Upper							
a	20	780.5	434.3	1126.7	731.6	639.6	739.7	-32.8	-130.1	2571.0	2701.1
b/c	41	239.8	-76.1	555.6	227.5	226.7	1000.7	-56.6	-2279.9	3462.8	5742.7

Tabelle 26: Deskriptive Statistik der absoluten Höhenschätzung beim Main Test 3.

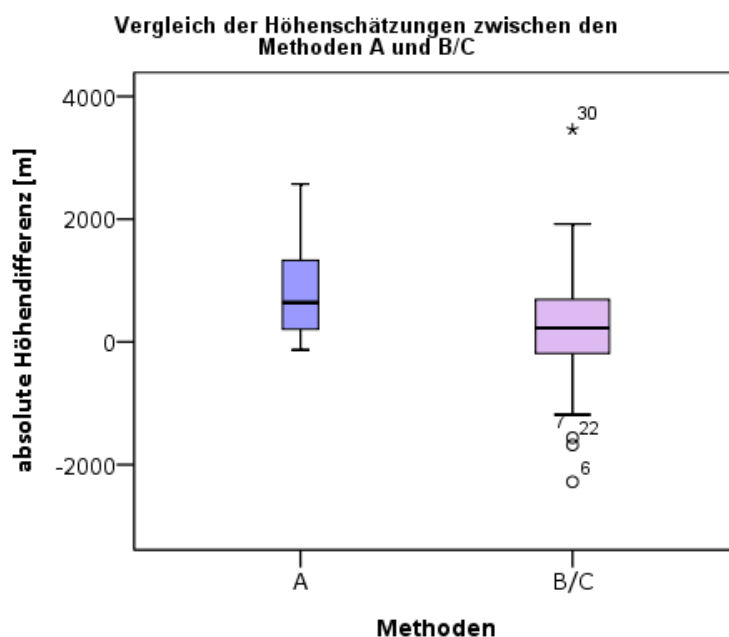


Abbildung 49: Boxplots der Höhenschätzungsabweichungen beim Main Test 3.

**Fazit:** In einem stetigen Höhenmodell mit ca. 4000 Metern Höhenunterschied wiesen die besten absoluten Schätzungen ca. 50 Meter Differenz auf, was einer Genauigkeit von 1.25% entspricht.

**Fazit:** Die Genauigkeit der absoluten Schätzungen ist abhängig von der eingesetzten Methode. Während im selben Modell durch die Methoden B/C mittlere Abweichungen von 240 Metern (= 6.0%) entstanden, lagen sie bei der Methode A bei 780 Metern (= 19.5%).

### 5.2.3 Analyse der Schätzungsgenauigkeit zu den sonifizierten, relativen Werten

GENAUIGKEIT  
DER HÖHEN-  
SCHÄTZUNG  
(RELATIV)

Ermittelt wurde der Mittelwert zwischen den in den Main Tests 2 und 3 erfassten relativen Genauigkeitswerten, bei welchen die relative Distanz der geschätzten Werte zu den sonifizierten Werten der Cursorposition berechnet wurde. Bei der Analyse der Tabelle 27 und der Abbildung 50 stellte sich heraus, dass die Resultate der Methode A mit einer durchschnittlichen Genauigkeit von 83% gegenüber einer Genauigkeit von 89% bei den Methoden B/C tiefer lagen. Der Range und die Streuung lagen bei der Methode A höher als bei den anderen Methoden.

Meth.	N	Mean	95%CI for Mean		5% Tr. Mean	Median	SD	Min	Max	Range	Skew	Kurt
			Lower	Upper								
a	20	0.826	0.793	0.859	0.825	0.818	0.070	0.711	0.961	0.250	0.132	-0.283
b/c	41	0.885	0.873	0.897	0.887	0.892	0.038	0.780	0.942	0.163	-0.844	0.321

Tabelle 27: Deskriptive Statistik aller geschätzten Werte zu den sonifizierten Cursorwerten.

Vergleich der Werteschätzungen zwischen den Methoden A und B/C

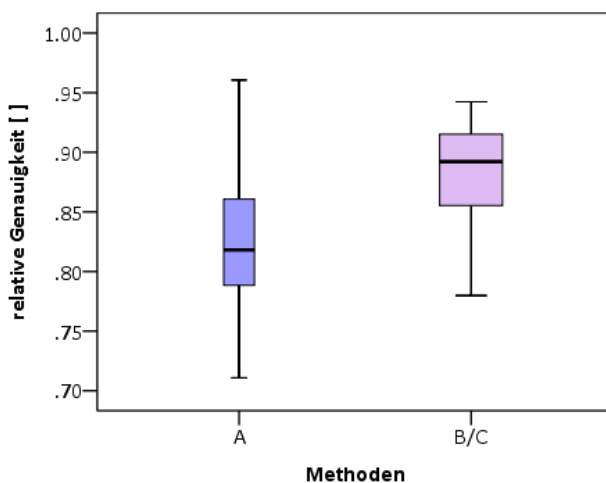




Abbildung 50: Boxplots der Schätzungsgenauigkeiten zu den sonifizierten Werten.

**Fazit:** Die Abweichungen der relativen Schätzungen gegenüber den sonifizierten Werten betragen bei der Methoden B/C rund 11% und ca. 17% bei der Methode A.

### 5.2.4 Qualitative Erkennung geographischer Einheiten

Eine Aufgabe des dritten Main Tests bestand darin, geographische Einheiten zu erkennen und diese dem Typ *Berg*, *Tal* oder *See* zuzuordnen. Die Tabelle 28 zeigt die Resultate nach Methoden aufgeteilt.

**Descriptives t3\_ov\_hitTargetTrueOrFalse**

Meth.	N	Mean	95%CI for Mean		5% Tr. Mean	Median	SD	Min	Max	Range	Skew	Kurt
			Lower	Upper								
a	20	0.625	0.496	0.754	0.639	0.750	0.275	0.000	1.000	1.000	-.659	-0.076
b	20	0.725	0.600	0.850	0.750	0.750	0.268	0.000	1.000	1.000	-1.211	1.647
c	21	0.869	0.810	0.927	0.868	0.750	0.128	0.750	1.000	0.250	0.103	2.211

TREFFSICHERHEIT RÄUMLICHER EINHEITEN

Tabelle 28: Deskriptive Statistik der getroffenen Ziele nach Methoden.

Es ist ersichtlich, dass die Mittelwerte mit steigender Alphabetisierung zunahmen und die Streuung sank. Auffallend ist, dass alle Probanden der Methode C mindestens drei von vier Zielen der korrekten Einheit zugeordnet hatten. Die Genauigkeit im Sinne einer qualitativen Frage, ob ein Ziel getroffen wurde oder nicht, lag somit abhängig von der eingesetzten Methode zwischen 63.8% (Methode A) und 86.8% (Methode B).

**Fazit:** Während Probanden der Methode A 63.8% der Ziele den geographischen Einheiten Berg, Tal und See korrekt zugeordnet haben, liegen die Mittelwerte bei der Methode B bei 75.0% und bei der Methode C bei 86.8%.

### 5.3 Resultate zur Forschungsleitfrage b)

b) Welche musikalischen Parameter eignen sich am besten zur salienten Wiedergabe eines kontinuierlichen Oberflächenmodells?

Da sich die gestellten Forschungsleitfragen auf zwei Dimensionen des Study Designs bezogen, wurden sie zusammen behandelt. Dafür wurde ein auf das *Mixed Factorial Design* (siehe S.54) eine *ANOVA mit Messwiederholung* angewandt. Während die eingesetzten Methoden *between-factors* darstellten, wurden für die Komplexitätsstufen als *within-factors* behandelt, da sie als Messwiederholungen derselben Methode zu betrachten waren. Bei den Methoden wurde nur zwischen den Parametrisierungen unterschieden, was dazu folgte, dass aufgrund derselben Verwendung der Parameter die *Methoden B und C zu einer gemeinsamen Gruppe* zusammengefasst wurden. Die folgenden Unterkapitel zeigen die Resultate der Analysen.

### 5.3.1 Within-Subject-Test

#### HAUPTEFFEKTE

WITHIN-EFFEKT  
KOMPLEXITÄT

Die  $H_0$ -Hypothese des *within-subject*-Tests sollte nach Unterschieden zwischen den Komplexitätsstufen innerhalb einer Methode analysieren. Da die Komplexitätsstufen Messwiederholungen darstellten, wurde eine *ANOVA mit Messwiederholung* angewandt. Die Hypothesen lauten:

<b><u>H<sub>0</sub>-Hypothese:</u></b>	Die Mittelwerte zwischen den eingesetzten Komplexitätsstufen sind mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% gleich.
<b><u>H<sub>1</sub>-Hypothese:</u></b>	Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% unterscheiden sich die Mittelwerte zwischen den eingesetzten Komplexitätsstufen voneinander.
<b><u>Resultat:</u></b>	Ablehnung der $H_0$ -Hypothese.
<b><u>Fazit:</u></b>	Es bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Resultaten der unterschiedlichen Komplexitätsstufen.

Die in der Tabelle 29 aufgelisteten Werte der deskriptiven Statistik deuteten vor allem beim zweiten und dritten Main Test auf unterschiedliche Gruppenmittelwerte hin. Da der Box's Test auf Äquivalenz der Kovarianzmatrizen (siehe Tabelle 30) nicht signifikant ausfiel, waren die Kovarianzen der abhängigen Variablen über alle Gruppen gleich.

**Descriptive Statistics**

Komplexitätsstufe	pers_series_2	Mean	SD	N
t1_overall_result	a	.705	.128	20
	b/c	.709	.132	41
t2_overall_result	a	.767	.069	20
	b/c	.838	.074	41
t3_overall_result	a	.737	.123	20
	b/c	.840	.084	41

**Box's Test of Equality of Covariance Matrices**

Box's M	6.878
F	1.070
df1	6
df2	9323.713
Sig.	.378

Tabelle 29: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Deskriptive Statistik (links).

Tabelle 30: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Box's Test auf Äquivalenz der Kovarianzmatrizen (rechts).

Die Ergebnisse des Levene's Test auf Homogenität der Varianzen zwischen den Gruppen (siehe Tabelle 31) zeigten, dass die Resultate des dritten Main Tests leicht verletzt wurden und somit auf Heteroskedastizität hinwiesen. Dennoch konnte bei der Analyse der Abbildung 51 eine *Time\*Treatment-Interaktion* festgestellt werden, da bei den Methoden B/C ein stetiger, leichter Aufwärtstrend ersichtlich war, während bei der Methode A der Trend nach der Komplexitätsstufe 2 zurückging. Dieser Umstand und die Tatsache, dass die Methoden B/C gegenüber der Methode A eine intuitivere Parametrisierung verwendeten, mindert nach der Meinung des Autors die Varianzinhomogenität beim dritten Main Test.

TEST AUF  
VARIANZ-  
HOMOGENITÄT

**Levene's Test of Equality of Error Variances**

	F	df1	df2	Sig.
t1_overall_result	.072	1	59	.790
t2_overall_result	.589	1	59	.446
t3_overall_result	5.359	1	59	.024

Tabelle 31: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Levene's Test auf Homogenität der Varianzen.

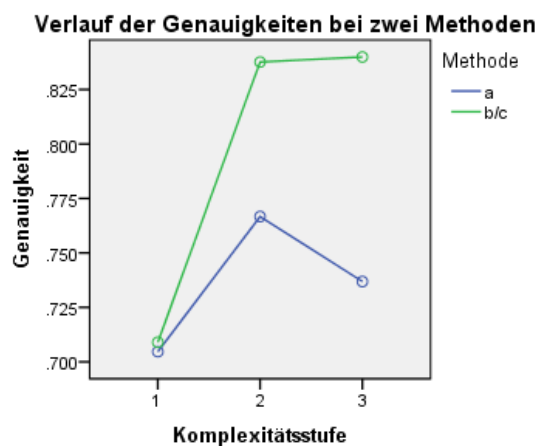


Abbildung 51: Verlauf der Genauigkeitsinterpretationen bei zwei Methoden.

Da der Mauchly Test auf Sphärizität signifikant ausfiel, war Sphärizität gegeben (siehe Tabelle 32). Deshalb wurde der Signifikanzwert der Greenhouse-Geisser-Korrektur (siehe Tabelle 33) verwendet, welcher unter dem Signifikanzniveau von  $\alpha=0.05$  lag und somit aussagte, dass Unterschiede innerhalb der Gruppen – d. h. zwischen den Komplexitätsstufen – vorhanden waren und die Erklärungskraft des partiellen Eta-Quadrats 20.1% betrug. Ausserdem war der Interaktionseffekt zwischen der Komplexitätsstufe und der Methode ebenfalls signifikant, obwohl das partielle Eta-Quadrat bloss 5.7% der abhängigen Variable erklären konnte.

Mauchly's Test of Sphericity

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
Komplexität	.621	27.632	2	.000	.725	.751	.500

Tabelle 32: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Test auf Sphärizität.

Tests of Within-Subjects Effects

Source		Type IV Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Komplexität	Sphericity Assumed	.286	2	.143	14.823	.000	.201
	Greenhouse-Geisser	.286	1.450	.197	14.823	.000	.201
	Huynh-Feldt	.286	1.503	.190	14.823	.000	.201
	Lower-bound	.286	1.000	.286	14.823	.000	.201
Komplexität * pers_series_2	Sphericity Assumed	.068	2	.034	3.541	.032	.057
	Greenhouse-Geisser	.068	1.450	.047	3.541	.047	.057
	Huynh-Feldt	.068	1.503	.045	3.541	.046	.057
	Lower-bound	.068	1.000	.068	3.541	.065	.057
Error(Komplexität)	Sphericity Assumed	1.137	118	.010			
	Greenhouse-Geisser	1.137	85.570	.013			
	Huynh-Feldt	1.137	88.650	.013			
	Lower-bound	1.137	59.000	.019			

Tabelle 33: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Within-Subject Effekte.

## POST-HOC-TEST 1

Aufgrund des oben aufgeführten Resultats wurden in einem *Post-Hoc-Test* die einzelnen Mittelwerte der Komplexitätsstufen miteinander verglichen, worauf präzisere Hypothesen beantwortet werden konnten. Da sich Hypothese 6 und Hypothese 7 (siehe S.59) beide auf einen

Vergleich mit der ersten Komplexitätsstufe bezogen, mussten zwei unterschiedliche Nullhypothese aufgestellt werden:

**Hypothese 6:** Die Wahrscheinlichkeit, bei der Interpretation eines Auditory Displays unter allen Komplexitätsstufen den tiefsten Durchschnittswert zu erzielen, ist bei einer erstmaligen Verwendung signifikant höher als bei den darauf folgenden Anwendungen.

**Hypothese 7:** Die Wahrscheinlichkeit, bei der Interpretation eines Auditory Displays unter allen Komplexitätsstufen den höchsten Durchschnittswert zu erzielen, ist beim Einsatz eines stetigen Datensatzes nicht signifikant geringer als beim Einsatz eines diskreten Datensatzes.

**H<sub>0</sub>-Hypothese:** Die Mittelwerte zwischen den Komplexitätsstufen 1 und 2 sind unter dem Signifikanzniveau von  $\alpha=0.05$  gleich.

**H<sub>1</sub>-Hypothese:** Die Mittelwerte zwischen den Komplexitätsstufen 1 und 2 unterscheiden sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha=0.05$  signifikant voneinander.

**Resultat:** Ablehnung der H<sub>0</sub>-Hypothese.

**H<sub>0</sub>-Hypothese:** Die Mittelwerte zwischen den Komplexitätsstufen 1 und 3 sind unter dem Signifikanzniveau von  $\alpha=0.05$  gleich.

**H<sub>1</sub>-Hypothese:** Die Mittelwerte zwischen den Komplexitätsstufen 1 und 3 unterscheiden sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha=0.05$  signifikant voneinander.

**Resultat:** Ablehnung der H<sub>0</sub>-Hypothese.

**Fazit:** Stetige Datensätze werden nicht signifikant schlechter interpretiert als diskrete Datensätze. Bei einer erstmaligen Verwendung liegen die interpretierten Resultate zudem signifikant tiefer als bei folgenden Anwendungen.

Für die Ermittlung von Unterschieden zwischen den Komplexitätsstufen wurde ein *Post-Hoc-Test* mit der *Bonferroni-Korrektur* vorgenommen, bei welchem die Mittelwerte der Komplexitätsstufen miteinander verglichen wurden. Dieser ergab eine Signifikanz zwischen den Komplexitätsstufen 1 und 2 und zwischen den Stufen 1 und 3 (siehe Tabelle 34). Folglich konnten die oben aufgeführten H<sub>0</sub>-Hypothesen abgelehnt werden. Die Komplexitätsstufen trugen gemäss Tabelle 35 zu 28.6% zur Erklärung der abhängigen Variable bei. Zudem lag die *Power* – das Risiko für einen Fehler 2. Art – bei 99.9%.

## Pairwise Comparisons

(I) Komplexität	(J) Komplexität	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval for Difference	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-.095*	.020	.000	-.145	-.046
	3	-.082*	.023	.002	-.138	-.025
2	1	.095*	.020	.000	.046	.145
	3	.014	.012	.799	-.016	.044
3	1	.082*	.023	.002	.025	.138
	2	-.014	.012	.799	-.044	.016

Based on estimated marginal means

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

**Tabelle 34: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Paarweiser Vergleich zwischen den Komplexitätsstufen.**

## Multivariate Tests

	Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Partial Eta Squared	Observed Power
Pillai's trace	.286	11.606 <sup>a</sup>	2.000	58.000	.000	.286	.992
Wilks' lambda	.714	11.606 <sup>a</sup>	2.000	58.000	.000	.286	.992
Hotelling's trace	.400	11.606 <sup>a</sup>	2.000	58.000	.000	.286	.992
Roy's largest root	.400	11.606 <sup>a</sup>	2.000	58.000	.000	.286	.992

Each F tests the multivariate effect of Komplexität. These tests are based on the linearly independent pairwise comparisons among the estimated marginal means.

a. Exact statistic

**Tabelle 35: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Multivariater Test auf Signifikanz.**

## POST-HOC-TEST 2

Derselbe Post-Hoc-Test wurde auch zur Beantwortung der folgenden Hypothese beizogen. Da der Einfluss des Massstabs und des LOD analysiert werden wollte, lohnte sich der Vergleich innerhalb desselben Skalenniveaus. Der Autor entschied sich daher, die Komplexitätsstufen 2 und 3 miteinander zu vergleichen, da sie beide auf einem stetigen Datensatz basierten. Da wie in der Tabelle 34 ersichtlich, Signifikanz zwischen den Komplexitätsstufen 2 und 3 nicht gegeben war, konnte die folgende Nullhypothese nicht abgelehnt werden, welche aus den Sachhypothesen der Seite 60 entstanden war.

Hypothese 8a:	Die Wahrscheinlichkeit, bei der Interpretation eines Auditory Displays unter allen Komplexitätsstufen den höchsten Durchschnittswert zu erzielen, ist beim Einsatz eines grossen Massstabs signifikant grösser als beim Einsatz eines kleinen Massstabs.
Hypothese 8b:	Die Wahrscheinlichkeit, bei der Interpretation eines Auditory Displays unter allen Komplexitätsstufen den höchsten Durchschnittswert zu erzielen, ist beim Einsatz eines kleinen LOD signifikant grösser als beim Einsatz eines hohen LOD.
<b><u>H<sub>0</sub>-Hypothese:</u></b>	Die Mittelwerte zwischen den Komplexitätsstufen 2 und 3 sind unter dem Signifikanzniveau von $\alpha=0.05$ gleich.
<b><u>H<sub>1</sub>-Hypothese:</u></b>	Die Mittelwerte zwischen den Komplexitätsstufen 2 und 3 unterscheiden sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0.05$ signifikant voneinander
<b><u>Resultat:</u></b>	Annahme der H <sub>0</sub> -Hypothese.
<b><u>Fazit:</u></b>	Innerhalb eines stetigen Datensatzes zeigen unterschiedliche Massstäbe oder Level of Details keinen signifikanten Unterschied auf die Genauigkeit der Interpretation eines Auditory Displays.

### 5.3.2 Between-Subject-Test

Aus der Forschungsleitfrage b) liessen sich die unten zusammengetragenen Sachhypothesen (S.56–58) aufstellen, welche die Parametrisierungen der unterschiedlichen Sonifikationsmethoden jeder räumlicher Achse einander gegenüberstellten. Da die Parametrisierungen zusammen verglichen wurden, konnten in einer einzigen statistischen Nullhypothese zusammengefasst werden:

BETWEEN-FAKTOR METHODE

Hypothese 1a:	Die Wahrscheinlichkeit, aus einem auditiven Signal, welches die räumliche Dimension <i>Höhe</i> darstellt, einen zugeordneten Wert zu extrahieren, ist beim Einsatz der Tonhöhe signifikant höher als bei der Verwendung der Klangvariable Dauer.
Hypothese 3:	Die Wahrscheinlichkeit, aus einem auditiven Signal, welches die geographische Länge darstellt, einen zugeordneten Wert zu extrahieren, liegt beim Einsatz der Lautstärke signifikant höher als bei der Verwendung der Klangvariable Tonhöhe.
Hypothese 4:	Die Wahrscheinlichkeit, bei der Interpretation eines Auditory Displays unter allen Methoden den höchsten Durchschnittswert zu erzielen, ist beim Einsatz des Klangparameters <i>Lautstärke</i> signifikant höher als beim Einsatz der Tonhöhe, sofern damit die relativen Lautstärken zweier unterschiedlicher Wellenformen bei gleichbleibender Gesamtlautstärke abgebildet werden.
<b><u>H<sub>0</sub>-Hypothese:</u></b>	Die Mittelwerte zwischen den Methoden A und B/C sind unter dem Signifikanzniveau von $\alpha=0.05$ gleich.
<b><u>H<sub>1</sub>-Hypothese:</u></b>	Die Mittelwerte zwischen den Methoden A und B/C unterscheiden sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0.05$ signifikant voneinander

**Resultat:** Ablehnung der  $H_0$ -Hypothese.

**Fazit:** Ein Auditory Display mit den Parametern *Tonhöhe* für die geographische Höhe und *Pan* für die Lokalisierung der x- und y-Koordinaten führte zu signifikant höheren Resultaten als die Verwendung der Dauer für Höhenwerte und der Tonhöhe für x- und y-Koordinaten.

Getestet wurde der Unterschied zwischen den Between-Subject-Gruppen Methode A und Methode B/C (Variable *pers\_series\_2*). Der Test auf Effekte zwischen den einzelnen Methoden ergab eine Signifikanz unter dem Signifikanzniveau von  $\alpha=0.05$ . Somit war ein signifikanter Unterschied zwischen den Methoden gegeben (siehe Tabelle 36). Da nur zwei Methoden miteinander verglichen wurden, erübrigte sich ein Post-Hoc-Test.

Source	Type IV Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Part.Eta Squared	Observed Power <sup>a</sup>
Intercept	94.600	1	94.600	7449.810	.000	.992	1.000
<i>pers_series_2</i>	.143	1	.143	11.226	.001	.160	.909
Error	.749	59	.013				

a. Computed using alpha = .05

**Tabelle 36: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Test auf Effekt zwischen den Methoden.**

Wie in der Tabelle 36 ersichtlich, betrug die Power, dass die unterschiedlichen Gruppen einen Effekt auf die Interpretationsgenauigkeit ausübten, 90.9%. Der erklärte Anteil durch die Methoden lag dabei bei 16%. Durch einen Vergleich dieser Werte mit denen der Tabelle 37 wird erkennbar, dass sowohl die Power als auch das partielle Eta-Quadrat im ersten Main Test sehr tief lagen und ab dem zweiten Main Test anstiegen. Somit trug der Losentscheid zu den unterschiedlichen Gruppen nur unwesentlich zum Resultat des Main Tests 1 bei.

Dependent Variable	Parameter	B	SE	t	Sig.	Partial Eta Squared	Observed Power
t1_overall_result	Intercept	.709	.020	34.755	.000	.953	1.000
	[ <i>pers_series_2</i> ]	-.004	.036	-.121	.904	.000	.052
t2_overall_result	Intercept	.838	.011	73.794	.000	.989	1.000
	[ <i>pers_series_2</i> ]	-.071	.020	-3.579	.001	.178	.941
t3_overall_result	Intercept	.840	.015	54.810	.000	.981	1.000
	[ <i>pers_series_2</i> ]	-.103	.027	-3.852	.000	.201	.966

**Tabelle 37: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Parameterschätzungen.**



### 5.3.3 Finden von Extremwerten

Für die Analyse der folgenden Hypothese wurde die Variable *t2\_distToGiven* beigezogen, welche die effektive Distanz der Cursorposition zum eigentlichen Zielpunkt mass. Da dieser Faktor im Main Test 2 am zuverlässigsten gemessen wurde und da die Methoden B und C dieselbe Parametrisierung verwendeten, entschied sich der Autor, die Einteilung in zwei Gruppen (Methode A und Methoden B/C) vorzunehmen und dabei die Variable *t2\_distToGiven* zu verwenden. Da diese Variable gemäss der Tabelle 19 nicht normalverteilt war, wurde der *Mann-Whitney-U-Test* verwendet. Die Sach- und Nullhypothesen lauteten dabei:

**Hypothese 1b:** Die Wahrscheinlichkeit, aufgrund eines akustischen Signals, welches die räumliche Dimension *Höhe* darstellt, auf interaktive Weise einen lokalen Extremwert zu finden, liegt beim Einsatz der *Tonhöhe* signifikant höher als bei der Verwendung der Klangvariable *Dauer*.

**H<sub>0</sub>-Hypothese:** Die Mittelwerte der Variable *t2\_distToGiven* sind zwischen den Methoden A und B/C und unter dem Signifikanzniveau von  $\alpha=0.05$  gleich.

**H<sub>1</sub>-Hypothese:** Die Mittelwerte der Variable *t2\_distToGiven* unterscheiden sich zwischen den Methoden A und B/C mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha=0.05$  signifikant voneinander.

**Resultat:** Ablehnung der H<sub>0</sub>-Hypothese.

**Fazit:** Lokale Höhen-Extremwerte erzeugen durch den Parameter *Tonhöhe* eine signifikant höhere Genauigkeit durch den Parameter *Dauer*.

Die Analyse der Gruppenmittelwerte ergab, wie in der Tabelle 38 festgehalten, dass mit den Methoden B und C eine Treffgenauigkeit von 80.5% erzielt wurde, während die Genauigkeit unter Verwendung der Methode A bei 59.6% lag.

Descriptives								
	N	Mean	SD	SE	95% CI for Mean		Min	Max
					Lower B	Upper B		
Methode A	20	.596	.134	.030	.533	.659	.363	.896
Methoden B/C	41	.805	.163	.025	.753	.856	.251	.963
Total	61	.736	.182	.023	.690	.783	.251	.963

Tabelle 38: Deskriptive Statistik der Variable *t2\_distToGiven* nach Methoden aufgeteilt.

Aus den berechneten Rangsummen (siehe

Test Statistics (Einteilung in Methode A und B/C)

	t2_distToGiven
Mann-Whitney U	128.000
Wilcoxon W	338.000
Z	-4.332
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

Tabelle 39) ergab sich eine Signifikanz beim Unterschied zwischen den eingesetzten Methoden (siehe Tabelle 40). Somit konnte die aufgestellte Nullhypothese verworfen werden.

Ranks				
Variable	Methode	N	Mean Rank	Sum of Ranks
	Methode A	20	16.90	338.00
t2_distToGiven	Methoden B/C	41	37.88	1553.00
	Total	61		

Test Statistics (Einteilung in Methode A und B/C)

	t2_distToGiven
Mann-Whitney U	128.000
Wilcoxon W	338.000
Z	-4.332
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

Tabelle 39: Rangsummen der Variable t2\_distToGiven.

Tabelle 40: Ergebnis des Rangsummentests der Variable t2\_distToGiven.

#### 5.4 Resultate zur Forschungsleitfrage c)

c) Ist die Perzeption der interaktiven Höhenermittlung einzelner Punkte genauer als das Abspielen eines Höhenprofils zwischen zwei Punkten?

Ausgehend von der Vorgehensweise des Kapitels 5.3 «Resultate zur Forschungsleitfrage b)» konnte die Unterscheidung zwischen den Methoden noch ein wenig präzisiert werden, indem der Fokus auf einen allfälligen Unterschied zwischen den Methoden B und C gelegt wurde. Angewandt wurde wiederum eine *ANOVA mit Messwiederholung*, wobei die Komplexitätsstufen als *within-factors* und die eingesetzten Methoden als *between-factors* behandelt wurden. Die folgende Sachhypothese sollte die Forschungsleitfrage abdecken und führte zur anschliessenden statistischen Nullhypothese:

**Hypothese 5:** Die Wahrscheinlichkeit, bei der Interpretation eines Auditory Displays unter allen Methoden den höchsten Durchschnittswert zu erzielen, ist beim Einsatz zeitlich und räumlich regelmässiger Wertedarstellungen höher als bei der interaktiven Werteabfrage durch willkürliche und ungegliederte motorische Bewegungen.

**H<sub>0</sub>-Hypothese:** Die Mittelwerte zwischen den Methoden B und C sind unter dem Signifikanzniveau von  $\alpha=0.05$  gleich.

**H<sub>1</sub>-Hypothese:** Die Mittelwerte zwischen den Methoden B und C unterscheiden sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha=0.05$  signifikant voneinander.

**Resultat:** Annahme der H<sub>0</sub>-Hypothese.

**Fazit:** Im Gegensatz zur unmittelbaren Wiedergabe von Klängen wird durch ein geordnetes Abspielen eines Höhenprofils kein signifikanter Vorteil in der Interpretation der Höhenwerte erzielt.

Wie in der Tabelle 42 ersichtlich, wurden für die vorliegende Analyse alle drei Methoden in allen Faktorstufen berücksichtigt. Der Signifikanzwert unter  $\alpha=0.05$  beim Test auf Gleichheit der Kovarianzmatrizen führte zu dessen Ablehnung. Der Levene's Test auf Varianzhomogenität wurde im dritten Main Test leicht und im zweiten Main Test stark verletzt (siehe Tabelle 43). Somit war zwischen den Methoden Heteroskedastizität gegeben.

Komplexitätsstufe	pers_series_3	Mean	SD	N
t1_overall_result	a	.705	.128	20
	b	.691	.131	20
	c	.726	.134	21
t2_overall_result	a	.767	.069	20
	b	.807	.089	20
	c	.867	.041	21
t3_overall_result	a	.737	.123	20
	b	.816	.100	20
	c	.863	.059	21

Box's M	27.615
F	2.128
df1	12
df2	16220.764
Sig.	.013

Tabelle 41: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Deskriptive Statistik (links).

Tabelle 42: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Box's Test auf Äquivalenz der Kovarianzmatrizen (rechts).

Dieser Erkenntnis entgegen wirkte erstens die Tatsache, dass der Gruppenumfang zwischen allen Methoden ungefähr gleich gross war (Papousek 2007). Zweitens wurde zwischen den Verläufen der Methode A und B eine *Time\*Treatment-Interaktion* festgestellt, während zwischen den Methoden A und C eine *Treatment-Interaktion* mit ähnlichen Trends und unterschiedlichen Gradienten erkennbar war. Nach Ansicht des Autors bestand zwischen den Methoden B und C ein *Time and Treatment Effekt*, wobei für eine klare Aussage mehrere Messwiederholungen nötig gewesen wären. Ein erwarteter Lerneffekt trat nur bei der Methode B auf. Im Vergleich zur Abbildung 51 bei der Analyse zweier Methoden konnte keine vergleich-

	F	df1	df2	Sig.
t1_overall_result	.034	2	58	.967
t2_overall_result	6.763	2	58	.002
t3_overall_result	3.456	2	58	.038

Tabelle 43: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Levene's Test auf Homogenität der Varianzen.

bar klare Aussage getroffen werden. Aufgrund dieser Feststellungen empfiehlt der Autor, bei der Interpretation der folgenden Resultate Vorsicht walten zu lassen.

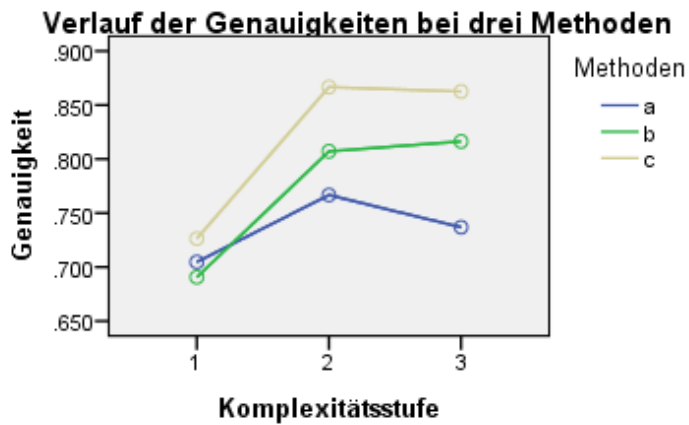


Abbildung 52: Verlauf der Genauigkeitsinterpretationen bei zwei Methoden.

TEST AUF  
SPÄRIZITÄT

Da der Mauchly's Test auf Sphärizität erneut signifikant ausfiel (siehe Tabelle 44), musste die Greenhouse-Geisser-Korrektur verwendet werden (siehe Tabelle 45). Da deren Signifikanz tiefer als  $\alpha=0.05$  lag, konnte angenommen werden, dass Unterschiede zwischen den Komplexitätsstufen bestanden. Der Anteil der Erklärungskraft stieg im Vergleich zur GLM-ANOVA mit zwei Methoden auf ein partielles Eta-Quadrat von 27.3%. Der Interaktionskoeffizient durfte hingegen nicht mehr als signifikant betrachtet werden.

Mauchly's Test of Sphericity							
Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
Komplexität	.619	27.320	2	.000	.724	.764	.500

Tabelle 44: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Mauch's Test auf Sphärizität.

**Tests of Within-Subjects Effects**

Source		Type IV Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Komplexität	Sphericity Assumed	.426	2	.213	21.782	.000	.273
	Greenhouse-Geisser	.426	1.448	.294	21.782	.000	.273
	Huynh-Feldt	.426	1.527	.279	21.782	.000	.273
	Lower-bound	.426	1.000	.426	21.782	.000	.273
Komplexität * pers_series_3	Sphericity Assumed	.071	4	.018	1.819	.130	.059
	Greenhouse-Geisser	.071	2.897	.025	1.819	.152	.059
	Huynh-Feldt	.071	3.054	.023	1.819	.149	.059
	Lower-bound	.071	2.000	.036	1.819	.171	.059
Error(Komplexität)	Sphericity Assumed	1.134	116	.010			
	Greenhouse-Geisser	1.134	84.010	.014			
	Huynh-Feldt	1.134	88.568	.013			
	Lower-bound	1.134	58.000	.020			

Tabelle 45: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Within-Subject Effekte.

Der Test nach Effekten zwischen den Methoden (siehe Tabelle 46) ergab für die drei eingesetzten Methoden (Variable `pers_series_3`) eine Signifikanz unter  $\alpha=0.05$ , worauf ein Unterschied zwischen den eingesetzten Methoden feststellbar war. In einem *Post-Hoc-Test* mit der *Bonferroni*-Korrektur wurde ein signifikanter Effekt zwischen den Methoden A und C festgestellt. Ein potentieller Effekt zwischen B und C überschritt nur knapp das Signifikanzniveau (siehe Tabelle 47). Die gestellte Nullhypothese musste daher beibehalten werden.

Die Abhängigkeit der Qualität der Interpretationen konnte zu 23.7% durch die unterschiedlichen Methoden erklärt werden (siehe Tabelle 46), was über dem Eta-Quadrat der GLM-ANOVA mit zwei Methoden lag. Die Power der Unterscheidung in drei Methoden lag zudem bei 96.7%.

**Tests of Between-Subjects Effects**

Source	Type IV Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Observed Power
Intercept	109.947	1	109.947	9367.884	.000	.994	1.000
pers_series_3	.211	2	.106	8.990	.000	.237	.967
Error	.681	58	.012				

Tabelle 46: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Test auf Effekt zwischen den Methoden.

Pairwise Comparisons						
(I) pers_series_3	(J) pers_series_3	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval for Differen- ceb	
					Lower Bound	Upper Bound
a	b	-.035	.020	.239	-.084	.013
	c	-.082*	.020	.000	-.131	-.034
b	a	.035	.020	.239	-.013	.084
	c	-.047	.020	.057	-.095	.001
c	a	.082*	.020	.000	.034	.131
	b	.047	.020	.057	-.001	.095

Based on estimated marginal means

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

**Tabelle 47: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Paarweiser Vergleich der Methoden.**

#### POST-HOC-TEST WITHIN-SUBJECTS

Zur Vervollständigung sei noch das Resultat des *Post-Hoc-Tests* für die drei Komplexitätsstufen genannt. Nach Anwendung der *Bonferroni-Korrektur* waren die Signifikanzen zwischen den Komplexitätsstufen im Vergleich zur GLM-ANOVA des Kapitels 5.3.1 «Within-Subject-Test» – wo möglich – ausgeprägter (siehe Tabelle 48). Die Signifikanzen lagen zwischen der Komplexitätsstufe 1 und den Stufen 2 und 3 bei 0.0% – zwischen den Stufen 2 und 3 dagegen bei 100%. Die Power betrug bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha=0.05$  hohe 99.9%, während das partielle Eta-Quadrat bei 35.5% lag (siehe Tabelle 49).

Pairwise Comparisons						
(I) Komplexi- tät	(J) Komplexi- tät	Mean Difference (I- J)	Std. Er- ror	Sig.	95% Confidence Interval for Differen- ceb	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-.106*	.019	.000	-.153	-.060
	3	-.098*	.022	.000	-.152	-.044
2	1	.106*	.019	.000	.060	.153
	3	.008	.012	1.000	-.020	.037
3	1	.098*	.022	.000	.044	.152
	2	-.008	.012	1.000	-.037	.020

**Tabelle 48: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Paarweiser Vergleich zwischen den Komplexitätsstufen.**

Multivariate Tests							
	Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Partial Eta <sup>2</sup>	Observed Power
Pillai's trace	.355	15.694	2.000	57.000	.000	.355	.999
Wilks' lambda	.645	15.694	2.000	57.000	.000	.355	.999
Hotelling's trace	.551	15.694	2.000	57.000	.000	.355	.999
Roy's largest root	.551	15.694	2.000	57.000	.000	.355	.999

Tabelle 49: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Multivariater Test auf Signifikanz.

### 5.5 Resultate zur Forschungsleitfrage d)

d) Nehmen Probanden mit ausgeprägtem räumlichen Vorstellungsvermögen und Hörsinn die sonifizierten Daten genauer wahr als Probanden mit wenig ausgeprägtem räumlichen Vorstellungsvermögen und Hörsinn?

Ausgehend von dieser Forschungsleitfrage liessen sich drei Hypothesen aufstellen, welche primär den direkten Einfluss des individuellen musikalischen und geographischen und sekundär den technischen Hintergrund auf die erzielten Resultate der Interpretation des Auditory Displays beschreiben sollten. In einem ersten Schritt wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt, welche durch eine anschliessende Regressionsanalyse präzisiert wurde.

#### 5.5.1 Korrelationsanalyse Pre-Test vs. Main-Test

**Hypothese 9:** Je höher das musikalische Vorwissen ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit eines hohen Resultats bei der Interpretation des Auditory Displays.

**H<sub>0</sub>-Hypothese:** Zwischen dem musikalischen Hintergrund und der Interpretationsgenauigkeit des Auditory Displays besteht unter der Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha=0.05$  eine signifikante, positive Korrelation.

**H<sub>1</sub>-Hypothese:** Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha=0.05$  besteht zwischen dem musikalischen Hintergrund und der Interpretationsgenauigkeit des Auditory Displays kein signifikanter Zusammenhang.

**Resultat:** Ablehnung der H<sub>0</sub>-Hypothese.

**Fazit:** Mit einem Korrelationskoeffizient nach Pearson von 0.293 liegt ein mittlerer Effekt zwischen dem musikalischen Hintergrund und der Interpretationsgenauigkeit der Auditory Displays vor.

Hypothese 10:	Je höher das technische Vorwissen ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für ein hohes Resultat bei der Interpretation des Auditory Displays.
<b><u>H<sub>0</sub>-Hypothese:</u></b>	Zwischen dem technischen Hintergrund und der Interpretationsgenauigkeit des Auditory Displays besteht unter der Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0.05$ eine signifikante, positive Korrelation.
<b><u>H<sub>1</sub>-Hypothese:</u></b>	Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0.05$ besteht zwischen dem technischen Hintergrund und der Interpretationsgenauigkeit des Auditory Displays kein signifikanter Zusammenhang.
<b><u>Resultat:</u></b>	Ablehnung der H <sub>0</sub> -Hypothese.
<b><u>Fazit:</u></b>	Mit einem Korrelationskoeffizient nach Pearson von 0.312 liegt ein mittlerer Effekt zwischen dem technischen Hintergrund und der Interpretationsgenauigkeit der Auditory Displays vor.
Hypothese 11:	Je höher das geographische Vorwissen ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer hohen Genauigkeit bei der Interpretation des Auditory Displays.
<b><u>H<sub>0</sub>-Hypothese:</u></b>	Zwischen dem geographischen Hintergrund und der Interpretationsgenauigkeit des Auditory Displays besteht unter der Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0.05$ eine signifikante, positive Korrelation.
<b><u>H<sub>1</sub>-Hypothese:</u></b>	Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0.05$ besteht zwischen dem geographischen Hintergrund und der Interpretationsgenauigkeit des Auditory Displays kein signifikanter Zusammenhang.
<b><u>Resultat:</u></b>	Ablehnung der H <sub>0</sub> -Hypothese.
<b><u>Fazit:</u></b>	Mit einem Korrelationskoeffizient nach Pearson von 0.391 liegt ein mittlerer Effekt zwischen dem geographischen Hintergrund und der Interpretationsgenauigkeit der Auditory Displays vor.

Die in der Tabelle 50 dargestellte Korrelationsmatrix zeigt die Korrelationen zwischen den Pre-Tests und den Main Tests. Dabei ist ersichtlich, dass die einzelnen Korrelationen beim Main Test 2 am höchsten und beim Main Test 3 am zweithöchsten ausfielen. Hingegen konnte keine signifikante Korrelation zwischen den einzelnen Variablen und dem Resultat des Main Tests 1 ermittelt werden. Sieht man von diesem Test ab, erzielten die gemittelten Resultate der Pre-Tests (**preTest\_ovR**) die höchsten Korrelationswerte, wobei r-Werte bis 0.544 ermittelt wurden, was auf einen starken Effekt hinwies. Ein signifikanter Effekt war nicht bei allen Kombina-



tionen gegeben, jedoch lag das Signifikanzniveau des musikalischen Pre-Tests sowohl im zweiten als auch im dritten Pre-Test unter einem Fehler von 1%.

Zur Beantwortung der Nullhypothesen wurden jeweils die einzelnen Resultate der Pre-Tests mit dem gemittelten Wert der Main Tests (**tAll\_ovR**) verglichen.

		tech_ovR	music_ovR	geo_ovR	preTest_ovR
t1_ovR	Pearson Cor.	.114	-.055	.210	.095
	Sig. (2-tailed)	.381	.673	.105	.468
t2_ovR	Pearson Cor.	.329**	.407**	.333**	.544**
	Sig. (2-tailed)	.010	.001	.009	.000
t3_ovR	Pearson Cor.	.229	.337**	.266*	.434**
	Sig. (2-tailed)	.075	.008	.039	.000
tAll_ovR	Pearson Cor.	.312*	.293*	.391**	.486**
	Sig. (2-tailed)	.014	.022	.002	.000

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\*. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

**Tabelle 50: Korrelationsmatrix der Pre-Tests und der Main Tests.**

### 5.5.2 Regressionsanalyse

#### MAIN TEST 1

Wie in der Korrelationsmatrix (siehe Tabelle 50) ersichtlich, herrschte keine Signifikanz in der Vorhersage der Interpretationsgenauigkeit durch die drei Resultate der Pre-Tests (siehe Tabelle 52). Deren Zusammenhang durch die *korrigierten Bestimmtheitsmasse* ( $\bar{R}^2 = Adj. R^2$  in Tabelle 51) betrug lediglich 2%. Die vorhandenen Daten waren zudem negativ autokorelliert, da der erhaltene *Durbin-Watson-Wert* als 1.69 (oberer Schwellwert für 60 Stichproben mit 3 Regressoren) ausfiel (siehe Tabelle 51). Keine relative Vorhersage der Resultate der Pre-Tests war zudem signifikant (siehe Tabelle 53). Zur Berechnung der Regressionsgeraden wurde die *Enter-Methode* verwendet.

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	SE of the Estimate	Durbin-Watson
1	.263 <sup>a</sup>	.069	.020	.128233	2.632

a. Predictors: (Constant), geo\_ovR, tech\_ovR, music\_ovR

b. Dependent Variable: t1\_ovR

**Tabelle 51: Modellzusammenfassung Regressionsanalyse Main Test 1.****ANOVA<sup>b</sup>**

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	.070	3	.023	1.410	.249 <sup>a</sup>
1 Residual	.937	57	.016		
Total	1.007	60			

a. Predictors: (Constant), geo\_ovR, tech\_ovR, music\_ovR

b. Dependent Variable: t1\_ovR

**Tabelle 52: ANOVA Regressionsanalyse Main Test 1.****Coefficients<sup>a</sup>**

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	.516	.120		4.294	.000
1 Tech_ovR	.120	.118	.136	1.014	.315
music_ovR	-.102	.103	-.134	-.986	.328
geo_ovR	.233	.137	.220	1.696	.095

a. Dependent Variable: t1\_ovR

**Tabelle 53: Koeffizienten Regressionsanalyse Main Test 1.**

## MAIN TEST 2

Das  $\bar{R}^2$  ergab einen Zusammenhang zwischen den Resultaten der Pre-Tests und der Interpretationsgenauigkeit von 24.2% (siehe Tabelle 54). Die unabhängigen Variablen vermochten die Genauigkeit signifikant vorherzusagen (siehe Tabelle 55). Autokorrelation war nicht gegeben, da der Durbin-Watson-Wert zwischen der vorgesehenen Unter- und Obergrenze lag. Die Vorhersage der Genauigkeit konnte durch die Resultate des geographischen (relativer Anteil: 29.7%) und musikalischen Pre-Tests (relativer Anteil: 26.5%) signifikant vorgenommen werden (siehe Tabelle 56).

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	SE of the Estimate	Durbin-Watson
1	.529 <sup>a</sup>	.280	.242	.069240	1.686

a. Predictors: (Constant), geo\_ovR, tech\_ovR, music\_ovR

b. Dependent Variable: t2\_ovR

**Tabelle 54: Modellzusammenfassung Regressionsanalyse Main Test 2.**

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	.106	3	.035	7.377	.000b
1 Residual	.273	57	.005		
Total	.379	60			

a. Predictors: (Constant), geo\_ovR, tech\_ovR, music\_ovR

b. Dependent Variable: t2\_ovR

**Tabelle 55: ANOVA Regressionsanalyse Main Test 2.**

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	.552	.065		8.505	.000
1 Tech_ovR	.115	.064	.214	1.805	.076
music_ovR	.138	.056	.297	2.486	.016
geo_ovR	.172	.074	.265	2.323	.024

a. Dependent Variable: t2\_ovR

**Tabelle 56: Koeffizienten Regressionsanalyse Main Test 2.**

### MAIN TEST 3

Das  $\bar{R}^2$  lag im dritten Main Test deutlich tiefer bei 13%, während wiederum der Durbin-Watson-Wert zwischen seiner Unter- und Obergrenze lag und somit auf keine Autokorrelation hinwies (siehe Tabelle 57). Die Vorhersage der Genauigkeit durch die unabhängigen Variablen fiel in der ANOVA wiederum signifikant aus (siehe Tabelle 58). Einzig die Resultate des musikalischen Pre-Tests trugen mit einem relativen Anteil von 26.1% signifikant zur Erklärung der abhängigen Variablen bei (siehe Tabelle 59).

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	SE of the Estimate	Durbin-Watson
1	.417 <sup>a</sup>	.174	.130	.101518	1.684

a. Predictors: (Constant), geo\_ovR, tech\_ovR, music\_ovR

b. Dependent Variable: t3\_ovR

**Tabelle 57: Modellzusammenfassung Regressionsanalyse Main Test 3.****ANOVA<sup>b</sup>**

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	.124	3	.041	3.996	.012 <sup>b</sup>
1 Residual	.587	57	.010		
Total	.711	60			

a. Predictors: (Constant), geo\_ovR, tech\_ovR, music\_ovR

b. Dependent Variable: t3\_ovR

**Tabelle 58: ANOVA Regressionsanalyse Main Test 3.****Coefficients<sup>a</sup>**

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	.526	.095		5.525	.000
1 Tech_ovR	.096	.094	.130	1.025	.310
music_ovR	.167	.082	.261	2.041	.046
geo_ovR	.188	.109	.211	1.726	.090

a. Dependent Variable: t3\_ovR

**Tabelle 59: Koeffizienten Regressionsanalyse Main Test 3.**

#### GEMITTELTES RESULTAT DER MAIN TESTS

Das gemittelte Resultat aller Main Tests sollte skeptisch betrachtet werden, da aufgrund eines zu hohen Durbin-Watson-Werts Autokorrelation vorlag (siehe Tabelle 60). Die Erklärung an den gemittelten Werten betrug hierbei 21.5%. Gemäss dem Resultat aus der ANOVA konnte die Genauigkeitsinterpretation signifikant vorausgesagt werden. In diesem Fall stellte das Resultat des geographischen Pre-Tests jedoch das einzige entscheidende Resultat dar. Da bereits die Daten des Main Test 1 autokorreliert waren und die in den beiden folgenden Tests signifikanten Resultate des musikalischen Pre-Tests nun eine niedrige Signifikanz erhielten, wird empfohlen, die Daten aus der differenzierten Perspektive auf der Ebene der einzelnen Main Tests zu betrachten.

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	SE of the Estimate	Durbin-Watson
1	.505 <sup>a</sup>	.255	.215	.062346	1.984

a. Predictors: (Constant), geo\_ovR, tech\_ovR, music\_ovR

b. Dependent Variable: t1\_ovR

**Tabelle 60: Modellzusammenfassung Regressionsanalyse Main Test 1.**

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	.076	3	.025	6.491	.001 <sup>b</sup>
1 Residual	.222	57	.004		
Total	.297	60			

a. Predictors: (Constant), geo\_ovR, tech\_ovR, music\_ovR

b. Dependent Variable: t3\_ovR

**Tabelle 61: ANOVA Regressionsanalyse Main Test 3.**

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	.531	.058		9.091	.000
1 Tech_ovR	.110	.058	.231	1.920	.060
music_ovR	.068	.050	.164	1.352	.182
geo_ovR	.198	.067	.343	2.960	.004

a. Dependent Variable: t3\_ovR

**Tabelle 62: Koeffizienten Regressionsanalyse Main Test 3.**

**Fazit:** Es existieren signifikante Korrelationen zwischen den drei gemessenen Hintergründen und den Resultaten der Main Tests.

**Fazit:** Die korrigierten Bestimmtheitsmasse  $\bar{R}^2$  für die Stärke des Einflusses der Pre-Tests auf den jeweiligen Main Test ergaben Werte zwischen 2% (Main Test 1; kein linearer Zusammenhang) und 24.2% (Main Test 2; schwacher linearer Zusammenhang).

## 5.6 Weiterführende Resultate

### 5.6.1 Einfluss des Geschlechts auf die Resultate des Main Tests

Die Resultate der Main Tests wurden gemäss Tabelle 63 nach Geschlechtern aufgeteilt und in Abbildung 53 visualisiert. Auch die One-Way-ANOVA, deren Resultate in der Tabelle 64 vorliegen, zeigt, dass keine Signifikanz für Unterschiede zwischen den Geschlechtern vorliegt. Die folgende  $H_0$ -Hypothese konnte daher nicht verworfen werden.

**Hypothese 12:** Das Geschlecht hat einen nichtsignifikanten Einfluss auf die Interpretationsgenauigkeit von Auditory Displays.

**H<sub>0</sub>-Hypothese:** Die Mittelwerte zwischen den Geschlechtern sind unter dem Signifikanzniveau von  $\alpha=0.05$  gleich.

**H<sub>1</sub>-Hypothese:** Die Mittelwerte zwischen den Geschlechtern unterscheiden sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha=0.05$  signifikant voneinander.

**Resultat:** Annahme der  $H_0$ -Hypothese.

**Fazit:** Es besteht kein Einfluss des Geschlechts auf die Qualität der Interpretation des Auditory Displays.

		Descriptives							
		N	Mean	SD	Std. Error	95% CI for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
t1_overall_result	m	35	.719	.136	.023	.672	.765	.486	.968
	f	26	.692	.122	.024	.643	.742	.454	.942
t2_overall_result	m	35	.813	.062	.010	.792	.834	.651	.904
	f	26	.790	.068	.013	.763	.817	.657	.899
t3_overall_result	m	35	.799	.115	.019	.760	.839	.502	.952
	f	26	.815	.102	.020	.774	.857	.487	.955

Tabelle 63: Deskriptive Statistik der Main Tests nach Geschlecht aufgeteilt.

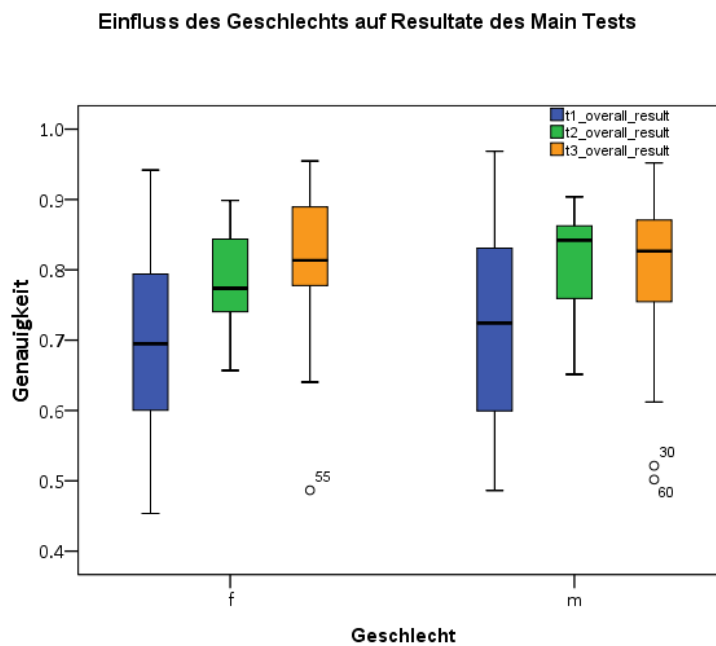


Abbildung 53: Boxplot der Resultate der Main Tests nach Geschlecht aufgeteilt.

**ANOVA**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
t1_overall_result	Between Groups	.011	1	.011	.628	.431
	Within Groups	.996	59	.017		
	Total	1.007	60			
t2_overall_result	Between Groups	.008	1	.008	1.930	.170
	Within Groups	.245	59	.004		
	Total	.253	60			
t3_overall_result	Between Groups	.004	1	.004	.325	.571
	Within Groups	.707	59	.012		
	Total	.711	60			

Tabelle 64: One-Way-ANOVA der Main Tests nach Geschlecht aufgeteilt.

### 5.6.2 Einfluss der Altersgruppe auf die Resultate des Main Tests

Zur Analyse, ob ein Einfluss der Altersklasse für die Genauigkeit der Antworten während des Main Tests bestand, zeigte eine *One-Way-ANOVA* keine Unterschiede zwischen den Altersklassen. Deren Resultate basieren auf den Werten der Tabelle 65 und sind in der Tabelle 66 dargestellt. Eine Visualisierung liegt in Abbildung 54 vor. Anhand der folgenden Resultate musste die  $H_0$ -Hypothese angenommen werden.

Hypothese 13: Das Alter hat einen nichtsignifikanten Einfluss auf die Interpretationsgenauigkeit von Auditory Displays.

**H<sub>0</sub>-Hypothese:** Die Mittelwerte zwischen den Altersgruppen sind unter dem Signifikanzniveau von  $\alpha=0.05$  gleich.

**H<sub>1</sub>-Hypothese:** Die Mittelwerte zwischen den Altersgruppen unterscheiden sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha=0.05$  signifikant voneinander.

**Resultat:** Ablehnung der H<sub>0</sub>-Hypothese.

**Fazit:** Es besteht kein Einfluss des Alters auf die Qualität der Interpretation des Auditory Displays.

#### Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% CI for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
t1_ovR	19-24	16	.714	.135	.034	.642	.786	.497	.913
	25-29	38	.693	.119	.019	.654	.732	.454	.942
	30-39	4	.761	.193	.097	.453	1.069	.592	.968
	40-more	3	.790	.167	.097	.374	1.206	.597	.888
t2_ovR	19-24	16	.811	.046	.011	.787	.835	.740	.873
	25-29	38	.805	.069	.011	.782	.827	.657	.904
	30-39	4	.801	.072	.036	.685	.916	.719	.862
	40-more	3	.748	.094	.054	.515	.981	.651	.839
t3_ovR	19-24	16	.821	.083	.021	.777	.865	.650	.943
	25-29	38	.809	.117	.019	.770	.847	.487	.955
	30-39	4	.830	.052	.026	.748	.912	.782	.900
	40-more	3	.664	.126	.072	.352	.976	.521	.758

Tabelle 65: Deskriptive Statistik der Main Tests nach Altersklassen aufgeteilt.



**Einfluss der Altersgruppe auf Resultate des Main Tests**

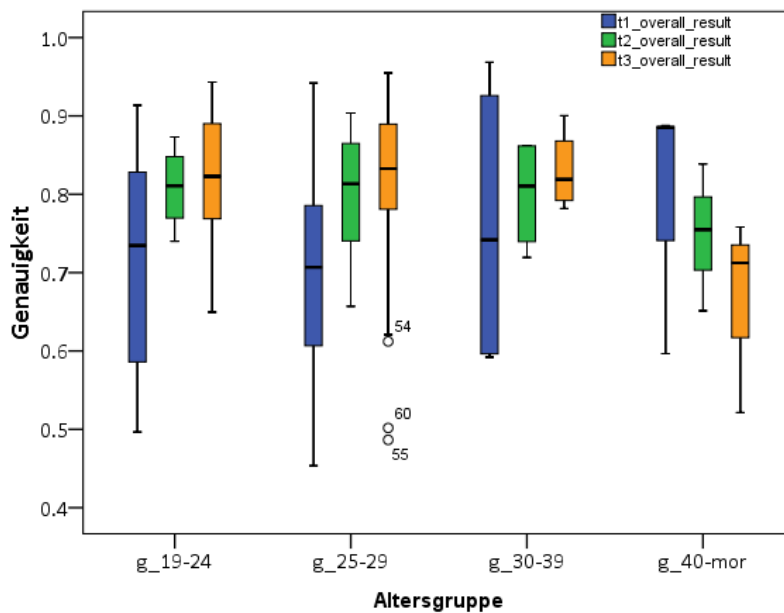


Abbildung 54: Boxplot der Resultate der Main Tests nach Altersklassen aufgeteilt.

**ANOVA**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
t1_overall_result Between Groups	.041	3	.014	.802	.498
t1_overall_result Within Groups	.966	57	.017		
t1_overall_result Total	1.007	60			
t2_overall_result Between Groups	.010	3	.003	.795	.502
t2_overall_result Within Groups	.243	57	.004		
t2_overall_result Total	.253	60			
t3_overall_result Between Groups	.067	3	.022	1.964	.130
t3_overall_result Within Groups	.644	57	.011		
t3_overall_result Total	.711	60			

Tabelle 66: One-Way-ANOVA der Main Tests nach Altersklassen aufgeteilt.

Eine Visualisierung der mittleren Genauigkeiten nach Altersklassen zeigt bei der Altersklasse ab 40 Jahren einen Abfall ab dem zweiten Main Test, während gerade diese Gruppe den ersten Main Test mit höheren Mittelwerten abschloss. Eine Diskrepanz von ca. 10% zwischen dem Resultat des ersten und denen der letzten beiden Tests herrschte hauptsächlich bei den Probanden unter 30 Jahren.

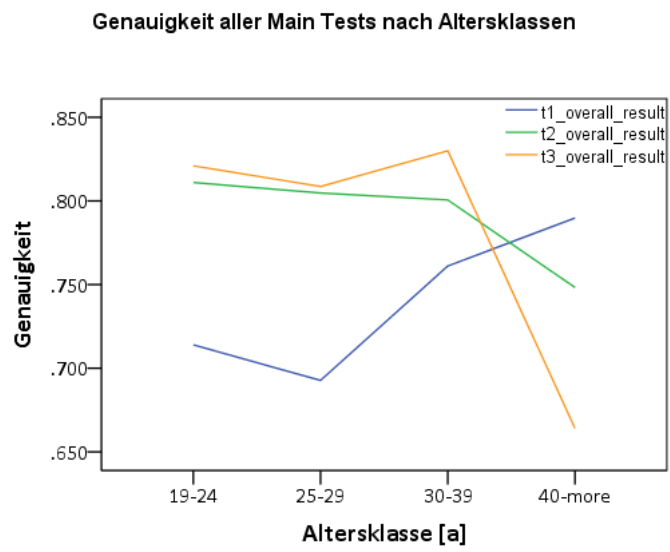


Abbildung 55: Liniendiagramm der Genauigkeiten aller Main Tests nach Altersklassen.

## 6 Diskussion

### 6.1 Technische Hürden

#### 6.1.1 Programmierumgebung

Die Verwendung von *Processing* und somit von *Java Sound* barg einige Probleme in sich. Als markanteste Eigenschaft war ein Klopfen zu vernehmen, welches den Ton abhängig von der gewählten Bildfrequenz unterbrach. Das auf *Java Sound* basierende Problem konnte bisher weder von deren Erstellern noch vom Entwickler der verwendeten Library behoben werden (Olsson 2011). Dieses Klopfen wurde nebst der merkbaren Latenzzeit von vielen Probanden beanstandet und erschwerte vor allem der Gruppe der *Methode A* die Interpretation der Höhenwerte, da die Frequenz des Klopfens die Dauer der Töne überlagerte und zu Rythmismisierungen führte. Deshalb wird davon ausgegangen, dass sich bei der Verwendung einer alternativen Programmierumgebung ohne störende akustische Nebeneffekte wie z. B. *OpenFrameworks* die Qualität der Resultate hinsichtlich der *Methode A* verbessern würde.

STÖRGERÄU-  
SCHE

Die Festlegung der Grunddauer auf 200 Millisekunden basierte auf der Tatsache, dass eine Buf-  
ferdauer unter ca. 160 Millisekunden von *Processing* nicht verarbeitet werden konnte. Er-  
wünscht wäre eine Grunddauer von ca. 50–80 Millisekunden gewesen. Hinzu kam, dass Werte  
knapp unter oder über 200 Millisekunden einen Teil der sonifizierten Töne mit dem Klopfen  
zusammenfallen liessen und somit der Wechsel zwischen Ton oder Stille aus dem Rhythmus  
geriet. Dieses Phänomen stellte sich während der Interaktion als weiteres Problem für die Me-  
thode A heraus.

GRUNDDAUER

Die Dauer eines Tons oder einer Lücke hätte jedoch auch über die sogenannte *subtraktive Syn-  
these* erreicht werden können, bei welcher sich zwei Wellen unterschiedlicher Frequenz über-  
lagern und sich je nach Phasenlage verstärken oder auslöschen. Dadurch wäre es möglich ge-  
wesen, einen *Tremolo*-Effekt zu erzeugen, welcher nicht über einen on-/off-Gate gesteuert  
werden musste und zudem höhere Schwingungsperioden bewirkt hätte.

#### 6.1.2 Stetigkeit der Daten

Da das stetige DHM der Komplexitätsstufe 2 auf einem 8-bit-Graustufenbild basierte, entstand  
beim Main Test 2 de facto kein stetiges, sondern ein diskretes Modell mit 256 Höhenstufen.  
Ausserdem lag in jedem Test ein Raster mit 1280 x 800 Pixel zu Grunde, was auch auf einem  
diskreten Aufbau beruht.

Da verglichen mit anderen Forschungsarbeiten im Synthesebereich der GIScience und der Sonifikation (siehe Kapitel 3.5 «Sonifikation in der GIScience») keine kategoriale Daten verwendet wurden und in jeder Dimension die Anzahl an tatsächlichen Möglichkeiten die Auflösung des Menschen übersteigt, sollte dieser Punkt nach Meinung des Autors als unproblematisch betrachtet werden.

### 6.1.3 Tongenerierungsprinzip

MIDI

Im Vergleich zu Zhaos Dissertation (Zhao 2006, S.118, 120), welche die *MIDI Sound Technology* verwendete, wurden in der vorliegenden Arbeit Töne anhand basaler akustischer Parameter gebildet (siehe Kapitel 3.2.2 «Grundbegriffe der Akustik»). Die Implementierung von MIDI-Noten hätte durch die Klangfarbenvielfalt weitere Möglichkeiten zur Unterscheidung diskreter Werte geboten. Auch hätte deren Verwendung auch den Vorteil der Signalweiterverarbeitung und der Aufzeichnung in ein standardisiertes Format mit sich gebracht.

Da in MIDI eine quasi-stetige Darstellung von Daten nur über die Multiplikation zweier 7-bit-Kanäle möglich ist und sich somit  $2^7 \cdot 2^7 = 2^{14} = 16384$  Abstufungen ergeben (Hoeldke 2001, S.6), hätte diese Auflösung nicht gereicht, die potentielle Auflösung des DHM25 von  $(4216.3 [m] - 226.5 [m]) \cdot 10 [dm] = 39898$  Stufen darzustellen. Umgekehrt wäre eine Verkettung dreier 7-bit-Kanäle mit über zwei Millionen Möglichkeiten zu fein aufgelöst gewesen und hätte aufgrund der Datenflut die Berechnungszeit erhöht (Hoeldke 2001, S.6). Da gemäss den Resultaten des Kapitels 5.2.2 «Analyse der absoluten Höhenermittlung» die höchste Präzision im Dekameterbereich lag, hätte eine 14-bit-Auflösung jedoch genügt.

MIDI wurde letztlich nicht verwendet, da das basale akustische Modell den Anforderungen des Konzeptes genügte und die technische Implementierung ein detailliertes Verständnis in diesem Bereich vorausgesetzt hätte. Aufgrund der Vorteile von MIDI bezüglich Interoperabilität und Flexibilität befürwortet der Autor jedoch die Verwendung von MIDI für die Darstellung von Geodaten.

### 6.1.4 Akustische Anpassungen

Ebenfalls nicht berücksichtigt wurde die Lautstärkeanpassung durch die Isophonenkurve («A-Bewertung» oder «frequency-dependent amplitude compensation»; siehe Kapitel 3.2.2.1 «Amplitude»). Dies hätte vor allem im Bereich von der Grundfrequenz 440 Hz bis ca. 600 Hz zu einem Anstieg und somit zu einer Äquilibrierung des Schalldrucks an die empfundene Lautheit geführt. Diese Schalldruckpegelschwankungen waren abhängig von der durch die Probanden

gewählten Lautstärke, was aber als irrelevant betrachtet werden konnte, da die Lautheitsschwankungen im beliebten Bereich von 50 bis 60 dB [SPL] generell als minim gelten (siehe Abbildung 5).

Grond und Bergers Empfehlung, die Anpassung des Frequenzspektrums den Probanden zu überlassen, wurde aus Gründen der einheitlichen Testdurchführung verworfen, obwohl eine Anpassung gerade bei der Exploration förderlich gewesen wäre (Grond & Berger 2011, S.374).

### 6.1.5 Eingabemedium

Wie bereits im Kapitel 4.3.2 «Verwendete Apparate» erwähnt, erachtete der Autor die Touch-Eingabe aufgrund rezenter Forschungsarbeiten (Zhao 2006; Delogu u. a. 2010; Laakso & Sarjakoski 2010) als intuitiv, da sie durch ihre spürbare Handlung einen direkten Einfluss auf die Sonifikation ausübte. Es war daher zu erwarten, dass die Stifteingabe als nicht-intuitiv aufgefasst würde, was jedoch von keiner Versuchsperson bemängelt wurde. Möglicherweise lag dies daran, dass der Umgang mit dem Tablet im Pre-Test 1 durch Unterstützung des Sehsinns erlernt und das Sicherheitsgefühl durch die Eichung zwischen den gedanklichen Vorhaben mit den tatsächlichen Bewegungen erhöht wurde.

Es stellt sich jedoch die Frage, welcher Unterschied unter der Verwendung eines grösseren Tablets mit mehr Funktionstasten oder eines Touchpads erzielt werden könnte. Auch sollten bei zukünftigen Forschungen mit 3D-Modellen alternative Eingabemedien in Betracht gezogen werden, welche eine immersive Einbettung in die virtuelle Realität erlauben. Während nach der Ansicht des Autors ein Tablet für die Navigation durch ein 2.5D-Modell aufgrund des Modell-aufbaus eine geeignete Lösung darstellt, hindert es durch die zweidimensionale Konstruktion möglicherweise eine immersive Navigation durch einen 3D-Raum.

Bedingt durch das Tablet als Eingabemedium und dem Konzept der punktuellen Abfrage an der Cursorposition erwies sich eine ganzheitliche Auffassung des Reliefs als schwierig. Häufig vergassen Probanden die Informationen, die sie soeben erfasst hatten. Um diesen Missstand zu vermeiden, müssten zukünftig neue Mechanismen erforscht werden, welche beispielsweise eine Rückführung zu einem bestimmten Point of Interest erlauben, indem die Lautstärke zunimmt, je mehr sich der Cursor dem Ziel nähert. Auch hilfreich könnte ein Scanmuster sein, welches nicht punktuell auf einer Linie, sondern linear auf einer Fläche verläuft. Die dabei entstandenen Töne könnten innerhalb einer Bewegung Aufschluss über das gesamte zu Grund liegende Methode geben.

## 6.2 Operationalisierung der Variablen und Objektivität der Testmethoden

### 6.2.1 Technischer Hintergrund

Da das Ergebnis des technischen Pre-Tests nur in einem Main Test eine signifikante Korrelation aufwies, stellte sich die Frage nach der Güte deren Operationalisierung. In diesem Fall richtete sich der Pre-Test stark auf Kenntnisse über Steuerungen interaktiver Prozesse, sei es über eine Tastatur, über ein Tablet oder über ein Gamepad. Vielleicht hätte eine Aufgabe, bei welcher die Steuerung über ein Tablet an Klänge gekoppelt gewesen wäre, mehr Aufschluss über den technischen Hintergrund gegeben.

### 6.2.2 Musikalischer Hintergrund

Beim musikalischen Pre-Test wurde die Fragen nach der Unterscheidung zwischen Sinus- und Eckwellen mit einem sehr hohen Durchschnitt beantwortet (93%), während die Fragen nach der Erkennung der Intervalle einen sehr tiefen Mittelwert (17%) erzielten. Beide folgten keiner Normalverteilung. Im ersten Fall kann davon ausgegangen werden, dass der Einbezug beider Wellentypen eine wirksame und zuverlässige Unterscheidung zwischen zwei Polen darstellte, welche während den Probanden während den Main Tests zugute kamen. Im zweiten Fall erforderten die Fragen fundierte Kenntnisse in Musiktheorie, weshalb nur ein Bruchteil aller Probanden diese überhaupt beantworten konnten. Obwohl der Rhythmus nur bei der Methode A zur Anwendung kam, trug das Verständnis darüber zur Operationalisierung des allgemeinen musikalischen Hintergrunds bei.

Inwieweit Kenntnisse über die Intervalle wirklich von Belang waren, wurde durch die Beobachtungen während der Experimente ersichtlich: Probanden, die Kenntnisse über das westliche Intervallsystem aufwiesen, versuchten sich bei den Schätzungen vermehrt durch Summen oder Singen an bekannten Intervallen zu orientieren. Die Gefahr dabei bestand darin, dass nur Bezug auf die bekannten zwölf Halbtonschritte genommen und feinere Einteilungen ausgelassen wurden, während sich Probanden ohne Intervallkenntnisse eher nach ihrem Gefühl richteten.

Nach Ansicht des Autors deckte der operationalisierte musikalische Hintergrund alle Bereiche ab, welche explizit bei der Interpretation des Auditory Displays erfordert wurden und bezog zudem einen Teil des allgemeinen Musikverständnisses ein. Problematisch daran war bei drei Fragen die Fokussierung auf das westliche Tonsystem, da eigentlich eine stufenlose Interpretation des Auditory Displays angestrebt wurde.

### 6.2.3 Geographischer Hintergrund

Da die Resultate des geographischen Pre-Tests grundsätzlich höher ausgefallen sind als diejenigen der anderen beiden Pre-Tests liegt die Vermutung nahe, dass die Fragen teilweise zu trivial gestellt waren. Auch wäre es geschickter gewesen, mehr Fragen über das räumliche Verständnis in Form eines Multiple-Choice-Tests zu stellen, da auf diese Weise keine nonverbale Kommunikation zwischen Versuchsleiter und Testperson stattgefunden hätte und der Test somit objektiver ausgefallen wäre.

### 6.2.4 Genauigkeit

Die Genauigkeit wurde wie im Kapitel 4.1.4 «Operationalisierung der Variablen (generell)» beschrieben, mathematisch operationalisiert und in drei Relationen aufgeteilt. Während nur im Main Test 2 die Genauigkeit aller drei Relationen gemessen wurde, beschränkte sich in den anderen beiden Main Tests die Erfassung der Genauigkeit auf bestimmte Teilaspekte. Nach der Meinung des Autors hätte vor allem der dritte Main Test mehr Tasks umfassen sollen, bei welchen – ähnlich dem Main Test 2 – es das Ziel gewesen wäre, vorgegebene Ziele zu finden.

Wie im Fazit auf der Seite 131 genannt, lagen die durchschnittlichen Abweichungen der relativen Schätzungen gegenüber den sonifizierten Werten je nach Methode zwischen 11 und 17%. Bei der absoluten Höhenschätzung wurde sogar eine minimale Abweichung von 1.25% bei einem Mittelwert zwischen 6% (Methoden B/C) und 20% (Methode A) erzielt, welche jedoch mit Zurückhaltung interpretiert werden sollte, da sie aufgrund einer Einzelmessung einen einmaligen Zufallswert abbildete. In zukünftigen Untersuchungen könnte daher in between-subject-Tests mit gleich bleibenden Methoden der Fokus verstärkt auf einen potentiellen Unterschied zwischen den Angaben in einer absoluten und einer relativen Skala gelegt werden.

Insgesamt zeichnete sich ab, dass die Methoden B/C höhere Resultate in Bezug auf die Interpretation der Auditory Displays lieferten, wobei die Resultate der Methode C signifikant höher als die Resultate der Methode A waren. Möglicherweise lag dieser Punkt an der hohen Kopplung der Klangvariablen an die intuitive Wahrnehmung der Methoden B/C. Jedoch zeigten die Resultate der Tests auf Varianzinhomogenität (siehe S.133 und 141), dass in wenigen Fällen gegen Prämissen der ANOVA verstossen wurde und die Resultate beim Vergleich der Methoden A, B und C mit Zurückhaltung zu interpretieren sind.

Die tiefen *korrigierten Bestimmtheitsmasse*  $\bar{R}^2$  der Regressionsanalyse (siehe Kapitel 5.5.2 «Regressionsanalyse») zeigten, dass die Stärke des Einflusses der Pre-Test-Resultate auf die Interpretationsgenauigkeiten der Main Tests tendenziell schwach ausgefallen war. Dieses Er-

gebnis spricht dafür, dass nicht der Hintergrund in der modellierten Form, sondern das Training oder nicht modellierte Variablen ausschlaggebend für die Güte der Interpretation waren.

### **6.2.5 Empirisch festgelegte Toleranzwerte und Gewichtungen**

Empirische Korrekturfaktoren wurden vor allem zur Berechnung von Indizes für den technischen Pre-Test verwendet. Dabei wurde das beste Resultat durch Quervergleiche ermittelt und als Referenz für die Resultate aller anderen Probanden verwendet. Zudem wurden Korrekturfaktoren zur Berechnung von Indices aus mehreren Werten eingesetzt, um die Werte auf eine Skala von null bis eins möglichst aussagekräftig zu streuen.

In den Main Tests 1 und 2 wurden Toleranzwerte angewandt, um ein Mass für die Abweichung zu einem Zielpunkt innerhalb eines tolerierbaren Rahmens geben zu können. Diese Werte betragen ungefähr das Eineinhalbfache des Durchmessers des jeweiligen Objekts. Im Pre-Test 3 und im Main Test 2 wurden Gewichtungen vorgenommen, um wesentliche Aspekte einer Antwort hervorzuheben.

Der Autor war sich bewusst, dass bestimmte Indices durch diesen Akt an Objektivität einzubüssen hatten, begründet dies jedoch mit dem Vorhaben, möglichst alle Werte in standardisierter Form vergleichen zu können. Zudem wurde auf einen reflektieren Umgang mit den betroffenen Indices Wert gelegt.

## **6.3 Menschliche Grenzen**

### **6.3.1 Einschränkung der Datenexploration durch Top-Down-Suchmuster**

SUCHMUSTER

Zhao (Zhao 2006, S.60) nannte fünf unterschiedliche Suchmuster, welche auch während den Versuchen vom Versuchsleiter teilweise wahrgenommen, nicht aber systematisch erfasst wurden. Nebst vertikalen, horizontalen, diagonalen und clusterförmigen Suchmustern existierte auch die Strategie, kein systematisches Suchmuster anzuwenden. Häufig wurde mit einem linienförmigen Suchmuster am linken Rand begonnen, ehe mit einem clusterförmigen Muster fortgesetzt wurde.

Tendenziell konnte festgestellt werden, dass insbesondere beim zweiten Main Test kleine Strukturen zwar wahrgenommen, aber häufig als irrelevant betrachtet und ignoriert wurden. Auf die anschliessende Frage, weshalb trotz mehrmaligen Mouseovering die Versuchsperson keine Lösung abgab, folgte häufig die Antwort, dass entweder nach grösseren oder nach ande-



ren Strukturen gesucht wurde. Somit zeigte sich, dass eine Top-Down-Suchstrategie hinderlich sein konnte, beim zufälligen Überfahren eines Objektes dessen Inhalt zu verkennen.

Für zukünftige Forschungen wäre es daher angebracht, vermehrt Resultate der Bottom-up-Suche zu analysieren, was durch einen Auftrag ohne klares Ziel erreicht werden kann. Der Autor erhofft sich damit, herauszufinden, wie hoch der Detaillierungsgrad bei der Modellverinnerlichung und –interpretation liegt.

### **6.3.2 Alterseinfluss beim Verständnis über Sonifikation**

Obwohl das Resultat des Kapitels 5.6.2 «Einfluss der Altersgruppe auf die Resultate des Main Tests» keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen ergab, ist auf der Abbildung 55 trotzdem ein interessanter Trend ersichtlich. Während sich bei den Probanden unter 40 Jahren im Laufe der Main Tests die Genauigkeit erhöhte, wies die Gruppe 40-more einen umgekehrten Trend auf, wobei die Genauigkeit im Laufe der Tests abnahm.

Wo bei den Probanden unter 40 Jahren anscheinend ein Lerneffekt stattgefunden hat, lässt sich der Abfall bei der Gruppe ab 40 Jahren damit erklären, dass diese Gruppe eher dazu tendierte, die beim Main Test 1 gestellten Aufgaben gründlich zu lösen und dafür viel Zeit aufzuwenden. Vermutlich sank aus diesem Grund im Laufe der rund 90 Minuten Testdauer die Konzentrationsfähigkeit der Probanden und somit auch die Genauigkeit der Antworten. Um diese Vermutung zu bestätigen, bedarf es jedoch noch weiterer Tests und ebenfalls einer grösseren Ausgewogenheit der Anzahl Teilnehmer pro Altersstufe. Eine andere Lösung besteht darin, zu Beginn der Testeinheit einen Konzentrationstest durchzuführen, um zu ermitteln, ob der Probanden fähig ist, einen Test dieser Dauer durchzustehen.

### **6.3.3 Einfluss des Geschlechts**

Wie im Kapitel 5.6.1 «Einfluss des Geschlechts auf die Resultate des Main Tests» beschrieben, herrschte bezüglich der Interpretationsgenauigkeiten kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Dies kann wie in der Kausalität 11 beschrieben auf einen geschlechterunabhängigen Zugang zu technischen Geräten und der Bildung darüber zurückzuführen sein.

### **6.3.4 Einfluss des Sehvermögens**

Im Gegensatz zu Forschungen mit sehbehinderten Menschen (Heuten u. a. 2006; Zhao 2006; Delogu u. a. 2010; Laakso & Sarjakoski 2010) wurden in der vorliegenden Studie nur Probanden mit schwachen und korrigierbaren Sehbeeinträchtigungen eingesetzt. Da Sehbehinderte im

Gegensatz zu Normalsehenden eine unterschiedliche akustische und haptische Wahrnehmung aufweisen, können die Forschungsergebnisse nicht direkt auf sehbehinderte Menschen übertragen werden.

Hinzu kommt, dass beispielsweise mit iSonic (Zhao 2006, S.158–166) spezielle Werkzeuge für Blinde entwickelt wurden, welche die Navigation und das Verständnis vereinfachen. Dazu gehörten das Vornehmen von Einstellungen nach Bedarf, das Abrufen von Zusatzinformationen und eine Differenzierung des LOD auf Knopfdruck. MacVeigh und Jacobson (MacVeigh & Jacobson 2007, S.532) entwickelten eine Möglichkeit, nicht nur Informationen des jeweiligen, sondern auch der umliegenden Pixel darstellen zu lassen. Zieht man diese Punkte in Betracht, welche in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt wurden, müssten weitere Untersuchungen explizit mit sehbehinderten Menschen vorgenommen werden, um zu ergründen, ob sich eine vergleichsweise basale Navigation auch tatsächlich erfolgreich in deren Alltag integrieren liesse.

Auch Heuten (Heuten u. a. 2006, S.158–159) und Zhao (Zhao 2006, S.40) erwähnten, dass der Einsatz eines Touchpads oder Tablets mit einem absoluten Stiftmodus eine wichtige Voraussetzung darstellt, ein hohes Resultat bei der Interpretation des Auditory Displays zu erzielen. Aufgrund der Beobachtungen während der Tests zeigte sich, dass ein spürbarer Rand bei der Orientierung hilfreich war.

Auditory Displays vermögen nicht nur sehbehinderten, sondern auch normalsehenden Menschen Vorteile in der Wahrnehmung geographischer Daten zu liefern (Zhao 2006, S.45). Diese Aussage wurde aufgrund der Restriktion, dass alle Probanden die Tests mit verbundenen Augen absolvieren mussten, nicht systematisch erforscht. Da die meisten Probanden jedoch nach den Tests das Auditory Display durch die Unterstützung des Sehsinns erforschen wollten, ergaben Beobachtungen, dass Extrempunkte durch beide Sinneswahrnehmungen genauer getroffen und einfacher gefunden wurden. Der Grund dafür könnte darin liegen, dass Unterschiede zweier benachbarter Werte im visualisierten Graustufenmodell schwer erfassbar sind, wohingegen das akustische Auflösungsvermögen deutlich höher liegt. Somit kann davon ausgegangen werden, dass Auditory Displays auch die Interpretationsfähigkeit normalsehender Menschen unterstützen.

## 6.4 Sonifikation in der GIScience

### 6.4.1 Einfluss des Masstabs, des Extents und der Auflösung

Der Masstab und die Grösse des Kartenausschnittes (= Extent) wurden primär durch die vorhandenen Daten als auch durch die Bildschirmauflösung bestimmt. Sie stellten zentrale Aspekte der Dateninterpretation dar, da durch sie unter anderem der LOD und somit die Komplexität der Hörwahrnehmung beeinflusst wurde. Je mehr Details vorhanden waren, desto schwieriger war es für einen Probanden, sich an Strukturen zu orientieren und Objekte zu erkennen.

MASSTAB

EXTENT

AUFLÖSUNG

Da die Genauigkeit der absoluten Höhenschätzungen abhängig von der Spanne zwischen dem minimalen und dem maximalen Höhenwert ist, wurden zu Vergleichszwecken die relativen Abweichungen beigezogen. In den Main Tests 2 und 3 waren die Mittelwerte der relativen Abweichungen ungefähr gleich hoch, obwohl ein Teil der Probanden den Main Test 3 schwieriger als den Main Test 2 empfand. Dies aus dem Grund, da stetige Verläufe erstens in viel kleineren Masstäben abgebildet waren, zweitens unterschiedliche Gradienten aufwiesen und drittens von Diskontinuitäten wie z. B. Seen oder Flüsse durchzogen wurden.

Ein anderer Teil der Probanden sagte aus, aufgrund der erlernten Technik den Main Test 3 im Gegensatz zum Main Test 2 vergleichsweise einfach bewerkstelligt zu haben. Die ähnlich hohen Mittelwerte sprechen trotz des hohen LOD für einen solchen Effekt. Dies zeigte, dass technische Komplexität (= Erhöhung des LOD) nicht unbedingt an eine höhere Wahrnehmungskomplexität gebunden sein muss und somit beide Resultate eine ähnliche Aussagekraft in Bezug auf die Darstellung stetiger Daten besitzen – der Main Test 2 bei einem grossen Masstab und niedrigen LOD und der Main Test 3 bei einem kleinen Masstab und hohen LOD.

LOD

Trotz des hohen LOD im Main Test 3 wurden 74% der Ziele (Berg, Tal, See) korrekt getroffen (siehe Tabelle 28). Der hohe Anteil korrekt erkannter Einheiten der Methode C deutet darauf hin, dass sie sich mit Vorteil auf ein geographisches Modell mit einem hohen LOD anwenden lässt, sofern eine qualitative Zuordnungsgenauigkeit gemessen wird. Diese Werte sagen jedoch wenig darüber aus, wie detailliert das DHM verinnerlicht wurde.

Der Autor vermutet, dass bei der Methode A die verstreichende Zeit und die geringere Auflösung der Dauer während einer Messung ein Problem bei der Interpretation darstellt, welches die Probanden vor hohen Resultaten abhält. Die hohe Interpretationsfähigkeit bei der Methode C lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass Seen über den Profilzeichner eindeutiger ermittelt werden konnten, da sich über diesen Flächen die Tonhöhe nicht veränderte.

DAUER PRO-  
BLEMATISCH

Auch konnte der Aspekt kritisiert werden, für die Ausdehnung in x- und y-Richtung nicht dieselbe Anzahl Pixel verwendet zu haben. Gerade bei der Methode A, in welcher für beide Achsen dasselbe Frequenzspektrum eingesetzt wurde, lag der Gradient, mit welcher sich die Frequenzen zweier benachbarter Pixel unterschieden, in y-Richtung höher als in x-Richtung. Eine Lösung wäre ein quadratischer Bildausschnitt gewesen, welcher jedoch seitens des Autors abgelehnt wurde, da ein potentieller Unterschied zwischen den Gradienten als irrelevant galt.

#### **6.4.2 Einblenden zusätzlicher Informationen**

Da Kartenrandangaben einen grundlegenden Beitrag zum Verständnis einer Karte leisten, sollten sie auch in Auditory Displays verstärkt eingesetzt werden. Da in der vorliegenden Arbeit stetige Daten verwendet wurden, waren die Extremwerte jeder Dimension stets abrufbar. Alternativ wäre denkbar, zusätzlich zu Extremwerten auch kategoriale Mittelwerte darzustellen. Überdies könnten Zusatzinformationen in Form von Sprache wiedergegeben werden, indem in Processing beispielsweise die Library **riTa**, welche Text in Sprache umwandelt.

#### **6.4.3 Kritik zu Krygiers Veröffentlichung (Krygier 1994)**

Aufgrund der im Kapitel 6.2.4 «Genauigkeit» genannten Resultate ist es durch die entwickelten Methoden entgegen Krygiers Ansicht möglich, stetige Daten zu interpretieren, sofern je nach Methode Abweichungen von 6% bis 17% in Kauf genommen werden. Es wird angenommen, dass bei erhöhtem Training die Unsicherheiten weiter sinken würden.

Verglichen mit Krygiers Publikation 1994 liegt das vorherrschende Paradigma der Auditory Displays nicht bei Auditory Icons oder Earcons, welche damals zudem aufgrund fehlender Taxonomien als gleich eingestuft wurden, sondern bei der MBS (siehe Abbildung 12). Es wird heute daher durch die Sonifikationstechnologie eine Möglichkeit zur Darstellung stetiger Daten gegeben, wohingegen 1994 noch technologisch bedingt stark auf Nominal- und Ordinalskalierung fokussiert wurde. Es wäre aber spekulativ zu behaupten, dass Krygier nicht an eine wirkungsvolle Perzeption stetig wiedergegebener Daten geglaubt hätte, da keine Aufzeichnungen vorliegen, die diese These bestätigen könnten. Hinweise darauf lassen sich jedoch in zwei Punkten finden:

- a) Krygier nannte als Beispiele für ein multidimensionales Auditory Display mehrere Varianten von *Compound Earcons* (Krygier 1994, S.158), welche durch ihre Zusammensetzung nur diskrete Werte zu repräsentieren vermochten. Obwohl in den Fussnoten erwähnt, wurde im gesamten Text kein Hinweis auf Stetigkeit der Daten genannt. Dieser Punkt kann jedoch durch das damals vorherrschende Paradigma relativiert werden.
- b) Das potentielle Problem der klanglichen Überlastung wurde in zwei unterschiedlichen Abschnitten erwähnt (Krygier 1994, S.159), bevor Krygier zur Reflexion über den Zweck der Kartografie aufforderte, «Ruhe zu vermitteln und Chaos zu vermeiden» (Krygier 1994, S.161). Hier könnte spekuliert werden, ob nach Krygiers Auffassung stetige Daten eine Überlastung der Wahrnehmung verursacht hätten und dem Zweck der Kartografie widersprachen und daher nicht weiter auf stetige Daten eingegangen wurde.

Ebenfalls kann an Krygiers Publikation kritisiert werden, dass viele Fragen, welche den Einsatz von Sonifikation in der GIScience als Ersatz für gedruckte Karten erklärt bzw. begründet hätte, sehr grundsätzlich gestellt wurden. Auch war von der Kombination taktiler Karten mit akustischer Unterstützung die Rede, wobei 1994 noch nicht gewusst werden konnte, dass sich ein Trend zu digitalen Karten abgezeichnet hat und demnach Lösungen für sehbehinderte Menschen vor allem im digitalen Segment von portable-GPS-Geräten zu suchen sind.

#### 6.4.4 Die Suche nach optimalen Sonifikationsmethoden in der GIScience

Die Resultate des Kapitels 5.3.2 «Between-Subject-Test» zeigten, dass sich die Methoden B/C signifikant von der Methode A unterscheiden. Als Resultat des Kapitels 5.4 «Resultate zur Forschungsleitfrage c)» stellt sich heraus, dass der Einsatz eines Profilzeichners zwar unterstützend wirkt, sich jedoch nicht signifikant zur Version ohne Profilzeichner unterscheidet. Demnach kann festgehalten werden, dass eine intuitiv wahrnehmbare Aufteilung der Sonifikationsparameter förderlich wirkt, in welcher sich der Nutzer eingebettet fühlt.

Stellt das zu Grunde liegende Modell ein Höhenmodell dar, so ist die geographische Höhe über die Tonhöhe intuitiv wahrnehmbar. Die Navigation in der x-/y-Ebene durch die Balance zwischen Spannungsfeldern zweier entgegengesetzter musikalischer Variablen (siehe S. 110) ist eine mögliche Option, welche vor allem in der Unterscheidung zwischen links und rechts intuitiv wirkt. Vorbildlich wäre jedoch eine ganzheitliche Einbettung in einen virtuellen Raum, in welchem es möglich ist, eine Schallquelle über *head-related transfer functions* zu lokalisieren, ähnlich der Methode, die von Heuten u. a. (Heuten u. a. 2006) angewandt wurde.

## INFORMATION

Die Suche nach einer optimalen Sonifikationsmethode für die GIScience widerspricht der Idee, Sonifikation möglichst vielfältig einzusetzen. Gerade die PMS lässt durch ihr Konzept eine breite Vielfalt an Parametrisierungen zu, wobei auch ein Einsatz von mehr als zwei stetigen Klangvariablen denkbar wäre, was Gegenstand zukünftiger Forschungen sein könnte. Das Ziel in der GIScience sollte es sein, für jede spezifische Aufgabenstellung die bestmögliche Sonifikationslösung zu suchen und dabei möglichst *informative*, *interaktive* und *intuitive* Methoden anzuwenden.

## INTERAKTION

## DYNAMIK

Eine Forschungslücke, die es in der GIScience zukünftig zu füllen gilt, betrifft der Einsatz von Sonifikation in dynamischen Karten, da in rezenten Forschungen praktisch immer von statischen Karten ausgegangen wurde. Gerade die Sonifikation könnte durch ihre multidimensionalität wesentlich zur Umsetzung dynamischer Konzepte beitragen. Mit Vorteil sollen dabei Aspekte der Akustik und des binauralen Hörens genutzt werden, welche das Sehen entlasten oder eine höhere Auflösung als der Sehsinn aufweisen.

## 7 Schlussfolgerungen

Sonifikation in der GIScience weist ein hohes Potenzial zur Weiterentwicklung auf, zumal anhand der Ergebnisse dieser Studie davon ausgegangen werden kann, dass Menschen stetige Höhenmodelle nicht signifikant schlechter wahrnehmen als kategoriale Werte. Werden intuitiv wahrnehmbare Sonifikationsmethoden angewandt, kann die akustische Perzeption bei der Interpretation des Höhenmodells unterstützend wirken.

Die Anwendung der entwickelten Methoden muss sich dabei nicht auf digitale Höhenmodelle beschränken. Auch ist es anhand der gewonnen Erkenntnisse denkbar, durch Parameter Mapping Sonification Karten mit stetigen Werten beliebiger Dimensionen und Gebiete darzustellen. Da die Genauigkeit der Interpretation jedoch abhängig von der Auflösung ist, stellt sich die Frage nach einem geeigneten Generalisierungsgrad bzw. einem *Level of Detail*, mit welchem ein Auditory Display wahrgenommen werden kann.

Da Hintergrundwissen zwar einen Einfluss auf die Genauigkeit der Interpretation hat, aber nicht massgebend wirkt, müssen die eingesetzten Methoden *intuitiv* erlernbar sein. Damit Menschen – gleichgültig ob sehbeeinträchtigt oder normalsehend – Sonifikation nutzen, soll das Auditory Display zudem *immersiv*, *interaktiv* und *informativ* sein. Die vorliegende Arbeit bietet vor allem im Bereich der Sonifikation und Interpretation stetiger Daten neue Lösungsansätze und Erkenntnisse an, wie in der GIScience auf akustische Weise Geodaten erfolgreich dargestellt werden können.

Bereiche zukünftiger Forschungen könnten stärker auf *Model-Based Sonification* fokussieren und der Frage nachgehen, wie Daten in virtuellen 3D-Räumen akustisch darzustellen sind und wie darin zu navigieren ist. Zukunftsweisend sind nach der Meinung des Autors Ortungskonzepte, welche die Vorteile des binauralen Hörens nutzen. Zudem kann der Frage nachgegangen werden, wie dynamische Karten unter dem Einbezug von mehr als drei Dimensionen darzustellen wären. In einem Kunstdiskurs schliesslich könnte versucht werden, bestehende Richtlinien und Konventionen von einem neuartigen Zugang zu beleuchten, um somit innovative Möglichkeiten der wissenschaftlichen Darstellung von Daten zu schaffen.

«IDEEN VON HEUTE KÖNNEN MORGEN SCHON WAHR SEIN . WOZU BARRIEREN BILDEN, WENN WIR HEUTE SCHON IM MORGEN LEBEN?» (JORAM SCHITO, 2012)

## 8 Danksagung

Erstens möchte ich meinen Dank Prof. Dr. Sara I. Fabrikant für die Betreuung während der ganzen Masterarbeit anbringen. Durch Sie wurde mein Interesse für die GIScience geweckt und meine Kenntnisse in der Geovisualisierung dank der Zeit als Semesterassistent in ihren Kursen vertieft.

Einen herzlichen Dank gilt auch meinen Co-Betreuern Prof. Dr. Florian Dombois und Dr. Andi Schoon, die mir bei fachlichen Fragen zur Sonifikation stets beigestanden haben sowie auch Dr. Arzu Çöltekin für das konstruktive Feedback. Obwohl die Idee, Musik und GIScience zu verbinden, schon während meines Bachelorstudiums entsprang, reifte ein konkretes Konzept erst durch eine Vorlesung von Prof. Dr. Sebastian Klotz über Sonifikation heran. Für die Inspiration und die Vermittlung des fundierten Wissens möchte ich mich bei ihm herzlich bedanken.

Fachlich beigestanden haben mir auch Dr. André Skupin, Oliver Brodewolf, Kitty Currier, Markus Hochuli, Krister Olsson und David Oswald. Ihnen gebührt durch die hohe Hilfsbereitschaft als auch dank der breiten Inspirationen mein herzlicher Dank. Für spezifische Fragen zur Statistik möchte ich meinen Dank an Dr. Daniel R. Montello, André Bruggmann und Rebekka Schibli richten, die mir wertvolle Tipps zur Bewerkestellung nicht-alltäglicher mathematischer Fragen gaben.

Für die offene, vorbildliche Wissensvermittlung über bestehende Arbeiten in der Sonifikation möchte ich mich herzlich beim Vorstand und bei den Autoren des ICAD bedanken. Schnell wurde klar, dass dadurch Sonifikation als Wissenschaft vorangetrieben werden möchte. Einen Beitrag zur Unterstützung der Wissenschaft hat auch die Bischofberger Optik AG durch die Herstellung einer lichtundurchlässigen Brille geleistet, wofür ebenfalls mein Dank gilt.

Mein ausserordentlicher Dank richtet sich an alle Probanden, die sich freiwillig dazu bewegt haben, Zeit und Interesse für die Studie aufzubringen. Ohne Sie und vor allem ohne ihre Durchhaltekraft während den piepsigen Tests wäre eine Evaluation nie zustande gekommen. Sie waren es auch, die mich durch ihren Enthusiasmus und ihre Kritik motiviert haben, in diesem Bereich weiterzumachen und zukünftig Wert auf noch mehr Details zu legen.

Schliesslich möchte ich meinen Dank meinen Freunden, meiner Familie und insbesondere meiner wundervollen Partnerin aussprechen, die mich während der ganzen Zeit unterstützt, an mich geglaubt und mich motiviert haben, mit dieser Arbeit eine Idee zu einer Grossartigkeit zu verwirklichen.



## 9 Literatur

- Adams, N.H. & Wakefield, G.H., 2008. State-space synthesis of virtual auditory space. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, 16(5), S.881–890.
- Alencar de Mendonça, A.L. & Delazari, L.S., 2011. What do People prefer and What is more effective for Maps: a Decision making Test. In A. Ruas, hrsg. *Advances in cartography and GIScience: selection from ICC 2011*, Paris. Berlin: Springer, S. 163–182.
- Amon, R., 2005. *Lexikon der Harmonielehre*, Wien: Doblinger.
- Axen, U. & Choi, I., 1996. Investigating geometric data with sound.
- Ballas, J., 1994. Effect of event variations and sound duration on identification of everyday sound.
- Baumann, M.P., 1993. Vom Hören, was man weiss und vom Wissen, das man hört... *Paragrana*, 2(2), S.126-140.
- Bearman, N. & Lovett, A., 2010. Using Sound to Represent Positional Accuracy of Address Locations. *The Cartographic Journal*, 47(4), S.308–314.
- Berendt, J.E., 1985. *The Third Ear: On Listening to the World*, New York: Henry Holt.
- Bertin, J., 1983. *Semiology of graphics: diagrams, networks, maps*, Madison: University of Wisconsin Press.
- Bláha, J.D., 2011. Aesthetic Aspects of Early Maps. In A. Ruas, hrsg. *Advances in cartography and GIScience: selection from ICC 2011*, Paris. Berlin: Springer, S. 53–71.
- Blake, R. & Sekuler, R., 2005. *Perception 5. Aufl.*, New York: McGraw-Hill Higher Education.
- Bly, S., 1982. *Sound and computer information presentation*. Davis: Lawrence Livermore National Lab., University of California, Davis.
- Boelke, L. & Gorny, P., 1994. Auditory direct manipulation of acoustical objects by blind computer users.
- Brauen, G. 2006. Designing interactive sound maps using scalable vector graphics. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization* 41, no. 1: 59–72.
- Brazil, E. & Fernström, 2011. Auditory Icons. In T. Hermann, J. Neuhoff, & A. Hunt, hrsg. *The Sonification Handbook*. Berlin: Logos, S. 325–338.
- Bull, M., 2007. The Seamlessness of iPod Culture. *Paragrana*, 16(2), S.89-103.
- Bull, M. & Back, L., 2003a. Introduction: Into Sound. In M. Bull & L. Back, hrsg. *The Auditory Culture Reader*. New York: Berg, S. 1–18.
- Bull, M. & Back, L. hrsg., 2003b. *The Auditory Culture Reader*, New York: Berg.
- Campenhausen, C., 1993. *Die Sinne des Menschen. Einführung in die Psychophysik der Wahrnehmung 2. Aufl.*, Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Chrisman, N.R., 1991. Institutional and Societal Components of Cartographic Research. In J. C. Muller, hrsg. *Advances in Cartography*. London and New York: Elsevier Applied Science, S. 231–242.
- Crampton, J. W. 2002. Interactivity types in geographic visualization. *Cartography and Geographic Information Science* 29, no. 2: 85–98.
- Cuddon, J.A., 1991. *A dictionary of literary terms and literary theory 3. Aufl.*, New York: Penguin Books.
- Daunys, G., and V. Lauruska. 2009. Sonification System of Maps for Blind—Alternative View. *Universal Access in Human-Computer Interaction. Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments: 503–508*.
- Deleflie, E., and G. Schiemer. 2010. Images as spatial sound maps.

- Delogu, F., M. Palmiero, S. Federici, C. Plaisant, H. Zhao, und O. Belardinelli. 2010. Non-visual exploration of geographic maps: Does sonification help? *Disability & Rehabilitation: Assistive Technology* 5, Nr. 3: 164–174.
- Dombois, F., 2002. Auditory seismology: on free oscillations, focal mechanisms, explosions and synthetic seismograms. In *Proceedings of the 8th International Conference on Auditory Display*. S. 27–30.
- Dombois, F. & Eckel, G., 2011. Audification. In T. Hermann, J. Neuhoff, & A. Hunt, hrsg. *The Sonification Handbook*. Berlin: Logos, S. 301–324.
- Dubois, R.L., 2007. Extension 5: Sound. In C. Reas & B. Fry, hrsg. *Processing: a programming handbook for visual designers and artists*. Cambridge (Massachusetts) and London (England): The MIT Press, S. 579–600.
- Dunn, J. & Clark, M.A., 2011. Life Music: The Sonification of Proteins. *Leonardo*, 32(1), S.25-32.
- Dzhusupov, M., 2010. Yellow Gold Software Virtual Piano. Yellow Gold Software Virtual Piano. Available at: [http://www.yellow-gold-soft.com/virtual\\_piano.php](http://www.yellow-gold-soft.com/virtual_piano.php) [Zugegriffen Januar 7, 2012].
- Eggenschwiler, K., 2007. Nicht-virtueller raumakustischer Spaziergang. In *DAGA 2007*. Stuttgart.
- Eggenschwiler, K., 2011. *Raumakustik*.
- Fisher, P.F., 1994. Hearing the reliability in classified remotely sensed images. *Cartography and Geographic Information Science*, 21(1), S.31–36.
- Friesecke, A., 2007. *Die Audio-Enzyklopädie: ein Nachschlagewerk für Tontechniker*, München: K. G. Saur Verlag.
- Gaver, W.W., 1986. Auditory icons: Using sound in computer interfaces. *Human-Computer Interaction*, 2(2), S.167–177.
- Genuit, K. hrsg., 2010. *Sound-Engineering im Automobilbereich: Methoden zur Messung und Auswertung von Geräuschen und Schwingungen* 1. Aufl., Berlin: Springer.
- Goldstein, E.B., 2002. *Wahrnehmungspsychologie* 2. Aufl. M. Ritter, hrsg., Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- de Götzen, A., Polotti, P. & Rocchesso, D., 2008. Sound Design and Auditory Displays. In P. Polotti & D. Rocchesso, hrsg. *Sound to Sense, Sense to Sound: a State of the Art in Sound and Music Computing*. Sound Music Computing. Berlin: Logos, S. 397–445.
- Grond, F., 2007. Organized data for organized sound. Space filling curves in sonification. *Proc. of the 13th ICAD, Montreal*.
- Grond, F. & Berger, J., 2011. Parameter Mapping Sonification. In T. Hermann, J. Neuhoff, & A. Hunt, hrsg. *The Sonification Handbook*. Berlin: Logos, S. 363–397.
- Hermann, T., 2011a. Model-Based Sonification. In T. Hermann, J. Neuhoff, & A. Hunt, hrsg. *The Sonification Handbook*. Berlin: Logos.
- Hermann, T., 2011b. [sonification.de](http://sonification.de/). Available at: <http://sonification.de/> [Zugegriffen Dezember 20, 2011].
- Hermann, T., 2008. Taxonomy and definitions for sonification and auditory display. In *Proceedings of the 14th ICAD. 14th International Conference on Auditory Display*. Paris, S. 8. Available at: [www.sonification.de/main-def.shtml](http://www.sonification.de/main-def.shtml).
- . 2005. An Introduction to Interactive Sonification. *Multimedia, IEEE* 12, no. 2: 20-24. doi:10.1109/MMUL.2005.26.
- Hermann, T., and A. Hunt. 2004. The discipline of interactive sonification. In *Proceedings of the Int. Workshop on Interactive Sonification*.
- Hermann, T., Baier, G. & Müller, M., 2004. Polyrhythm in the Human Brain. In *International Conference of Auditory Display (ICAD)*.

- Hermann, T., Drees, J.M. & Ritter, H., 2003. Broadcasting auditory weather reports-a pilot project. In Proceedings of the 2003 International Conference on Auditory Display. International Conference on Auditory Display. Boston, S. 208–211.
- Hermann, T., Neuhoff, J. & Hunt, A., 2011. The Sonification Handbook, Berlin: Logos. Available at: <http://sonification.de/handbook/>.
- Heuten, W., D. Wichmann, and S. Boll. 2006. Interactive 3D sonification for the exploration of city maps. In Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction: changing roles, 155–164.
- Hoeldke, M., 2001. MIDI-Interface / Datenformat. Available at: <http://home.snafu.de/hoeldke/> [Zugegriffen Januar 20, 2012].
- Hollander, A.J. & Furness, T.A., 1994. Perception of virtual auditory shapes.
- Horkheimer, M. & Adorno, T.W., 2002. Dialectic of Enlightenment: philosophical fragments, Stanford University Press.
- Houtsma, A.J.M., 1995. Pitch Perception. In B. C. J. Moore, hrsg. Hearing. London: Academic Press.
- Huber, O., 2009. Das psychologische Experiment: Eine Einführung 5. Aufl., Bern: Huber.
- Humbley, J., 1994. Quelques aspects de la datation de termes techniques : le cas de l'enregistrement et de la reproduction sonores. *Meta*, 39(4), S.701-715.
- ICAD, 2011. The ICAD Board | International Community for Auditory Display. Available at: <http://www.icad.org/board> [Zugegriffen Dezember 20, 2011].
- Jenny, B. & Vaughn Kelso, N., 2011. Color Oracle. Color Oracle: Design for the Color Impaired. Available at: <http://colororacle.org/> [Zugegriffen Januar 7, 2012].
- Kramer, G., and NM) . 1994. Auditory display: Sonification, audification, and auditory interfaces. Addison-Wesley.
- Kramer, G. u. a., 1999. The Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda. Report prepared for the National Science Foundation by members of the International Community for Auditory Display. In International Community for Auditory Display (ICAD). International Conference for Auditory Display (ICAD). Santa Fe, NM.
- Krygier, J.B., 1995. Cartography as an art and a science? *The Cartographic Journal*, 32(1), S.3–10.
- Krygier, J. B. 1994. Sound and geographic visualization. *Visualization in modern cartography*: 149–166.
- Laakso, M., T. Sarjakoski, and others. 2010. Sonic Maps for Hiking Use of Sound in Enhancing the Map Use Experience. *Cartographic Journal*, The 47, no. 4: 300–307.
- Leman, M., Styns, F. & Bernardini, N., 2008. Sound, Sense and Music Mediation: a Historical-Philosophical Perspective. In P. Polotti & D. Rocchesso, hrsg. *Sound to Sense, Sense to Sound: a State of the Art in Sound and Music Computing*. Sound Music Computing. Berlin: Logos, S. 15–44.
- Lodha, S. K, A. J Joseph, and J. C Renteria. 1999. Audio-visual data mapping for GIS-based data: an experimental evaluation. In Proceedings of the 1999 workshop on new paradigms in information visualization and manipulation in conjunction with the eighth ACM international conference on Information and knowledge management, 41–48.
- MacVeigh, R., und R. D Jacobson. 2007. Increasing the dimensionality of a geographic information system (GIS) using auditory display. *ICAD Proceedings*. International Community for Auditory Display, Schulich School of Music, McGill University, Montreal, Canada: 25–29.
- Martin, D.W., 2008. *Doing Psychology Experiments* 7. Aufl., Belmont, CA, USA: Wadsworth Pub Co.
- Martins, A. u. a., 1996. Auditory display and sonification of textured image.

- Mayer-Kress, G., 1994. Dynamical resonances and synchronization of auditory stimuli and evoked responses in multi-channel EEG.
- McGookin, D. & Brewster, 2011. Earcons. In T. Hermann, J. Neuhoff, & A. Hunt, hrsg. *The Sonification Handbook*. Berlin: Logos, S. 339–361.
- Minghim, R. & Forrest, A., 1995. An illustrated analysis of sonification for scientific visualisation. In *Proceedings of the 6th conference on Visualization'95*. S. 110.
- Morris, C.W., 1938. *Foundations of the Theory of Signs*, Chocago: University of Chicago Press.
- Mynatt, E., 1994. *Designing with auditory icons*.
- Nasir, T., und J.C. Roberts. 2007. Sonification of spatial data. In *The 13th International Conference on Auditory Display (ICAD 2007)*, 112–119.
- Olsson, K., 2011. *question to Ess*.
- Oswald, D., 2012. Semiotik auditiver Interfaces. In *Das geschulte Ohr. Eine Kulturgeschichte der Sonifikation*. Sound Studies. Berlin: transcript, S. 247–267.
- Papousek, I., 2007. Vorlesung Psychologische Statistik – Frequently Asked Questions. Universitaet Graz – Department of Psychology. Available at: <http://www.uni-graz.at/ilona.papousek/teaching/docs/faq.html> [Zugegriffen Januar 16, 2012].
- Peirce, C.S., 1931. *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. C. Hartshome & P. Weiss, hrsg., Harvard: Harvard University Press.
- Pitt, I., 1994. Integrating speech and nonspeech sounds in interfaces for blind users.
- Pollack, I. & Ficks, L., 1954. Information of elementary multidimensional auditory displays. *Journal of the Acoustical Society of America*, 6, S.155–158.
- Polotti, P. & Rocchesso, D. hrsg., 2008. *Sound to sense, sense to sound: a state of the art in sound and music computing*, Berlin: Logos.
- Processing Volunteers Team, 2011. *Processing.org*. Processing. Available at: <http://processing.org> [Zugegriffen Januar 8, 2012].
- Reas, C. & Fry, B., 2007. *Processing: a programming handbook for visual designers and artists*, Cambridge (Massachusetts) and London (England): The MIT Press.
- Riethmüller, A. & Zamminer, F., 1989. *Die Musik des Altertums*, Akademische Verlagsgesellschaft Athenai-on; Laaber: Laaber-Verlag Müller-Buscher.
- Russ, M., 2009. *Sound Synthesis and Sampling Third edition.*, Oxford: Focal Press.
- Sauer, H., 2006. *Antike Musikautomaten*.
- Scaletti, C. & Craig, A.B., 1991. Using sound to extract meaning from complex data. *SPIE*, 1459, S.13.
- Schiemann, J.M., 2004. Das visuelle Tier. *Die Gegenwart*. Online-Magazin., (38), S.1.
- Schneider, W., 1995. *Sinn und Unsinn. Architektur und Design sinnlich erlebbar gestalten*, Leinfelden-Echterdingen.
- Schoon, A. & Dombois, F., *Sonification in Music*. In 15th International Conference on Auditory Display, Copenhagen, May 18-22, 2009.
- Schulz von Thun, F., 1981. *Miteinander reden 1. Störungen und Klärungen*. Allgemeine Psychologie der Kommunikation. Reinbek bei Hamburg. Rowohlt Verlag.
- Schwartz, H., 2003. *The Indefensible Ear: A History*. In M. Bull & L. Back, hrsg. *The Auditory Culture Reader*. New York: Berg, S. 487–501.
- Seidl, H., 1995. *Aristoteles: Über die Seele*, Hamburg.

- Shi, X. Q., S. Tranaeus, und B. Angmar-Maansson. 2001. Validation of DIAGNOdent for quantification of smooth-surface caries: an in vitro study. *Acta Odontologica Scandinavica* 59, Nr. 2: 74–78.
- Shiffman, D., 2011. Learning Processing: Chapter 15: Example 15-7: Displaying the Pixels of an Image. *Learning Processing*. Available at: <http://www.learningprocessing.com/examples/chapter-15/example-15-7/> [Zugegriffen Januar 8, 2012].
- Stahel, W., 2007. *Statistische Datenanalyse: Eine Einführung für Naturwissenschaftler*, Vieweg +Teubner.
- Stevens, R.D. u. a., 1994. Design and evaluation of an auditory glance at algebra for blind readers.
- swisstopo, 2011. DHM25. Available at: <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/height/dhm25.html> [Zugegriffen Januar 5, 2012].
- Théberge, P. 2005. Sound maps: music and sound in cybercartography. *Modern Cartography Series 4*: 389–410.
- Trabant, J., 1993. Der akroamatische Leibniz: Hören und Konspirieren. *Paragrana*, 2(2), S.64–71.
- Vogt, S., 2005. *Clubräume – Freiräume: Musikalische Lebensentwürfe in den Jugendkulturen Berlins*, Kassel: Bärenreiter – Verlag Karl Vötterle GmbH.
- Walker, B.N. & Kramer, G., 2004. Ecological psychoacoustics and auditory displays: Hearing, grouping, and meaning making. In J. G. Neuhoff, hrsg. *Ecological Psychoacoustics*. San Diego: Elsevier, S. 150–175.
- Walker, B.N. & Nees, M.A., 2011. Theory of Sonification. In T. Hermann, J. Neuhoff, & A. Hunt, hrsg. *The Sonification Handbook*. Berlin: Logos, S. 9–39.
- Watson, C.S. & Kidd, G.R., 1994. Factors in the design of effective auditory displays.
- Watson, M., und P. Sanderson. 2001. Respiratory Sonification helps Anaesthetists Timeshare Patient Monitoring with other Tasks. In *Proceedings of OZCHI*, 175.
- Wenzel, E.M. u. a., 1993. Localization using nonindividualized head-related transfer functions. *Journal-acoustical Society of America*, 94(1), S.111–123.
- Wenzel, E.M., Wightman, F.L. & Foster, S.H., 1988. Development of a three-dimensional auditory display system. *ACM SIGCHI Bulletin*, 20(2), S.52–57.
- Williams, M.G., Smith, S. & Pecelli, G., 1990. Computer-human interface issues in the design of an intelligent workstation for scientific visualization. *ACM SIGCHI Bulletin*, 21(4), S.44–49.
- Winkel, F., 1975. Die psychophysischen Bedingungen des Musikhörens. In B. Doppeide, hrsg. *Musikhören*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, S. 165-197.
- Wolf, E., 1985. *Die Musik-Ausbildung – Allgemeine Musiklehre* 7. Aufl., Wiesbaden: Breitkopf & Härtel.
- Wulf, C., 1997. Ohr. In C. Wulf, hrsg. *Vom Menschen*. Handbuch Historische Anthropologie. Weinheim, Basel: Beltz. Weinheim und Basel: Beltz, S. 459–464.
- Yeo, Woon Seung, and Jonathan Berger. 2008. *Raster Scanning: A New Approach to Image Sonification, Sound Visualization, Sound Analysis, and Synthesis*. Department of Music, Stanford University.
- Yeung, E.S., 1980. Pattern recognition by audio representation of multivariate analytical data. *Analytical Chemistry*, 52(7), S.1120–1123.
- Zaminer, F., 2006. Harmonik und Musiktheorie im alten Griechenland – Vom Mythos zur Fachdisziplin: Antike und Byzanz. In *Geschichte der Musiktheorie*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, S. 47–256.
- Zhao, Haixia. 2006. *Interactive Sonification of Abstract Data - Framework, Design Space, Evaluation, and User Tool*. Dissertation. <http://drum.lib.umd.edu/handle/1903/3394>.

- Zhao, H., 2005. Interactive sonification of Geo-referenced data. In CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems. Conference on Human Factors in Computing Systems Portland, OR, USA — April 02 - 07 2005. Portland, Oregon, USA, S. 1134–1135.
- Zhao, H., Plaisant, C. & Shneiderman, B., 2005a. I hear the pattern: interactive sonification of geographical data patterns. In CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems. Conference on Human Factors in Computing Systems Portland, OR, USA — April 02 - 07 2005. Portland, Oregon, USA, S. 1905–1908.
- Zhao, H., Plaisant, C. & Shneiderman, B., 2005b. iSonic: interactive sonification for non-visual data exploration. In Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility. ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility. Baltimore, Maryland, USA, S. 194–195.
- Zhao, H. u. a., 2004. Sonification of geo-referenced data for auditory information seeking: Design principle and pilot study. In Proceedings of ICAD 04. International Conference on Auditory Display, Sydney, Australia, July 6-9, 2004. Sydney, Australia, S. 1–8.
- Zhao, H., B. K. Smith, K. Norman, C. Plaisant, and B. Shneiderman. 2005. Interactive sonification of choropleth maps: design and evaluation. IEEE Multimedia, Apr-June.

## 10 Abbildungs- Tabellen- und Formelverzeichnis

Titelblatt: Die sonifizierte Welt (Quellen: myknownbuzz.com und wikimedia.org; Zugriff:6.12.2011) .....	T
Abbildung 1: Semiotisches Dreieck nach Peirce und Morris (Quelle: (Oswald 2012, S.252)). .....	7
Abbildung 2: Kontinuum zwischen <i>analog</i> und <i>symbolisch</i> (eigene Darstellung).....	8
Abbildung 3: Verschiebung musikalischer Termini (eigene Darstellung, nach (Riethmüller & Zaminer 1989, S.271)). .....	10
Abbildung 4: Amplitude, Frequenz und Dauer einer Sinuswelle schematisch dargestellt (eigene Abbildung).....	11
Abbildung 5: Phon-Kurven in Abhängigkeit des Schalldruckpegels und der Frequenz (Quelle: laermorama.ch; Zugriff: 10.1.2012).....	13
Abbildung 6: In der Akustik eingesetzte Wellenformen (Quelle: wikipedia.org; editiert durch Joram Schito; Zugriff: 28.12.2011).....	16
Abbildung 7: Hüllkurvenparameter im zeitlichen Ablauf (Quelle: wikipedia.org; editiert durch Joram Schito; Zugriff: 28.12.2011).....	16
Abbildung 8: Obertonreihe und Einteilung in harmonische Schwingungen einer Grundfrequenz (wikipedia.org; editiert durch Joram Schito; Zugriff: 18.12.2011).....	17
Abbildung 9: Schematische Darstellung der Sonifikation (Hermann 2008, S.2).....	26
Abbildung 10: Hierarchie organisierter Klänge (Hermann 2008, S.5). .....	27
Abbildung 11: Schematische Darstellung von Auditory Display Systemen (Hermann 2008, S.4). .....	28
Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der Sonifikationsparametrisierungen (sonification.de; Zugriff: 21.12.2011). .....	30
Abbildung 13: Semantische Beziehung zwischen Auditory Icons und Earcons (McGookin & Brewster 2011, S.351). .....	38
Abbildung 14: Prozessablauf einer Parameter Mapping Sonifikation (B. N. Walker & Nees 2011, S.366). .....	42
Abbildung 15: Interaktionsschleife einer MBS (Hermann 2011a, S.401) .....	45
Abbildung 16: Prozessschema einer MBS (Hermann 2011a, S.404). .....	46
Abbildung 17: Skizze des Study Designs (eigene Darstellung). .....	54
Abbildung 18: Genauigkeitsrelationen zwischen involvierten Instanzen.....	65
Abbildung 19: Altersverteilung der Testpersonen. ....	67
Abbildung 20: Verteilung der Testpersonen nach Altersklassen (rechts). ....	67
Abbildung 21: Verteilung der Testpersonen nach Geschlecht (rechts).....	67
Abbildung 22: Visualisierung des diskreten DHM dem_disc_2.....	69
Abbildung 23: Visualisierung des stetigen, künstlichen DHM dem_cont_art.....	69
Abbildung 24: Visualisierung des Ausschnittes aus dem DHM25 (swisstopo). ....	70
Abbildung 25: Wacom Bamboo CTH-460 (Quelle: itp.net; Zugriff: 10.1.2012). .....	72
Abbildung 26: Kopfhörer und Splitter (Quellen von links nach rechts: beyerdynamic.com, digitec.ch, audiopalace.de; Zugriff: 10.1.2012). .....	73
Abbildung 27: Mit lichtundurchlässiger Folie beklebte Sonnenbrille (eigenes Foto).....	73
Abbildung 28: Testsetting mit Versuchsleiter (links) und Proband (rechts).....	74
Abbildung 29: Relief eines Gebiets im Himalaya (Quelle: www.viewfinderpanoramas.org; Zugriff: 5.9.2011).....	84
Abbildung 30 (links): Relief eines Teils des Araguinha-Kraters in Brasilien (Quelle: rucira.com; Zugriff: 5.9.2011). .....	85
Abbildung 31 (rechts): Relief von Honolulu, Hawaii (Quelle: mattsmapcatalog.blogspot.com; Zugriff: 6.9.2011). .....	85
Abbildung 32: diskretes Modell mit eingezeichneten Schwerpunkten.....	90
Abbildung 33: Stetiges, abstraktes Modell mit Mittelpunkten (extremste Werte).....	93
Abbildung 34: Processing-Logo (Quelle: processing.org; Zugriff: 25.9.2011).....	102
Abbildung 35: Nachgezeichnete Linien des Tests [1d] auf dem Display der Applikation pre_test_tablet_accuracy. ....	103

Abbildung 36: Exemplarischer Output der Applikation <i>pre_test_tablet_accuracy</i> .....	104
Abbildung 37: Exemplarischer Output der Applikation <i>preliminary_loadImage</i> .....	106
Abbildung 38: Exemplarischer Output der Applikation <i>preliminary_readFile</i> .....	107
Abbildung 39: Dimensionen der Sonifikationsmethode A; Konzept a) folgend. ....	111
Abbildung 40: Dimensionen der Sonifikationsmethoden B und C; Konzept b) folgend. ....	112
Abbildung 41: Exemplarisches Erklärungsbeispiel für den Main Test 1. ....	118
Abbildung 42: Boxplot der Resultate der Pre-Tests.....	122
Abbildung 43: Boxplot der Resultate der Main Tests (links).....	123
Abbildung 44: Boxplot der Resultate der Main Tests nach Methoden aufgeteilt (rechts). ....	123
Abbildung 45: Boxplot der gemittelten Resultate des Main Tests nach Methoden.....	124
Abbildung 46: Boxplots der einzelnen Messparameter des Main Tests 1.....	126
Abbildung 47: Boxplots der einzelnen Messparameter des Main Tests 2.....	127
Abbildung 48: Boxplots der einzelnen Messparameter des Main Tests 3.....	128
Abbildung 49: Boxplots der Höhenschätzungsabweichungen beim Main Test 3. ....	129
Abbildung 50: Boxplots der Schätzungsgenauigkeiten zu den sonifizierten Werten. ....	131
Abbildung 51: Verlauf der Genauigkeitsinterpretationen bei zwei Methoden. ....	133
Abbildung 52: Verlauf der Genauigkeitsinterpretationen bei zwei Methoden. ....	142
Abbildung 53: Boxplot der Resultate der Main Tests nach Geschlecht aufgeteilt.....	153
Abbildung 54: Boxplot der Resultate der Main Tests nach Altersklassen aufgeteilt. ....	155
Abbildung 55: Liniendiagramm der Genauigkeiten aller Main Tests nach Altersklassen. ....	156
Codeausschnitt 1.....	104
Codeausschnitt 2.....	105
Codeausschnitt 3.....	108
Tabelle 1: Semiotikbasierte Systematik der auditiven Zeichen in digitalen Interfaces (Nach: Oswald 2012, S.264; ergänzt durch Joram Schito). ....	9
Tabelle 2: Altersverteilung der Testpersonen nach Altersklassen mit detaillierten Werten (links). ....	67
Tabelle 3: Geschlechterverteilung der Testpersonen.....	67
Tabelle 4: Aufbau des Fragebogens.....	75
Tabelle 5: Detaillierter Auszug aus Tabelle 4 mit Fokus auf Pre-Test 1. ....	76
Tabelle 6: Kategorisierung der Konsolen.....	77
Tabelle 7: Detaillierter Auszug aus Tabelle 4 mit Fokus auf Pre-Test 2. ....	80
Tabelle 8: Detaillierter Auszug aus Tabelle 4 mit Fokus auf Pre-Test 3. ....	86
Tabelle 9: Detaillierter Auszug aus Tabelle 4 mit Fokus auf Main Test 1. ....	89
Tabelle 10: Bewertung der Winkelabweichungen.....	91
Tabelle 11: Zuordnung von Grössenfaktoren bei Innenfiguren mit Berührungspunkten. ....	91
Tabelle 12: Detaillierter Auszug aus Tabelle 4 mit Fokus auf Main Test 2. ....	94
Tabelle 13: Crosstab zur Einteilung der Indikatoren der Main Test 2.....	97
Tabelle 14: Detaillierter Auszug aus Tabelle 4 mit Fokus auf Main Test 3. ....	99
Tabelle 15: Festgelegte Grenzwerte des DHM25. ....	107
Tabelle 16: Grundstruktur und Beschreibung der Funktionen der Sonifikationsapplikationen A, A2, B und C.....	114
Tabelle 17: Schematischer Ablauf eines Tests (eigene Darstellung). ....	115
Tabelle 18: Beschreibung aller genannten Variablen in der Analyse. ....	120
Tabelle 19: Liste der in der Analyse verwendeten Variablen samt Test auf Normalverteilung.....	121
Tabelle 20: Deskriptive Statistik der Pre-Tests. ....	122
Tabelle 21: Deskriptive Statistik der Main Tests.....	123



Tabelle 22: Deskriptive Statistik der Main Tests nach Methoden aufgeteilt.....	124
Tabelle 23: Deskriptive Statistik der einzelnen Messparameter des Main Tests 1. ....	125
Tabelle 24: Deskriptive Statistik der einzelnen Messparameter des Main Tests 2. ....	127
Tabelle 25: Deskriptive Statistik der einzelnen Messparameter des Main Tests 3. ....	128
Tabelle 26: Deskriptive Statistik der absoluten Höhenschätzung beim Main Test 3. ....	129
Tabelle 27: Deskriptive Statistik aller geschätzten Werte zu den sonifizierten Cursorwerten. ....	130
Tabelle 28: Deskriptive Statistik der getroffenen Ziele nach Methoden.....	131
Tabelle 29: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Deskriptive Statistik (links). ....	133
Tabelle 30: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Box’s Test auf Äquivalenz der Kovarianzmatrizen (rechts).....	133
Tabelle 31: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Levene’s Test auf Homogenität der Varianzen. ....	133
Tabelle 32: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Test auf Sphärizität. ....	134
Tabelle 33: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Within-Subject Effekte.....	134
Tabelle 34: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Paarweiser Vergleich zwischen den Komplexitätsstufen.....	136
Tabelle 35: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Multivariater Test auf Signifikanz. ....	136
Tabelle 36: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Test auf Effekt zwischen den Methoden. ....	138
Tabelle 37: GLM-ANOVA mit zwei Methoden: Parameterschätzungen.....	138
Tabelle 38: Deskriptive Statistik der Variable t2_distToGiven nach Methoden aufgeteilt.....	139
Tabelle 39: Rangsummen der Variable t2_distToGiven. ....	140
Tabelle 40: Ergebnis des Rangsummentests der Variable t2_distToGiven. ....	140
Tabelle 41: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Deskriptive Statistik (links). ....	141
Tabelle 42: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Box’s Test auf Äquivalenz der Kovarianzmatrizen (rechts).....	141
Tabelle 43: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Levene’s Test auf Homogenität der Varianzen.....	141
Tabelle 44: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Mauchl’s Test auf Sphärizität. ....	142
Tabelle 45: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Within-Subject Effekte.....	143
Tabelle 46: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Test auf Effekt zwischen den Methoden. ....	143
Tabelle 47: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Paarweiser Vergleich der Methoden. ....	144
Tabelle 48: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Paarweiser Vergleich zwischen den Komplexitätsstufen. ....	144
Tabelle 49: GLM-ANOVA mit drei Methoden: Multivariater Test auf Signifikanz. ....	145
Tabelle 50: Korrelationsmatrix der Pre-Tests und der Main Tests. ....	147
Tabelle 51: Modellzusammenfassung Regressionsanalyse Main Test 1. ....	148
Tabelle 52: ANOVA Regressionsanalyse Main Test 1. ....	148
Tabelle 53: Koeffizienten Regressinsanalyse Main Test 1.....	148
Tabelle 54: Modellzusammenfassung Regressionsanalyse Main Test 2. ....	149
Tabelle 55: ANOVA Regressionsanalyse Main Test 2. ....	149
Tabelle 56: Koeffizienten Regressinsanalyse Main Test 2.....	149
Tabelle 57: Modellzusammenfassung Regressionsanalyse Main Test 3. ....	150
Tabelle 58: ANOVA Regressionsanalyse Main Test 3. ....	150
Tabelle 59: Koeffizienten Regressinsanalyse Main Test 3.....	150
Tabelle 60: Modellzusammenfassung Regressionsanalyse Main Test 1. ....	151
Tabelle 61: ANOVA Regressionsanalyse Main Test 3. ....	151
Tabelle 62: Koeffizienten Regressinsanalyse Main Test 3.....	151
Tabelle 63: Deskriptive Statistik der Main Tests nach Geschlecht aufgeteilt.....	152
Tabelle 64: One-Way-ANOVA der Main Tests nach Geschlecht aufgeteilt. ....	153
Tabelle 65: Deskriptive Statistik der Main Tests nach Altersklassen aufgeteilt. ....	154
Tabelle 66: One-Way-ANOVA der Main Tests nach Altersklassen aufgeteilt. ....	155

Formel 1 .....	22
Formel 2 .....	77
Formel 3 .....	78
Formel 4 .....	78
Formel 5 .....	78
Formel 6 .....	79
Formel 7 .....	82
Formel 8 .....	82
Formel 9 .....	83
Formel 10 .....	88
Formel 11 .....	88
Formel 12 .....	90
Formel 13 .....	91
Formel 14 .....	92
Formel 15 .....	92
Formel 16 .....	92
Formel 17 .....	94
Formel 18 .....	95
Formel 19 .....	95
Formel 20 .....	95
Formel 21 .....	96
Formel 22 .....	96
Formel 23 .....	96
Formel 24 .....	96
Formel 25 .....	98
Formel 26 .....	99
Formel 27 .....	99
Formel 28 .....	100
Formel 29 .....	100
Formel 30 .....	101
Formel 31 .....	101
Formel 32 .....	105
Formel 33 .....	119
Formel 34 .....	119

# A Anhang

## A.1 Fragebogen

<b>Fragebogen Sonifikation</b>	<b>Pre-Test (technisch)</b>			
Testserie: _____	Name: _____			
<b>Pre-Test</b>				
<b>Personalien / Kontext</b>				
Ort: _____	Alter: _____			
Datum: _____	Geschlecht: _____			
Uhrzeit: _____	Händigkeit: _____			
Hörschwäche: _____	Sehschwäche: _____			
<b>PC-Kenntnisse / Gaming-Erfahrung</b>				
Fokus	Skalierung	Getestet	Bewertung	Test
Konsolen	[qualitativ]	Welche Konsolen wurden gespielt?		[1a]
10-Finger-System	[Skala 1-5]	«F» blind, kennt 10FS, kennt Marker 3*[j/n]		[1b]
		Zeit [s]		[1c]
		Fehler [#]		
		10-FS angewandt [j/n]		
Tablet	[Skala 1-5]	Count [#]		[1d]
		Sum [#]		
		Mean [#]		
		Variance [ ]		
		SD [ ]		
		Time [ms]		

[1a]: Der Proband nennt dem Versuchsleiter diejenigen Konsolen, mit denen er regelmässig gespielt hat. Hat er stattdessen an einem PC gespielt, nennt er dem Versuchsleiter die Jahre seiner Spieltätigkeit. Der Versuchsleiter vergibt pro Spielgeneration einen Punkt [# (ordinal)].

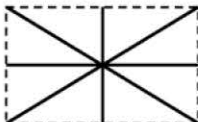
[1b]: Der Proband begibt sich auf Aufforderung des Versuchsleiters in die Startposition, um zu schreiben. Auf Kommando schaut er nicht mehr auf die Tastatur. Er nennt einzig durch das Berühren der Tastatur die Taste, auf welcher sich der Buchstabe «F» befindet [ja/nein (boolean)].

[1c]: Der folgende Text soll abgetippt werden. Wie lange benötigt der Proband dafür [s (ratio)]? Wie viele Fehler hat er gemacht [# (ordinal)]? Hat er das 10-Finger-System angewandt [ja/nein (boolean)]?

*Gerne wäre ich heute an den schönen Strand gefahren, wo denkbar viele Leute diesen sonnigen Tag unter Palmen flanierend geniessen.*

[1d]: Ohne auf das Tablett zu schauen, sollen die Linien der folgenden Figur nachgezeichnet werden, indem gemäss der beschrifteten Achse die jeweiligen Tasten auf der Tastatur gedrückt werden. Der Proband folgt den vorgezeichneten Linien des Programms *pre\_test\_tablet\_accuracy.pde* am Bildschirm und beendet die Aufzeichnung mit der rechten Maustaste (auf dem Tablettstift). Im Hintergrund wird folgendes registriert:

1. Die Summe der Punkte, welche aufgezeichnet wurden [# (ordinal)]
2. Die Summe der Abweichungen zu den Geraden [px (ordinal)]
3. Der Mittelwert der Abweichungen zu den Geraden [px (ordinal)]
4. Die Varianz der Abweichungen zu den Geraden [∅ (interval)]
5. Die Standardabweichung der Abweichungen zu den Geraden [∅ (interval)]
6. Die verstrichene Zeit, die der Proband bis zum Ende der Aufzeichnung benötigt hat [s (ratio)]



## Fragebogen Sonifikation

## Pre-Test (musikalisch)

Testserie: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

## Musik-Kenntnisse

Fokus	Skalierung	Getestet	Bewertung	Test
Sozialisierung	[Skala 1-4]	nach Vogt (S.44: 2005)		[2a]
Solfège singen	[Skala 1-5]	Bsp. 1 [pt]		[2b]
		Bsp. 2 [pt]		
		Bsp. 3 [pt]		
		Bsp. 4 [pt]		
		Bsp. 5 [pt]		
Intervalle erkennen	[Skala 1-5]	Bsp. 1 [pt]		[2c]
		Bsp. 2 [pt]		
		Bsp. 3 [pt]		
		Bsp. 4 [pt]		
		Bsp. 5 [pt]		
Intervalle einem Wert zuordnen	[Skala 1-5]	Bsp. 1 [pt]		[2d]
		Bsp. 2 [pt]		
		Bsp. 3 [pt]		
		Bsp. 4 [pt]		
		Bsp. 5 [pt]		
Wellenunterschied erkennen	[ja/nein]	Bsp. 1 [pt]		[2e]
		Bsp. 2 [pt]		
		Bsp. 3 [pt]		
		Bsp. 4 [pt]		
		Bsp. 5 [pt]		
Rhythmen nachklopfen	[Skala 1-5]	Bsp. 1 [pt]		[2f]
		Bsp. 2 [pt]		
		Bsp. 3 [pt]		
		Bsp. 4 [pt]		
		Bsp. 5 [pt]		
	[ja/nein]	Rhythmen im Takt weitergeführt?		[2g]

[2]: Der Versuchsleiter spielt die Töne oder klopft die Rhythmen **höchstens zwei Mal** vor. Der Proband hat **eine Chance**, die Töne zu bestimmen, nachzusingen oder zu klopfen. Für jede Aufgabe werden **0, 0.5 oder 1.0 Punkte** vergeben.

[2b]: Der Proband singt oder summt dem Leiter die Töne von fünf Beispielen nach, wobei der Leiter die Genauigkeit der Töne anhand der gemessenen Abweichung einschätzt [**0/0.5/1 (ordinal)**].

- Ein (1) Punkt wird erhalten, wenn alle Töne in der Toleranz einer grosse Diësis (62.6 Cent) getroffen werden.
- Einen halben ( $\frac{1}{2}$ ) Punkt erhält der Proband, wenn maximal ein Ton der Leiter um höchstens eine kleine Sekunde (100 Cent) vom eigentlichen Ton abweicht.
- Null (0) Punkte erhält der Proband, falls mehr als ein Ton um mehr als eine Diësis vom Ziel abweicht oder falls mindestens ein Ton um mehr als eine kleine Sekunde vom Zielton abweicht.

1. So – do – So – do – So – do
2. Do – Re – Mi – Re – Do
3. Do – Mi – So – Mi – Do
4. Do – Mi – So – do – So – Mi – Do
5. Do – Di – Re – Ri – Re – Di – Do

**Fragebogen Sonifikation**

**Pre-Test (musikalisch)**

Testserie: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

[2c]: Der Leiter spielt fünf reine Intervalle der westlichen Harmonielehre mit alterierenden Grundtönen vor, während der Proband sie identifiziert. Gemessen wird, wie viele Intervalle richtig erkannt wurden **[0/0.5/1 (ordinal)]**.

- Pro richtiges Intervall erhält der Proband einen (1) Punkt.
  - Liegt er maximal einen Halbton daneben, erhält er nur einen halben ( $\frac{1}{2}$ ) Punkt.
1. Reine Quarte auf  $f^1$
  2. Reine Oktave auf  $D^1$
  3. Kleine Terz auf  $a^1$
  4. Tritonus es<sup>1</sup>
  5. Kleine Sept auf  $C^1$

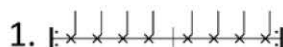




[2d]: Der Leiter definiert, dass der Grundton 0% und seine Oktave 100% einer beliebigen Grösse seien. Fünf Intervalle werden gespielt, wobei der Proband abschätzen muss, welchen Wert der Ton auf einer *gleichstufigen* Skala ( $\text{Halbton} = 100 \text{ Cent} = \frac{1}{12} \text{ Oktave}$ ) einnehmen würde (in %). Gemessen wird die Varianz der Resultate zu den tatsächlichen Werten **[0 (ratio)]**.

1. Reine Oktave auf  $a^1 = 2 \cdot \lambda(a^1) = 1200 \text{ Cent} = 100\% [a^1; a^2]$
2. Reine Quinte auf  $D^1 = 1.5 \cdot \lambda(a^1) = 700 \text{ Cent} = 58.\bar{3}\% [D^1; d^1]$
3. Grosse Terz auf  $G^1 = 1.25 \cdot \lambda(a^1) = 400 \text{ Cent} = 33.\bar{3}\% [G^1; g^1]$
4. Kleine Sekunde auf  $C^1 = 1.0\bar{6} \cdot \lambda(a^1) = 100 \text{ Cent} = 8.\bar{3}\% [C^1; c^1]$
5. Tritonus auf  $A^1 = 1.42 \cdot \lambda(a^1) = 600 \text{ Cent} = 50\% [A^1; a^1]$

[2e]: Der Leiter erklärt anhand eines Beispiels mit zwei Wiederholungen den Unterschied zwischen Sinus- und Eckwellen. Dabei wird ein Ton einer Frequenz jeweils drei Sekunden gespielt und gesagt, um welchen Wellentyp es sich handelt. Anschliessend werden dem Probanden fünf Töne unterschiedlicher Wellenformen vorgespielt, wobei gemessen wird, wie viele Prozent davon richtig erkannt wurden **[0/0.5/1 (ordinal)]**.

[2f]: Fünf verschiedene Rhythmen im Metrum von 65 bpm und im  $\frac{4}{4}$ -Takt werden der Reihe nach vom Leiter vorgeklopft, worauf der Proband nach zwei Takten den Rhythmus wiederholt. Der Leiter testet, wie hoch die Übereinstimmung der geklopften Töne mit der Vorgabe ist **[0/0.5/1 (ordinal)]**.

- Einen (1) Punkt erhält der Proband, wenn alle Töne metronomisch genau nachgeklopft werden (mit einer Abweichung von 0.5 Sekunden für beide Takte), ohne dass sich der Gestus des Rhythmus ändert.
- Einen halben ( $\frac{1}{2}$ ) Punkt erhält der Proband, wenn der Gestus des Rhythmus verändert, jedoch noch hörbar ist (maximal ein (1) Fehler) oder die Imitation beider Takte 0.5 bis 1.0 Sekunden länger als die Vorgabe dauerte.
- Null (0) Punkte erhält der Proband, falls der Gestus des Rhythmus durch zu starke Änderungen nicht mehr erkennbar ist (mehr als ein (1) Fehler) oder die Abweichung für beide Takte mehr als eine (1) Sekunde beträgt.

1. 
2. 
3. 
4. 
5. 

[2g]: Rückblickend wird entschieden, ob der Proband die vorgeklopften Rhythmen im Takt weitergeführt hat oder nicht. Falls ja, erhält der Proband einen Punkt. Falls nicht, erhält er 0.8 Punkte. Dieser Wert wird in der Analyse als Gewichtung eingesetzt, indem jeder Wert des Tests [2f] mit dem Wert aus [2g] multipliziert wird **[0.8/1 (ordinal)]**.

## Fragebogen Sonifikation

## Pre-Test (geographisch)

Testserie: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

## Räumlich-geographisches Verständnis

Fokus	Skala	Getestet	Bewertung (Antwort)	Test
Grossräumlicher Überblick	[Skala 1-5]	Frage 1	→ Kerbtäler in Nord / Süd	[3a]
		Frage 2	→ Flache Ebenen	
		Frage 3	→ Je weisser, desto höher (Mount Everest zentral-W)	
		Frage 4	→ WNW / OSO	
Flussrichtung und Landschaft	[Skala 1-5]	Frage 1	→ Zuerst l oder r, dann N, dann NO	[3b]
		Frage 2	→ SW / NO	
		Frage 3	→ Canyonlandschaft, Plateau, trocken, kantig, zusammenhängend im W	
		Frage 4	→ Nein, da zu kantig und trocken	
Lage und Besonderheiten	[Skala 1-5]	Frage 1	→ Meer = gleiche Höhe. Hinweis durch Hafen und Flüsse	[3c]
		Frage 2	→ Insel bzw. Halbinsel wegen Abflachung nach N	
		Frage 3	→ SW / NO	
		Frage 4	→ Krater (Vulkan, da mässig klein, rund und nahe am Meer (alt. Meteorit))	
Lage auf der Erde	[Ort]	Frage 1	→ Himalaya Nepal/China (alt. Anden) wegen grosser Ausdehnung und Plateau	[3d]
		Frage 2	→ Araguainha, Brasilien (alt. Westen der USA) wegen Canyonlandschaft (kantig, steil, trocken, Plateau)	
		Frage 3	→ Hawaii (alt. Indonesien) wegen Vulkan und fehlendem Hinweis auf Kälte (Küstenlinienform, Relief, Hinweis auf Insel durch Abflachen der Hügel nach N)	

[3]: In diesem Teil bewertet der Leiter sowohl den Umfang als auch die Qualität der Antworten, wobei der Proband je maximal 60 Sekunden das Bild betrachten darf. Vergeben werden die Punkte wie folgt:

- Einen (1) Punkt erhält der Proband für eine perfekte Antwort (umfangreich und inhaltlich makellos).
- Einen halben ( $\frac{1}{2}$ ) Punkt erhält der Proband für eine zufriedenstellende Antwort (unvollständig, aber in Teilen vorhanden und im Kern korrekt).
- Null (0) Punkte erhält der Proband für eine ungenügende Antwort (inhaltlich zu wenig detailliert ohne den Kern zu treffen oder Frage nicht beantwortet).

[3a]: Betrachten Sie die Abbildung 1 (360x160 km; dunkelgrün < 500 m; weiss > 5000 m) und beantworten Sie folgende Fragen [0-1 (interval)]:

1. Zeichnen Sie auf der Karte 5 Flusstäler ein. In welche Richtung verlaufen sie hauptsächlich?
2. Wo liegen potenzielle Standorte für Seen? Markieren Sie zwei davon auf der Karte.
3. Wo sehen Sie die höchsten Berge? Markieren Sie.
4. In welche Himmelsrichtung verläuft die Bergkette? Zeichnen Sie ein.

[3b]: Betrachten Sie die Abbildung 2 (8x8 km; blau = 400 m; rot = 800 m) und beantworten Sie folgende Fragen [0-1 (interval)]:

1. Angenommen, Sie würden den Weg des Wassers nachbilden, welches beim roten Pfeil abfließt – in welche Richtung würde es fließen (2 Antworten möglich)? Zeichnen Sie ein.
2. In welche Himmelsrichtung verläuft das Haupttal?
3. Was ist das Besondere der höchsten Punkte (rot) im Gegensatz zum restlichen Profil (blau)? Beschreiben Sie das Landschaftsprofil in einem Satz oder in einem treffenden Begriff.
4. Wurde das Gebiet von einem Gletscher überprägt?

**Fragebogen Sonifikation**

**Main Test 1 (Komplexitätsstufe 1)**

Testserie: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

[3c]: Betrachten Sie die Abbildung 3 (14x14 km; blau = 0 m; weiss = 800 m) und beantworten Sie folgende Fragen [0-1 (interval)]:

1. *Woran erkennen Sie, dass hellblaue Flächen Wasser darstellen? Begründen Sie.*
2. *Was könnte der grüne Bereich inklusive den Bergen demzufolge sein bzw. wo könnte der genannte Bereich liegen?*
3. *In welche Himmelsrichtung verlaufen die Bergkämme hauptsächlich?*
4. *Was könnte die Einheit darstellen, welche durch den violetten Pfeil gekennzeichnet ist?*

[3d]: Betrachten Sie alle drei Abbildungen auf der Seite 12 und beantworten Sie folgende Fragen [0-1 (interval)]:

1. *Wo auf der Erde könnte die Abbildung 1 liegen?*
2. *Wo auf der Erde könnte die Abbildung 2 liegen?*
3. *Wo auf der Erde könnte die Abbildung 3 liegen?*

**Haupttest**

[H]: Der Proband setzt sich auf einen Stuhl in einem geschlossenen Raum. Vor ihm steht ein Tisch mit einem Notebook. Der Proband verdeckt sich die Augen mit einer lichtundurchlässigen Brille, bevor er durch den Leiter in die Handhabung des Programms samt Legende eingeführt wird. Danach werden ihm geschlossene Kopfhörer angelegt, wobei die Lautstärke dem jeweiligen Wohlempfinden angepasst wird. Die Aufgabe liegt darin, durch das Bedienen eines Tablett ein dreidimensionales Modell zu erkunden und dabei die Töne zu interpretieren, welche sich durch das Erkunden stets neu bilden. Der Proband «schaut» dabei von oben auf das Modell herab und beantwortet die ihm gestellten Fragen so genau als möglich. Zusätzlich erfolgt eine Befragung bezüglich der empfundenen Schwierigkeiten. Auf Anweisung des Probanden markiert der Versuchsleiter die Zielpunkte digital.

**Diskretes Datenmodell**

Fokus	Skala	Getestet	Bewertung	Test
Perzeption	[Skala 1-5]	Anzahl Figuren		[4a]
		Form der Figuren		[4b]
		Lage der Schwerpunkte		[4c]
Orientierung		[4d]		
Grösse		[4e]		
Höhenwerte		[4f]		
Schwierigkeiten	[qual]			[4g]
Beobachtungen	[qual]			[ / ]

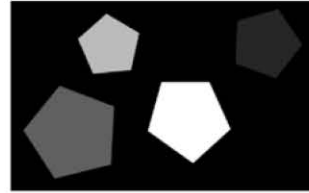
## Fragebogen Sonifikation

## Main Test 1 (Komplexitätsstufe 1)

Testserie: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

- [4]: Beim Erkunden des diskreten Datenmodells sollen die unten stehenden Fragen so genau als möglich beantwortet werden. Die geschätzten Werte werden dem Leiter genannt, gezeigt oder in ein Skizzenfeld (Seite 11) eingetragen. Vor dem Test wird dem Proband die Abbildung rechts als exemplarisches Beispiel auf dem Display gezeigt, wobei alle tatsächlichen Werte davon abweichen können.



**Anweisungen:** Sie schauen von der Vogelperspektive auf ein diskretes Höhenmodell, welches ähnlich dem der oberen Abbildung aussieht. Geometrische Formen sind auf einen Hintergrund aufgesetzt, der die Höhe von 0% hat. In der Visualisierung gilt: je heller, desto höher. Sie sollen sich ein Bild der Landschaft machen und dabei herausfinden:

1. Wie viele Figuren können Sie erkennen? [4a]
2. Welche elementare geometrische Figuren können Sie erkennen? [4b]
3. Wo liegen die Schwerpunkte der Figuren? Lassen Sie die Punkte digital markieren. [4c]
4. Wie sind die Figuren orientiert? Zeichnen Sie deren Umrisse nach. [4d]
5. Wie gross sind die Figuren? Zeichnen Sie deren Umrisse nach. [4e]
6. Welche prozentualen Werte haben die Figuren? Benutzen Sie dazu die Legende. [4f]

- [4a]: Der Proband hat herauszufinden, wie viele verschiedene Figuren sich auf dem Bildschirm befinden [# (ordinal)]. Die Frage lautet:

Wie viele Figuren können Sie erkennen?

- [4b]: Nachdem die Anzahl der Figuren bestimmt wurde, liegt es nun dabei, die Formen zu bestimmen. Es handelt sich hierbei um elementare Geometrieformen [ (nominal)]. Die Frage lautet:

Welche elementaren geometrischen Figuren können Sie erkennen?

- [4c]: Der Probanden zeichnet die verschiedenen Formen ins **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** (Seite **Fehler! Textmarke nicht definiert.**) manuell ein. Es wird empfohlen, mit der Lage der Schwerpunkte zu beginnen. Die Genauigkeit der Antwort wird durch den Abstand des eingezeichneten zum gegebenen Schwerpunkt ermittelt [px (ratio)]. Die Frage lautet:

Wo liegen die Figuren? Zeichnen Sie sie im unteren Feld ein.

- [4d]: Der Proband soll bei der Skizze auch auf die Orientierung der geometrischen Formen achten. Ermittelt wird, wie hoch die Abweichungen der skizzierten Hauptachsen zu den gegebenen Hauptachsen sind [deg (ratio)]. Die Frage lautet:

Wie sind die Figuren orientiert? Zeichnen Sie sie im unteren Feld ein.

- [4e]: Bei der Skizzierung soll der Proband nebst der Lage und der Orientierung auch die Grösse der geometrischen Formen so exakt als möglich abbilden. Gemessen wird, wie viele Prozent kleiner oder grösser die verschiedenen Formen der Skizze im Vergleich zu den gegebenen Formen sind [px (ratio)]. Die Frage lautet:

Wie gross sind diese Figuren? Zeichnen Sie sie im unteren Feld ein.

- [4f]: Jeder Form ist ein bestimmter, diskreter Wert zugeordnet, welcher als Ton erklingt und über die Legende ermittelt werden kann. Der Proband soll jeder geometrischen Form einen Wert zuordnen [m (ratio)]. Die Frage lautet:

Welche Werte haben die Figuren? Ordnen Sie jeder Figur einen Wert zu.

- [4g]: Bei dieser Aufgabe soll der Proband eine qualitative Antwort auf die Frage geben, worin die Schwierigkeit bei der Interpretation des Modells für ihn gelegen hat [qual (nominal)].



**Fragebogen Sonifikation**

**Main Test 2 (Komplexitätsstufe 2)**

Testserie: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

**Stetiges Datenmodell (künstlich)**

Fokus	Skala	Getesteter Parameter	$\alpha$	Antwort [%]	Gegeben [px]	Test
Perzeption	[Skala 1-5]	Lage des Minimums [easting/northing]	T	X:		[5a]
		Höhe des Minimums [z]		Y:		
		Steigung um Minimum [qual]		Z:		
		Lage des Maximums [easting/northing]	B	X:		[5c]
		Höhe des Maximums [z]		Y:		
		Steigung um Maximum [qual]		Z:		
		Lage weitere Senke [easting/northing]	D	X:		[5e]
		Höhe weitere Senke [z]		Z:		
		Lage weiterer Hügel [easting/northing]	H	X:		[5f]
		Höhe weiterer Hügel [z]		Y:		
Schwierigkeiten	[qual]					[5g]
Beobachtungen	[qual]					[ / ]

[5]: Beim Erkunden des stetigen Datenmodells sollen die unten stehenden Fragen so genau als möglich beantwortet werden. Die geschätzten Werte werden dem Versuchsleiter genannt oder in ein Skizzenfeld (Seite 11) eingetragen. Zusätzlich erfolgt eine Befragung des Probanden bezüglich der empfundenen Schwierigkeit des Tests.

**Anweisungen:** Sie schauen von der Vogelperspektive auf ein kontinuierliches Höhenmodell. Es gibt nun keine Objekte, die von einem Hintergrund abgekoppelt sind, stattdessen können die Höhen jegliche Werte annehmen. Sie sollen sich ein Bild der Landschaft machen und dabei sowohl Bergspitzen als auch Tiefpunkte von Senken, Tälern oder Ebenen orten und deren Werte bestimmen können.

1. Suchen Sie den tiefsten Punkt und nennen Sie dem Leiter dessen x-, y- und z-Werte als Prozentangabe.  
Alternative: Tragen Sie die Koordinaten (x, y und z) mitsamt der Beschriftung «Senke gross» im Skizzenfeld 2 ein.
2. Suchen Sie den höchsten Punkt und nennen Sie dem Leiter dessen x-, y- und z-Werte als Prozentangabe.  
Alternative: Tragen Sie die Koordinaten (x, y und z) mitsamt der Beschriftung «Berg gross» im Skizzenfeld 2 ein.
3. Bestimmen Sie nun, ob es um den Berg und um die Senke eher steil oder eher flach ist.
4. Suchen Sie eine weitere Senke, die kleiner als die erste sein muss. Nennen Sie dem Leiter deren x-, y- und z-Werte als Prozentangabe.  
Alternative: Tragen Sie die Koordinaten (x, y und z) mitsamt der Beschriftung «Senke klein» im Skizzenfeld 2 ein.
5. Suchen Sie einen weiteren Hügel, der kleiner als der erste sein muss. Nennen Sie dem Leiter dessen x-, y- und z-Werte als Prozentangabe.  
Alternative: Tragen Sie die Koordinaten (x, y und z) mitsamt der Beschriftung «Hügel klein» im Skizzenfeld 2 ein.

## Fragebogen Sonifikation

## Main Test 2 (Komplexitätsstufe 2)

Testserie: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

- [5a]: Der Proband soll die Koordinaten des tiefsten Punktes herausfinden. Er entscheidet sich für den seiner Wahrnehmung entsprechenden tiefsten Punkt, wobei der Leiter dessen Koordinaten auf Knopfdruck ( $\alpha$ ) registriert. Der Proband versucht nun, durch den Vergleich mit der Legende den x-, y- und z-Wert zu schätzen. Erstens wird gemessen, um welche Distanz sich die Angaben des Probanden von den registrierten Koordinaten unterscheiden [**px (ratio)**]. Zweitens wird gemessen, um wie viele Pixel der gesetzte Punkt vom Zielpunkt des Modells abweicht [**px (ratio)**]. Die Aufgabe lautet:

*Suchen Sie den tiefsten Punkt und nennen Sie dem Leiter dessen x-, y- und z-Werte als Prozentangabe.  
Alternative: Tragen Sie die Koordinaten (x, y und z) mitsamt der Beschriftung «Senke gross» im Skizzenfeld 2 ein.*

- [5b]: Der Proband soll die Koordinaten des höchsten Punktes herausfinden. Er entscheidet sich für den seiner Wahrnehmung entsprechenden höchsten Punkt, wobei der Leiter dessen Koordinaten auf Knopfdruck ( $\alpha$ ) registriert. Der Proband versucht nun, durch den Vergleich mit der Legende den x-, y- und z-Wert zu schätzen. Diese geschätzten Werte werden dem Leiter genannt oder im Skizzenfeld 2 eingetragen. Erstens wird gemessen, um welche Distanz sich die Angaben des Probanden von den registrierten Koordinaten unterscheiden [**px (ratio)**]. Zweitens wird gemessen, um wie viele Pixel der gesetzte Punkt vom Zielpunkt des Modells abweicht [**px (ratio)**]. Die Aufgabe lautet:

*Suchen Sie den höchsten Punkt und nennen Sie dem Leiter dessen x-, y- und z-Werte als Prozentangabe.  
Alternative: Tragen Sie die Koordinaten (x, y und z) mitsamt der Beschriftung «Berg gross» im Skizzenfeld 2 ein.*

- [5c]: Nachdem der Proband die beiden Extremwerte gefunden hat, schätzt er durch einen Vergleich die Steilheit rund um die Minimal- und Maximalwerte ab. Er darf zwischen den zwei qualitativen Werten «eher flach» oder «eher steil» entscheiden [**qual (nominal)**]. Die Aufgabe lautet:

*Bestimmen Sie nun, ob es um den Berg und um die Senke eher steil oder eher flach ist.*

- [5d]: Anschliessend soll eine Störungszone ausfindig gemacht werden, wobei eine Senke gesucht wird, welche nicht so tief wie die grosse Senke ist. Der Proband entscheidet sich einen Punkt, wobei der Leiter dessen Koordinaten auf Knopfdruck ( $\alpha$ ) registriert. Er versucht nun, durch den Vergleich mit der Legende den x-, y- und z-Wert zu schätzen. Diese geschätzten Werte werden dem Leiter genannt oder im Skizzenfeld 2 eingetragen. Erstens wird gemessen, um welche Distanz sich die Angaben des Probanden von den registrierten Koordinaten unterscheiden [**px (ratio)**]. Zweitens wird gemessen, um wie viele Pixel der gesetzte Punkt vom Zielpunkt des Modells abweicht [**px (ratio)**]. Die Aufgabe lautet:

*Suchen Sie einen weiteren Hügel, der kleiner als der erste sein muss. Nennen Sie dem Leiter dessen x-, y- und z-Werte als Prozentangabe.  
Alternative: Tragen Sie die Koordinaten (x, y und z) mitsamt der Beschriftung «Hügel klein» im Skizzenfeld 2 ein.*

- [5e]: Schliesslich soll eine Störungszone ausfindig gemacht werden, wobei ein Hügel gesucht wird, welcher nicht so hoch wie der grosse Berg ist. Der Proband entscheidet sich einen Punkt, wobei der Leiter dessen Koordinaten auf Knopfdruck ( $\alpha$ ) registriert. Er versucht nun, durch den Vergleich mit der Legende den x-, y- und z-Wert zu schätzen. Diese geschätzten Werte werden dem Leiter genannt oder im Skizzenfeld 2 eingetragen. Erstens wird gemessen, um welche Distanz sich die Angaben des Probanden von den registrierten Koordinaten unterscheiden [**px (ratio)**]. Zweitens wird gemessen, um wie viele Pixel der gesetzte Punkt vom Zielpunkt des Modells abweicht [**px (ratio)**]. Die Aufgabe lautet:

*Suchen Sie eine weitere Senke, die kleiner als die erste sein muss. Nennen Sie dem Leiter deren x-, y- und z-Werte als Prozentangabe.  
Alternative: Tragen Sie die Koordinaten (x, y und z) mitsamt der Beschriftung «Senke klein» im Skizzenfeld 2 ein.*

- [5f]: Bei dieser Aufgabe soll der Proband eine qualitative Antwort auf die Frage geben, worin die Schwierigkeit bei der Interpretation des Modells für ihn gelegen hat [**qual (nominal)**].

**Fragebogen Sonifikation**

**Main Test 3 (Komplexitätsstufe 3)**

Testserie: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

**Stetiges Datenmodell (real)**

Fokus	Skala	Getesteter Parameter	$\alpha$	Antwort	Gegeben [px]	Test		
Perzeption	[Skala 1-5]	Lage des Talgrunds [% easting/northing]	<b>T</b>	X:		[6a]		
				Y:				
				Z:				
				Tal getroffen [boolean]				[6b]
				Zone Talgrund [qual]				
				Lage der Bergspitze [% easting/northing]	<b>B</b>	X:		[6c]
						Y:		
						Z:		
				Höhe der Bergspitze [%]				[6d]
				Berg getroffen [boolean]				
				Zone Bergspitze [qual]				
				Lage See [% easting/northing]	<b>S</b>	X:		[6e]
						Y:		
						Z:		
		Höhe See [%]				[6f]		
		See getroffen [boolean]						
		Zone See [qual]						
		Höhe weiterer Hügel [m]	<b>H</b>	Z:		[6g]		
		Hügel getroffen [boolean]				[6h]		
		Zone Hügel						
		Orientierung Bergkette	<b>#</b>			[6i]		
Schwierigkeiten	[qual]					[6j]		
Beobachtungen	[qual]					[ / ]		

[6]: Beim Erkunden des stetigen Datenmodells sollen die unten stehenden Fragen so genau als möglich beantwortet werden. Die geschätzten Werte werden dem Versuchsleiter genannt und durch ihn digital markiert.

**Anweisungen:** Sie schauen von der Vogelperspektive auf ein kontinuierliches, reales Höhenmodell mit einem definierten Extent von 256 x 160 km. Machen Sie sich ein Bild der Landschaft und versuchen Sie, es so genau als möglich zu verinnerlichen und zu interpretieren. Pixel ohne Daten werden eine Oktave tiefer als der tiefste Punkt dargestellt.

1. Suchen Sie einen Talgrund – wenn möglich den tiefsten – und nennen Sie dem Leiter sowohl die Lagekoordinaten als auch die Höhe als Prozentangaben.
2. Suchen Sie eine Bergspitze – wenn möglich die höchste – und nennen Sie dem Leiter sowohl die Lagekoordinaten als auch die Höhe als Prozentangaben.
3. Suchen Sie einen See und nennen Sie dem Leiter sowohl die Lagekoordinaten als auch die Höhe als Prozentangaben.
4. Suchen Sie eine weitere Bergspitze und nennen Sie dem Leiter dessen Höhe in Metern.
5. Zeigen Sie, in welche Richtung die markanteste Bergkette verläuft und markieren Sie zwei Punkte, durch die eine Gerade verläuft, welche die Richtung der Bergkette abbildet.

[6a]: Der Proband soll die Koordinaten des tiefsten Punktes herausfinden. Der seiner Meinung entsprechend tiefste Punkt wird vom Leiter als solcher markiert, worauf der Proband das Easting [% (ratio)], das Northing [% (ratio)] und die Höhe [% (ratio)] als Prozentangabe schätzt. Anschliessend wird gemessen, um welche Distanz [px (ratio)] und

## Fragebogen Sonifikation

## Main Test 3 (Komplexitätsstufe 3)

Testserie: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

die Höhe [% (ratio)] als Prozentangabe schätzt. Anschliessend wird gemessen, um welche Distanz [px (ratio)] und um welche Höhe [m (ratio)] sich die Angaben des Probanden von den gegebenen Koordinaten unterscheiden.

Die Aufgabe lautet:

*Suchen Sie einen Talgrund – wenn möglich den tiefsten – und nennen Sie dem Leiter sowohl die Lagekoordinaten als auch die Höhe als Prozentangaben. .*

[6b] Der Leiter notiert sich, ob der Proband tatsächlich einen Talgrund gefunden hat [ (boolean)] und in welcher geographischen Region dieser gelegen hat [ (nominal)].

[6c]: Der Proband soll die Koordinaten des höchsten Punktes herausfinden. Der seiner Meinung entsprechend höchste Punkt wird vom Leiter markiert, worauf der Proband das Easting [% (ratio)], das Northing [% (ratio)] und die Höhe [% (ratio)] als Prozentangabe schätzt. Anschliessend wird gemessen, um welche Distanz [px (ratio)] und um welche Höhe [m (ratio)] sich die Angaben des Probanden von den gegebenen Koordinaten unterscheiden.

Die Aufgabe lautet:

*Suchen Sie eine Bergspitze – wenn möglich die höchste – und nennen Sie dem Leiter sowohl die Lagekoordinaten als auch die Höhe als Prozentangaben.*

[6d] Der Leiter notiert sich, ob der Proband tatsächlich eine Bergspitze gefunden hat [ (boolean)] und in welcher geographischen Region diese gelegen hat [ (nominal)].

[6e]: Der Proband soll die Koordinaten eines Sees herausfinden. Der seiner Meinung entsprechende See wird vom Leiter markiert, worauf der Proband das Easting [% (ratio)], das Northing [% (ratio)] und die Höhe [% (ratio)] als Prozentangabe schätzt. Anschliessend wird gemessen, um welche Distanz [px (ratio)] und um welche Höhe [m (ratio)] sich die Angaben des Probanden von den gegebenen Koordinaten unterscheiden.

Die Aufgabe lautet:

*Suchen Sie einen See und nennen Sie dem Leiter sowohl die Lagekoordinaten als auch die Höhe als Prozentangaben.*

[6f] Der Leiter notiert sich, ob der Proband tatsächlich eine Bergspitze gefunden hat [∅ (boolean)] und in welcher geographischen Region diese gelegen hat [∅ (nominal)].

[6g]: Der Proband soll erneut eine Bergspitze finden, wobei er nun die absolute Höhe in Metern schätzt und sie dem Leiter nennt. Das Höhenspektrum wird dem Probanden während der Durchführung genannt, sodass ein Überraschungseffekt eintritt. Anschliessend wird gemessen, um welche Höhe [m (ratio)] sich die Angaben des Probanden von den gegebenen Koordinaten unterscheiden.

Die Aufgabe lautet:

*Suchen Sie eine weitere Bergspitze und nennen Sie dem Leiter dessen Höhe in Metern.*

[6h] Der Leiter notiert sich, ob der Proband tatsächlich eine Bergspitze gefunden hat [ (boolean)] und in welcher geographischen Region diese gelegen hat [ (nominal)].

[6i]: Der Proband markiert zur Berechnung der Orientierung der Bergkette zwei Punkte, durch die eine Gerade verlaufen soll, mit «1» und «2». Er zeigt durch seine Angabe an, ob er trotz grosser Höhenvarianz erkannt hat, wie das Grobprofil des Kartenausschnittes aufgebaut ist. Gemessen wird die Abweichung seiner Angabe zum tatsächlichen Verlauf der Bergkette [° (ratio)], welche vom Programm berechnet und angezeigt wird.

Die Frage lautet:

*Zeigen Sie, in welche Richtung die markanteste Bergkette verläuft und markieren Sie zwei Punkte, durch die eine Gerade verläuft, welche die Richtung der Bergkette abbildet.*

**Fragebogen Sonifikation**

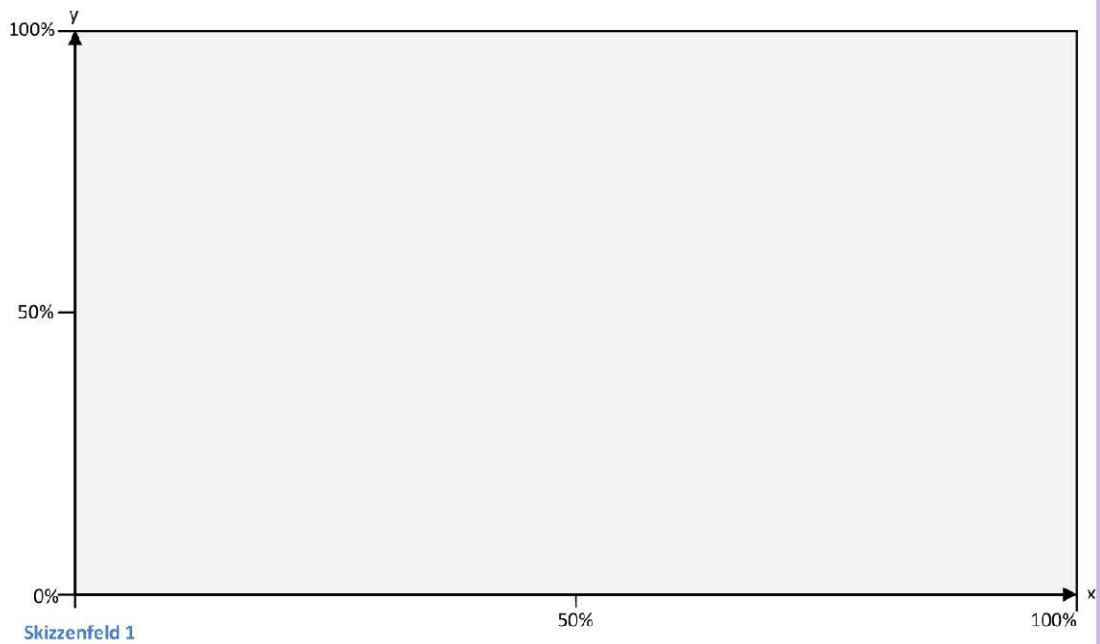
**Notizen**

Testserie: \_\_\_\_\_

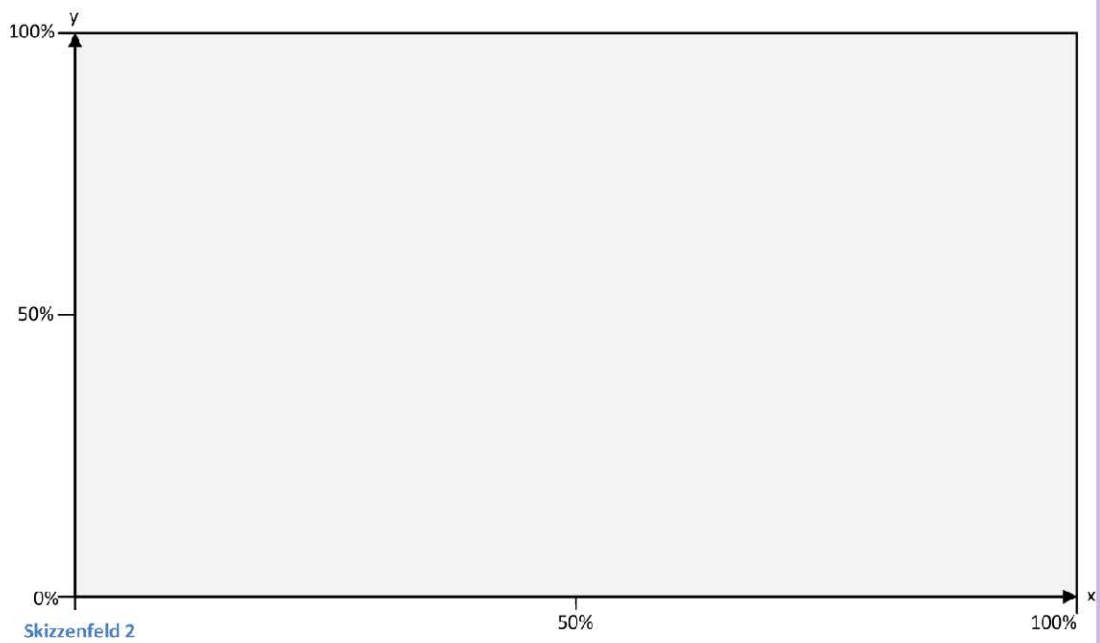
Name: \_\_\_\_\_

**Notizen**

**Skizzenfeld zur Aufgabe 4**



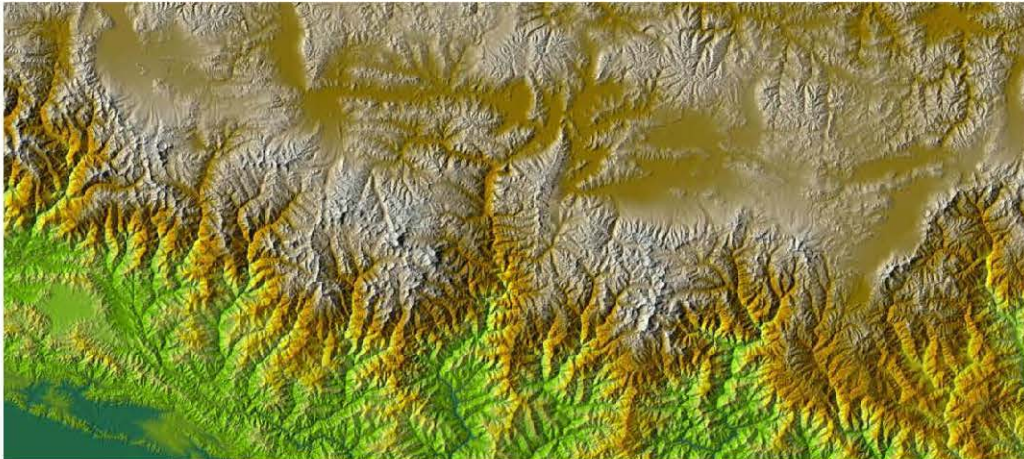
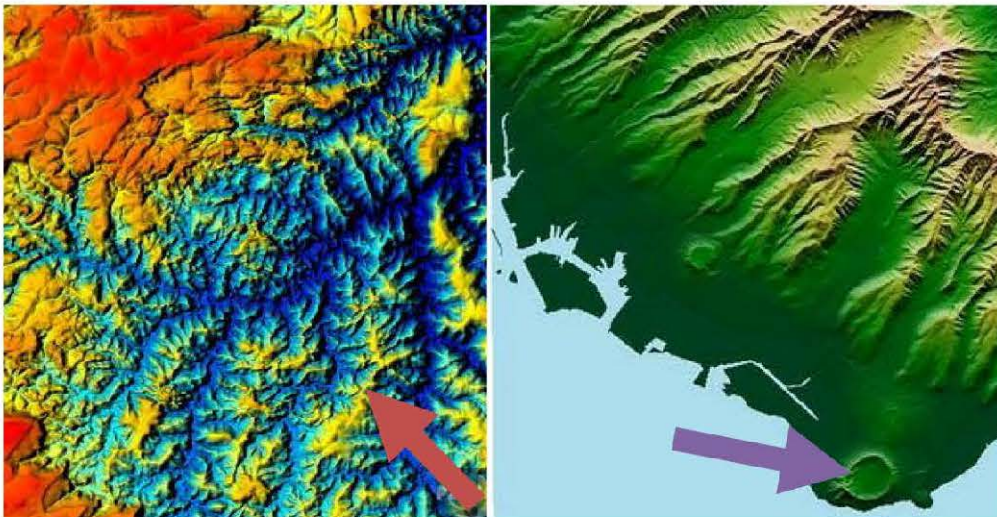
**Skizzenfeld zur Aufgabe 5**



**Fragebogen Sonifikation****Verwendete Bilder**

Testserie: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

**Verwendete Bilder****Bild Test 3a und 3d.1**Abbildung 1: (Quelle: <http://www.viewfinderpanoramas.org/dem3.html>; Zugriff: 5.9.2011).**Bild Test 3b und 3d.2****Bild Test 3c und 3d.3**Abbildung 2 (links): (Quelle: <http://rucira.com/images/Araguainha%20DEM.JPG>; Zugriff: 5.9.2011).Abbildung 3 (rechts): (Quelle: [http://mattsmapcatalog.blogspot.com/2008\\_08\\_01\\_archive.html](http://mattsmapcatalog.blogspot.com/2008_08_01_archive.html); Zugriff: 6.9.2011).

## A.2 Antworten und Auswertungen des Fragebogens

id	pers_series_3	pers_series_2	pers_name	pers_lastName	pers_age	pers_ageGrp_string	pers_gender	pers_handed	pers_hearDis_desc	pers_amblyopia_desc	pers_location	pers_date	pers_time	gamingExp_gen1	gamingExp_gen2	gamingExp_gen3	gamingExp_gen4
1	c	b/c			24	g_19-24	m	r	VOID	myopia	Zürich Irchel	13.10.2011	10:30:00	no	yes	yes	yes
2	c	b/c			26	g_25-29	m	r	VOID	myopia	Dübendorf	09.10.2011	13:30:00	no	yes	yes	no
3	c	b/c			25	g_25-29	m	r	VOID	VOID	Villmergen	16.10.2011	13:22:00	no	yes	no	no
4	c	b/c			26	g_25-29	m	r	VOID	VOID	Villmergen	16.10.2011	13:22:00	no	yes	no	no
5	c	b/c			27	g_25-29	m	r	VOID	myopia	Zürich	14.10.2011	10:05:00	no	yes	no	no
6	c	b/c			23	g_19-24	f	r	VOID	VOID	Zürich	02.10.2011	17:50:00	no	yes	no	no
7	c	b/c			23	g_19-24	f	r	VOID	VOID	Zürich	02.10.2011	17:50:00	no	no	no	no
8	c	b/c			22	g_19-24	f	r	VOID	VOID	Zürich	28.09.2011	18:09:00	no	yes	yes	no
9	b	b/c			26	g_25-29	f	r	VOID	myopia	Zürich	29.09.2011	21:00:00	no	yes	no	yes
10	c	b/c			21	g_19-24	f	r	VOID	myopia	Zürich Irchel	03.10.2011	15:55:00	no	no	yes	no
11	c	b/c			24	g_19-24	f	r	VOID	VOID	Dübendorf	01.10.2011	14:20:00	no	no	no	no
12	c	b/c			27	g_25-29	f	r	VOID	myopia	Zürich	30.09.2011	13:15:00	no	no	no	no
13	c	b/c			26	g_25-29	m	l	VOID	VOID	Dübendorf	24.09.2011	14:20:00	no	yes	yes	yes
14	c	b/c			30	g_30-39	m	r	VOID	VOID	Zürich	24.09.2011	11:10:00	yes	yes	yes	yes
15	c	b/c			27	g_25-29	m	r	VOID	myopia	Wallisellen	23.09.2011	15:22:00	no	yes	yes	yes
16	c	b/c			25	g_25-29	m	r	VOID	VOID	Dübendorf	09.09.2011	17:30:00	no	yes	yes	yes
17	b	b/c			54	g_40-more	f	r	VOID	icc + myopia	Zürich	12.10.2011	18:20:00	no	no	no	yes
18	b	b/c			27	g_25-29	m	r	VOID	VOID	Dübendorf	26.09.2011	14:00:00	no	yes	yes	yes
19	b	b/c			27	g_25-29	f	l	VOID	myopia	Zürich Irchel	04.10.2011	12:45:00	no	yes	no	no
20	b	b/c			25	g_25-29	f	r	VOID	myopia	Zürich Irchel	04.10.2011	12:45:00	no	yes	no	no
21	b	b/c			27	g_25-29	f	r	VOID	myopia	Dübendorf	28.09.2011	21:22:00	no	no	no	no
22	b	b/c			25	g_25-29	m	r	VOID	myopia	Dübendorf	02.10.2011	13:50:00	no	yes	yes	yes
23	b	b/c			26	g_25-29	f	r	VOID	myopia	Dübendorf	02.10.2011	13:50:00	no	no	no	no
24	b	b/c			27	g_25-29	m	r	VOID	VOID	Dübendorf	02.10.2011	11:30:00	no	yes	no	no
25	b	b/c			26	g_25-29	f	r	VOID	myopia	Zürich	01.10.2011	11:10:00	no	yes	no	yes
26	b	b/c			23	g_19-24	m	r	VOID	VOID	Dübendorf	24.09.2011	17:16:00	no	yes	yes	yes
27	b	b/c			25	g_25-29	f	r	VOID	myopia	Zürich	26.09.2011	12:00:00	no	yes	no	no
28	b	b/c			27	g_25-29	m	r	VOID	myopia	Zürich Irchel	27.09.2011	11:15:00	no	yes	yes	yes
29	b	b/c			19	g_19-24	f	r	VOID	myopia	Opfikon	27.09.2011	19:15:00	no	yes	yes	yes
30	b	b/c			44	g_40-more	m	r	VOID	presbyopia	Opfikon	27.09.2011	19:15:00	no	yes	yes	yes
31	b	b/c			24	g_19-24	f	r	VOID	myopia	Zürich	15.09.2011	16:25:00	no	yes	yes	no
32	b	b/c			28	g_25-29	m	r	VOID	icc + hyperopia	Dübendorf	14.09.2011	09:50:00	no	yes	yes	yes
33	b	b/c			26	g_25-29	f	r	VOID	myopia	Zürich Irchel	19.09.2011	13:13:00	no	yes	no	yes
34	b	b/c			28	g_25-29	m	r	VOID	strabismus + myopia	Dübendorf	16.09.2011	18:13:00	no	no	yes	yes
35	b	b/c			26	g_25-29	m	r	VOID	VOID	Nänikon	20.09.2011	19:45:00	no	yes	yes	yes
36	c	b/c			30	g_30-39	m	r	VOID	VOID	Zürich	15.09.2011	14:15:00	no	yes	yes	yes
37	c	b/c			26	g_25-29	f	r	VOID	myopia	Ohringen	18.09.2011	11:25:00	no	yes	no	no
38	c	b/c			26	g_25-29	m	r	VOID	hyperopia	Zürich Irchel	20.09.2011	14:14:00	no	yes	yes	yes
39	c	b/c			26	g_25-29	f	r	VOID	myopia	Dübendorf	12.09.2011	16:45:00	no	yes	yes	yes
40	c	b/c			25	g_25-29	m	l	VOID	myopia	Dübendorf	17.09.2011	16:02:00	no	yes	no	yes
41	a	a			24	g_19-24	m	r	VOID	hyperopia	Zürich	14.10.2011	18:06:00	no	no	yes	yes
42	a	a			27	g_25-29	f	r	VOID	VOID	Brugg	16.10.2011	19:10:00	no	no	no	yes
43	a	a			24	g_19-24	m	r	VOID	myopia	Dübendorf	07.10.2011	18:41:00	no	yes	no	yes
44	a	a			31	g_30-39	f	r	VOID	VOID	Zürich	17.10.2011	19:30:00	no	no	no	yes
45	a	a			28	g_25-29	m	r	VOID	icc + myopia	Zürich	17.10.2011	19:30:00	no	yes	yes	yes
46	c	b/c			21	g_19-24	f	r	VOID	VOID	Zürich Irchel	17.10.2011	15:22:00	no	yes	no	yes
47	a	a			24	g_19-24	f	r	VOID	myopia	Zürich	22.09.2011	16:45:00	no	yes	yes	yes
48	a	a			26	g_25-29	m	l	VOID	myopia	Nänikon	20.09.2011	19:45:00	no	yes	yes	yes
49	a	a			24	g_19-24	m	r	VOID	myopia	Rüti	16.09.2011	18:34:00	no	yes	yes	yes
50	a	a			26	g_25-29	m	r	VOID	myopia	Dübendorf	15.09.2011	20:06:00	yes	yes	yes	yes
51	a	a			56	g_40-more	m	r	VOID	presbyopia	Rüti	11.09.2011	15:13:00	no	yes	no	no
52	a	a			25	g_25-29	m	r	VOID	VOID	Zürich	14.09.2011	19:30:00	no	yes	yes	yes
53	a	a			21	g_19-24	m	r	VOID	myopia	Zürich Irchel	26.09.2011	15:15:00	no	yes	yes	no
54	a	a			29	g_25-29	m	r	VOID	VOID	Dübendorf	25.09.2011	13:30:00	yes	yes	yes	yes
55	a	a			28	g_25-29	f	r	VOID	icc + hyperopia	Dübendorf	25.09.2011	13:30:00	no	yes	no	no
56	a	a			27	g_25-29	m	r	VOID	VOID	Wallisellen	23.09.2011	17:22:00	no	yes	yes	yes
57	a	a			26	g_25-29	m	r	VOID	VOID	Zürich Irchel	26.09.2011	15:15:00	no	yes	yes	no
58	a	a			25	g_25-29	f	r	VOID	VOID	Zürich	30.09.2011	17:30:00	yes	yes	yes	yes
59	a	a			36	g_30-39	m	r	VOID	VOID	Zürich	30.09.2011	17:30:00	yes	yes	no	no
60	a	a			27	g_25-29	m	r	VOID	VOID	Dübendorf	12.09.2011	17:41:00	no	yes	yes	yes
61	a	a			23	g_19-24	f	l	VOID	myopia	Zürich Irchel	03.10.2011	17:50:00	no	yes	no	no

gamingExp_gen5	gamingExp_all	gamingExp_res	bType_findF_res	bType_ex_res	tab_test_res	tech_ov_unweight_res	tech_ov_unweight_resGrp	music_socialGrade_res	music_sing_res	music_intRecogn_res	music_intEst_res	music_wave_res	music_rhythm_res	music_ovR	
yes	yes	0.3	1.0000	0.7500	0.6930	0.6857	60.00-69.99%	0.25	0.4091	0	0.2542	1	0.1600	0.3456	
no	yes	0.4	1.0000	0.4018	0.5153	0.5793	50.00-59.99%	1	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	1.0000	
no	yes	0.3	1.0000	0.9000	0.2495	0.6124	60.00-69.99%	0.5	0.8636	0.875	0.9443	1	0.4667	0.7749	
yes	yes	0.4	0.6667	0.4286	0.2779	0.4433	40.00-49.99%	0.25	0.6818	1	0.625	0.9443	1	0.8667	0.7696
no	yes	0.3	1.0000	0.1678	0.5036	0.4929	40.00-49.99%	0.5	0.7273	0	0.6599	1	0.4800	0.5612	
yes	yes	0.4	1.0000	0.5143	0.2532	0.5419	50.00-59.99%	0.375	0.6364	0	0.0952	1	0.3733	0.4133	
no	no	0	0.6667	0.2195	0.3688	0.3137	30.00-39.99%	0.375	0.0909	0	0.2374	0.8	0.1600	0.2772	
no	yes	0.4	1.0000	0.3103	0.3645	0.5187	50.00-59.99%	0.625	0.7727	0.375	0.4012	1	0.6667	0.6401	
yes	yes	0.5	1.0000	0.5844	0.3098	0.5986	50.00-59.99%	0.375	0.5909	0	0.3693	1	0.3200	0.4425	
no	yes	0.1	0.3333	0.3529	0.2521	0.2596	20.00-29.99%	0.5	0.7273	0	0.1703	1	0.2933	0.4485	
no	no	0	0.0000	0.3077	0.3969	0.1761	0.00-19.99%	0.375	0.7273	0	0.2479	1	0.4267	0.4628	
no	no	0	0.0000	0.2449	0.3817	0.1567	0.00-19.99%	0.625	0.7273	0.5625	0.2069	0.6	0.5333	0.5425	
yes	yes	0.6	0.6667	0.5143	0.5355	0.5791	50.00-59.99%	0.625	0.8636	0	0.4567	1	1.0000	0.6576	
yes	yes	1	1.0000	0.1741	0.4837	0.6644	60.00-69.99%	0.5	0.7273	0	0.3807	1	0.2400	0.4742	
no	yes	0.4	0.3333	0.2162	0.8716	0.4553	40.00-49.99%	0.375	0.5909	0	0.2642	1	0.4800	0.4512	
no	yes	0.5	0.3333	0.3462	0.3589	0.3846	30.00-39.99%	0.5	0.5909	0.25	0.6707	1	0.8333	0.6408	
no	no	0	1.0000	0.3030	0.5047	0.4519	40.00-49.99%	0.25	1.0000	0.375	0.2712	1	0.1600	0.5094	
yes	yes	0.6	0.0000	0.0435	0.4488	0.2731	20.00-29.99%	0.488	0.2727	0	0.4971	0.4	0.0533	0.2456	
yes	yes	0.4	1.0000	0.7200	0.2995	0.6049	60.00-69.99%	0.5	0.8636	0	0.2995	1	0.5333	0.5327	
yes	yes	0.4	0.6667	0.7500	0.2824	0.5248	50.00-59.99%	0.625	0.8636	0.0625	0.4210	0.8	0.8333	0.6009	
no	no	0	0.0000	0.1056	0.3629	0.1171	0.00-19.99%	0.375	0.9091	0	0.0965	0.8	0.4800	0.4434	
yes	yes	0.6	0.3333	0.2000	0.4189	0.3881	30.00-39.99%	0.25	0.5000	0	0.1312	0.8	0.1600	0.3069	
no	no	0	0.6667	0.2273	0.0671	0.2403	20.00-29.99%	0.25	0.3182	0	0.1425	0.8	0.1067	0.2696	
no	yes	0.3	0.0000	0.2182	0.2928	0.2027	20.00-29.99%	0.625	1.0000	0.25	0.2538	1	0.5667	0.6159	
yes	yes	0.5	1.0000	0.4433	0.3231	0.5666	50.00-59.99%	0.5	0.0000	0.5	0.3797	0.6	0.1867	0.3611	
no	yes	0.5	0.6667	0.3462	0.7622	0.5688	50.00-59.99%	0.875	1.0000	1	1.0000	1	1.0000	0.9792	
no	yes	0.3	0.6667	0.3704	0.3215	0.4146	40.00-49.99%	0.25	0.3182	0	0.3712	0.8	0.1867	0.3210	
no	yes	0.5	1.0000	0.1538	0.2172	0.4678	40.00-49.99%	0.25	0.1818	0	0.3836	1	0.0533	0.3115	
yes	yes	0.6	1.0000	0.5769	0.2494	0.6066	60.00-69.99%	0.375	0.4091	0	0.1940	0.8	0.1067	0.3141	
yes	yes	0.6	0.0000	0.1169	0.1622	0.2198	20.00-29.99%	0.25	0.2273	0	0.2570	0.8	0.1067	0.2735	
no	yes	0.4	0.6667	0.4500	0.6475	0.5410	50.00-59.99%	0.75	0.6364	0	0.6639	1	0.5867	0.6062	
no	yes	0.5	0.6667	0.6000	0.6022	0.5922	50.00-59.99%	0.5	0.1818	0	0.5154	1	0.2400	0.4062	
no	yes	0.4	0.6667	0.3782	0.4370	0.4705	40.00-49.99%	0.625	0.7273	0.25	0.6074	1	0.8333	0.6738	
no	yes	0.2	0.6667	0.2922	0.6393	0.4495	40.00-49.99%	0.25	0.4545	0	0.2350	1	0.1333	0.3455	
yes	yes	0.6	0.0000	0.3349	0.9811	0.4790	40.00-49.99%	0.25	0.4091	0	0.4242	0.8	0.4000	0.3805	
yes	yes	0.6	0.3333	0.2795	0.6402	0.4633	40.00-49.99%	0.5	0.9091	0	0.6777	1	0.3733	0.5767	
no	yes	0.3	1.0000	0.2250	0.5446	0.5174	50.00-59.99%	0.75	1.0000	0.875	0.3175	1	0.5667	0.7515	
yes	yes	0.6	0.0000	0.3750	0.8411	0.4540	40.00-49.99%	0.25	0.6364	0	0.4851	0.8	0.5867	0.4592	
yes	yes	0.6	0.6667	0.4091	0.5119	0.5469	50.00-59.99%	0.375	0.2727	0.25	0.0749	1	0.3733	0.3910	
no	yes	0.4	0.0000	0.2093	0.8812	0.3776	30.00-39.99%	0.375	0.2273	0	0.5154	1	0.1067	0.3707	
no	yes	0.2	1.0000	0.6923	0.5183	0.6027	60.00-69.99%	0.875	0.8636	0.5	0.6850	1	0.8000	0.7873	
yes	yes	0.2	0.6667	0.3000	0.2475	0.3536	30.00-39.99%	0.5	0.6818	0	0.6242	1	0.6667	0.5788	
no	yes	0.4	0.3333	0.2939	0.6423	0.4174	40.00-49.99%	0.75	1.0000	0.75	0.5635	1	0.8333	0.8161	
yes	yes	0.2	0.0000	0.1644	0.4900	0.2136	20.00-29.99%	0.25	0.5909	0	0.5830	1	0.3467	0.4618	
yes	yes	0.6	0.6667	0.2256	0.2650	0.4393	40.00-49.99%	0.25	0.1818	0	0.2681	1	0.4533	0.3589	
yes	yes	0.5	1.0000	0.4500	0.5106	0.6152	60.00-69.99%	0.5	0.9091	0	0.3175	1	0.4533	0.5300	
yes	yes	0.6	0.6667	0.4839	0.2600	0.5026	50.00-59.99%	0.5	0.8636	0	0.6763	0.8	0.5600	0.5667	
yes	yes	0.6	0.0000	0.2553	0.5369	0.3481	30.00-39.99%	0.875	0.9091	0.125	0.3578	0.6	0.4267	0.5489	
yes	yes	0.6	1.0000	1.0000	0.6797	0.8199	80.00-89.99%	0.625	1.0000	0.625	0.5540	1	0.1333	0.6562	
yes	yes	1	0.6667	0.1698	0.4678	0.5761	50.00-59.99%	0.875	0.8636	0.5	0.3375	1	0.4333	0.6682	
no	yes	0.3	0.3333	0.2000	1.0000	0.4583	40.00-49.99%	0.25	0.8636	0	0.0850	1	0.1067	0.3842	
yes	yes	0.6	0.0000	0.2618	0.5941	0.3640	30.00-39.99%	0.375	0.7273	0	0.6763	1	1.0000	0.6298	
no	yes	0.4	1.0000	0.3896	0.2033	0.4982	40.00-49.99%	0.25	0.4545	0	0.3693	1	0.1067	0.3634	
yes	yes	1	0.0000	0.1659	0.3882	0.3885	30.00-39.99%	0.25	0.2727	0	0.3300	1	0.4533	0.3843	
no	yes	0.3	1.0000	0.2564	0.5481	0.5261	50.00-59.99%	0.375	0.3636	0	0.2717	0.9	0.1600	0.3451	
yes	yes	0.6	0.6667	0.7200	0.6953	0.6705	60.00-69.99%	0.625	0.7273	0	0.5532	1	0.8333	0.6231	
no	no	0.4	0.0000	0.0769	0.2509	0.1820	0.00-19.99%	0.5	0.1818	0	0.3286	1	0.1867	0.3662	
no	yes	0.9	0.0000	0.4235	0.2872	0.4027	40.00-49.99%	0.375	0.6364	0	0.6487	1	0.5333	0.5322	
no	yes	0.7	1.0000	0.2368	0.3058	0.5607	50.00-59.99%	0.875	0.8636	0	0.5532	1	0.4000	0.6153	
yes	yes	0.6	0.0000	0.2571	0.5960	0.3633	30.00-39.99%	0.25	0.7727	0.375	0.5335	1	0.2400	0.5285	
no	yes	0.3	0.6667	0.3333	0.3735	0.4184	40.00-49.99%	0.5	0.4545	0.125	0.2326	0.6	0.3333	0.3742	



music_ovR_resGrp	geo_exempl1_res	geo_exempl2_res	geo_exempl3_res	geo_add_res	geo_ovR	geo_ovRGrp	t1_figures_total	t1_figureT	t1_figureT_true	t1_figureT_distAcc	t1_figureT_orient_cat	t1_figureT_inFigure_bool	t1_figureT_size_rel	t1_figureT_size_estAcc
30.00-39.99%	1.0000	0.9833	1.0000	0.8333	0.9714	90.00-100.00%	3	c	no	0.8281	0	yes	0.6046	0.6046
90.00-100.00%	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.8571	80.00-89.99%	3	t	yes	0.5656	0.8	no	0.92	0.92
70.00-79.99%	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	90.00-100.00%	3	c	no	0.6742	0	yes	0.6046	0.6046
70.00-79.99%	1.0000	1.0000	0.7333	1.0000	0.9238	90.00-100.00%	3	t	yes	0.9367	1	no	0.95	0.95
50.00-59.99%	1.0000	0.8500	1.0000	0.5000	0.8857	80.00-89.99%	3	t	yes	0.8054	0.8	no	0.9	0.9
40.00-49.99%	0.7333	1.0000	1.0000	0.3333	0.8286	80.00-89.99%	4	t	yes	0.7149	0.6	no	0.85	0.85
20.00-29.99%	0.9333	0.6333	1.0000	0.8333	0.8524	80.00-89.99%	5	t	yes	0.9502	1	no	0.9	0.9
60.00-69.99%	1.0000	0.7000	0.9333	0.3333	0.8000	80.00-89.99%	3	t	yes	0.8235	1	no	0.7	0.7
40.00-49.99%	0.7333	0.4667	0.7000	0.6667	0.6381	60.00-69.99%	3	t	yes	0.7059	0.6	no	0.8	0.8
40.00-49.99%	0.9333	0.7000	1.0000	0.3333	0.8000	80.00-89.99%	4	c	no	0.4932	0	no	0.85	0.85
40.00-49.99%	0.9333	0.7000	1.0000	0.0000	0.7524	70.00-79.99%	3	c	no	0.7964	0	no	0.8	0.8
50.00-59.99%	1.0000	1.0000	1.0000	0.5000	0.9286	90.00-100.00%	3	t	yes	0.5747	0.8	no	0.9	0.9
60.00-69.99%	1.0000	1.0000	1.0000	0.3333	0.9048	90.00-100.00%	3	r	no	0.7240	0.2	no	1.06	0.94
40.00-49.99%	1.0000	1.0000	1.0000	0.3333	0.9048	90.00-100.00%	4	t	yes	0.8824	1	no	0.98	0.98
40.00-49.99%	1.0000	1.0000	1.0000	0.3333	0.9048	90.00-100.00%	4	c	no	0.8190	0	no	1.1	0.9
60.00-69.99%	1.0000	0.7333	1.0000	0.6667	0.8762	80.00-89.99%	3	t	yes	0.7828	0.8	no	0.9	0.9
50.00-59.99%	1.0000	1.0000	1.0000	0.3333	0.9048	90.00-100.00%	3	c	no	0.6787	0.2	no	0.6	0.6
20.00-29.99%	1.0000	0.1667	0.8500	0.0000	0.5762	50.00-59.99%	3	t	yes	0.6471	0.8	no	0.5	0.5
50.00-59.99%	0.8500	0.6333	0.9833	0.3333	0.7524	70.00-79.99%	3	t	yes	0.7964	0.6	no	0.85	0.85
60.00-69.99%	0.7333	0.6333	1.0000	0.3333	0.7238	70.00-79.99%	4	t	yes	0.8869	0.8	no	0.85	0.85
40.00-49.99%	0.9333	0.9833	1.0000	0.3333	0.8810	80.00-89.99%	3	t	yes	0.6787	0.8	no	0.95	0.95
30.00-39.99%	0.9667	0.7000	1.0000	0.5000	0.8333	80.00-89.99%	4	t	yes	0.7647	0.4	no	0.75	0.75
20.00-29.99%	0.9333	0.9833	1.0000	0.6667	0.9286	90.00-100.00%	3	t	yes	0.6742	0.4	no	0.92	0.92
60.00-69.99%	1.0000	1.0000	1.0000	0.6667	0.9524	90.00-100.00%	3	c	no	0.5611	0	no	0.2	0.2
30.00-39.99%	1.0000	0.7000	1.0000	0.0000	0.7714	70.00-79.99%	3	t	yes	0.7964	1	no	0.97	0.97
90.00-100.00%	1.0000	0.3667	0.9333	0.3333	0.7048	70.00-79.99%	3	c	no	0.5792	0.2	no	0.82	0.82
30.00-39.99%	0.4000	0.5500	0.6333	0.0000	0.4524	40.00-49.99%	4	r	no	0.5882	0.8	no	0.5	0.5
30.00-39.99%	1.0000	1.0000	0.9333	0.3333	0.8857	80.00-89.99%	3	t	yes	0.4072	0.8	no	0.85	0.85
30.00-39.99%	0.9833	0.5500	1.0000	0.3333	0.7714	70.00-79.99%	3	t	yes	0.7104	0.6	no	0.9	0.9
20.00-29.99%	0.9333	0.4333	1.0000	0.1667	0.7000	70.00-79.99%	3	t	yes	0.8733	1	no	0.9	0.9
60.00-69.99%	0.7333	0.7000	0.9333	0.1667	0.7000	70.00-79.99%	3	t	yes	0.4389	0.8	no	0.7	0.7
40.00-49.99%	1.0000	0.4167	0.9333	0.3333	0.7190	70.00-79.99%	3	t	yes	0.8869	1	no	0.85	0.85
60.00-69.99%	1.0000	0.6833	0.9333	0.6667	0.8429	80.00-89.99%	4	r	no	0.7873	0.8	no	0.7	0.7
30.00-39.99%	0.8500	0.5500	0.7833	0.3333	0.6714	60.00-69.99%	3	c	no	0.3439	0	no	0.3	0.3
30.00-39.99%	1.0000	0.9333	0.9333	0.3333	0.8667	80.00-89.99%	3	c	no	0.7738	0.8	no	0.9	0.9
50.00-59.99%	1.0000	1.0000	1.0000	0.8333	0.9762	90.00-100.00%	3	t	yes	0.9864	1	no	1.02	0.98
70.00-79.99%	0.6667	0.2833	0.0333	0.6667	0.3762	30.00-39.99%	3	r	no	0.7421	1	no	0.35	0.35
40.00-49.99%	1.0000	1.0000	1.0000	0.3333	0.9048	90.00-100.00%	3	t	yes	0.8733	0.6	no	0.95	0.95
30.00-39.99%	1.0000	1.0000	0.9333	0.6667	0.9333	90.00-100.00%	3	r	no	0.8643	0.8	no	0.7	0.7
30.00-39.99%	1.0000	0.7000	0.9333	0.6667	0.8476	80.00-89.99%	3	t	yes	0.8145	1	no	0.9	0.9
70.00-79.99%	1.0000	1.0000	0.7333	0.1667	0.8048	80.00-89.99%	3	t	yes	0.6833	0.8	no	0.98	0.98
50.00-59.99%	0.4667	1.0000	1.0000	0.6667	0.8000	80.00-89.99%	3	c	no	0.6244	0	no	0.35	0.35
80.00-89.99%	1.0000	1.0000	1.0000	0.3333	0.9048	90.00-100.00%	3	t	yes	0.7421	1	no	0.95	0.95
40.00-49.99%	0.7333	0.7167	0.7333	0.3333	0.6714	60.00-69.99%	3	t	yes	0.9819	0.2	no	0.6	0.6
30.00-39.99%	0.7333	0.8500	0.7333	0.6667	0.7571	70.00-79.99%	4	t	yes	0.6697	0.8	no	0.88	0.88
50.00-59.99%	1.0000	1.0000	0.9333	0.6667	0.9333	90.00-100.00%	3	t	yes	0.8462	0	no	1.15	0.85
50.00-59.99%	0.5833	0.7000	0.9333	0.8333	0.7524	70.00-79.99%	3	t	yes	0.9321	1	no	1	1
50.00-59.99%	1.0000	1.0000	0.9333	0.3333	0.8857	80.00-89.99%	3	t	yes	0.6878	1	no	1.02	0.98
60.00-69.99%	0.7167	1.0000	0.9333	0.5000	0.8286	80.00-89.99%	3	t	yes	0.9367	0.2	no	0.9	0.9
60.00-69.99%	1.0000	0.6333	1.0000	0.5000	0.8048	80.00-89.99%	3	r	no	0.5475	0.8	no	0.8	0.8
30.00-39.99%	0.8500	0.7000	0.9333	0.1667	0.7333	70.00-79.99%	3	t	yes	0.7873	0.4	no	0.9	0.9
60.00-69.99%	1.0000	0.7333	1.0000	0.6667	0.8762	80.00-89.99%	3	t	yes	0.3077	1	no	0.93	0.93
30.00-39.99%	1.0000	0.9833	1.0000	0.3333	0.9000	90.00-100.00%	3	t	yes	0.8235	0.8	no	0.97	0.97
30.00-39.99%	1.0000	0.6167	0.6667	0.1667	0.6762	60.00-69.99%	3	r	no	0.3077	0	no	0.7	0.7
30.00-39.99%	0.7833	0.5833	0.9333	0.6667	0.7524	70.00-79.99%	3	rh	no	0.4389	0.8	no	0.75	0.75
60.00-69.99%	1.0000	1.0000	0.9333	0.8333	0.9571	90.00-100.00%	3	t	yes	0.7421	0.8	no	0.5	0.5
30.00-39.99%	1.0000	0.1500	0.9333	0.3333	0.6429	60.00-69.99%	3	r	no	0.2262	0.6	no	0.35	0.35
50.00-59.99%	1.0000	0.7000	1.0000	0.6667	0.8667	80.00-89.99%	3	r	no	0.9321	0.8	no	0.35	0.35
60.00-69.99%	0.8500	0.7000	1.0000	0.3333	0.7762	70.00-79.99%	3	c	no	0.9140	0	no	1.25	0.75
50.00-59.99%	1.0000	1.0000	0.9333	0.3333	0.8857	80.00-89.99%	3	t	yes	0.8733	0.6	no	0.8	0.8
30.00-39.99%	0.6667	0.7000	1.0000	0.0000	0.6762	60.00-69.99%	3	t	yes	0.6787	0.8	no	0.7	0.7

t1_figureT_heightDiff	t1_figureT_heightDiff_estAcc	t1_figureT_res	t1_figureC	t1_figureC_true	t1_figureT_distAcc	t1_figureC_inFigure_bool	t1_figureC_size_rel	t1_figureC_size_estAcc	t1_figureC_heightDiff	t1_figureC_heightDiff_estAcc	t1_figureC_res	t1_figureR
0.1137	0.8863	0.4638	t	no	0.5550	no	0.35	0.35	0	1	0.4762	r
0.0637	0.9363	0.8444	c	yes	0.6126	no	0.8	0.8	0	1	0.8531	r
0.0137	0.9863	0.4530	t	no	0.7382	no	0.4	0.4	0	1	0.5346	t
0.1471	0.8529	0.9479	r	no	0.8377	yes	0.6366	0.6366	0	1	0.6186	t
0.0637	0.9363	0.8883	r	no	0.8691	no	0.85	0.85	0	1	0.6798	r
0.0137	0.9863	0.8302	r	no	0.8325	yes	0.6366	0.6366	-0.05	0.95	0.6048	c
0.1137	0.8863	0.9473	c	yes	0.5707	no	0.95	0.95	-0.1	0.9	0.8552	r
0.2137	0.7863	0.8620	t	no	0.5550	yes	0.7162	0.7162	0	1	0.5678	r
-0.0863	0.9137	0.8039	r	no	0.9267	no	0.65	0.65	0	1	0.6442	r
0.2137	0.7863	0.4259	r	no	0.7382	yes	0.6366	0.6366	0	1	0.5937	t
0.0637	0.9363	0.5065	t	no	0.6963	yes	0.7162	0.7162	0	1	0.6031	r
-0.2863	0.7137	0.7977	c	yes	0.8377	no	0.9	0.9	0	1	0.9344	t
0.0137	0.9863	0.5701	c	yes	0.6073	no	0.88	0.88	0	1	0.8718	t
-0.1863	0.8137	0.9352	c	yes	0.4817	no	0.9	0.9	0	1	0.8454	r
0.0137	0.9863	0.5411	t	no	0.3037	no	0.75	0.75	0	1	0.5134	c
0.0137	0.9863	0.8938	c	yes	0.7435	no	0.9	0.9	0	1	0.9109	t
-0.1863	0.8137	0.4585	c	yes	0.4660	no	0.9	0.9	0	1	0.8415	t
0.1137	0.8863	0.7667	r	no	0.5969	no	0.85	0.85	0	1	0.6117	t
0.0637	0.9363	0.8365	r	no	0.5654	yes	0.6366	0.6366	0	1	0.5505	c
-0.0863	0.9137	0.8901	c	yes	0.5550	no	0.95	0.95	0	1	0.8762	r
0.1137	0.8863	0.8630	r	no	0.5654	no	1.15	0.85	0	1	0.6039	c
0.1137	0.8863	0.7602	t	no	0.5497	yes	0.6366	0.6366	0	1	0.5466	c
0.0937	0.9063	0.7801	c	yes	0.6073	no	0.98	0.98	0	1	0.8968	r
0.1137	0.8863	0.3295	t	no	0.5079	yes	0.7162	0.7162	0	1	0.5560	r
-0.0263	0.9737	0.9480	c	yes	0.8010	no	0.95	0.95	0	1	0.9378	r
-0.0593	0.9407	0.5080	t	no	0.5969	yes	0.7162	0.7162	0	1	0.5783	c
-0.2863	0.7137	0.5204	t	no	0.8796	yes	0.7162	0.7162	0	1	0.6489	r
-0.1863	0.8137	0.7742	c	yes	0.5654	no	0.95	0.95	0	1	0.8789	c
0.1137	0.8863	0.8193	c	yes	0.4346	no	0.84	0.84	0	1	0.8186	r
0.2137	0.7863	0.9119	c	yes	0.5183	no	0.95	0.95	0	1	0.8671	r
-0.0863	0.9137	0.7705	r	no	0.8220	no	0.85	0.85	0	1	0.6680	r
-0.0863	0.9137	0.9301	p	no	0.5288	no	0.97	0.97	0	1	0.6247	t
-0.1863	0.8137	0.6202	c	yes	0.7068	no	0.85	0.85	0	1	0.8892	t
0.1337	0.8663	0.3020	r	no	0.8743	yes	0.6366	0.6366	-0.1	0.9	0.6027	t
0.1237	0.8763	0.6700	c	yes	0.7277	no	0.88	0.88	0	1	0.9019	r
-0.0196	0.9804	0.9894	c	yes	0.9424	no	0.97	0.97	0	1	0.9781	r
0.1137	0.8863	0.5957	t	no	0.7539	yes	0.7162	0.7162	0	1	0.6175	r
-0.0863	0.9137	0.8674	t	no	0.8010	no	0.8	0.8	0	1	0.6503	r
0.2137	0.7863	0.6301	c	yes	0.6073	no	0.95	0.95	0	1	0.8893	t
0.1137	0.8863	0.9202	c	yes	0.8534	no	0.98	0.98	0	1	0.9584	r
0.0137	0.9863	0.8899	c	yes	0.5026	no	0.98	0.98	0	1	0.8707	r
-0.1863	0.8137	0.3576	r	no	0.5969	yes	0.6366	0.6366	0	1	0.5584	t
0.1137	0.8863	0.9157	r	no	0.5026	yes	0.6366	0.6366	0	1	0.5348	r
0.2137	0.7863	0.7136	t	no	0.2618	no	0.9	0.9	0	1	0.5404	t
0.1137	0.8863	0.8472	r	no	0.5026	no	0.85	0.85	0	1	0.5882	r
0.1373	0.8627	0.7118	c	yes	0.8586	no	1.01	0.99	0	1	0.9622	r
-0.0863	0.9137	0.9692	r	no	0.4817	yes	0.6366	0.6366	0	1	0.5296	r
0.1337	0.8663	0.9068	r	no	0.6597	yes	0.6366	0.6366	-0.02	0.98	0.5691	c
0.0137	0.9863	0.8046	c	yes	0.7435	no	0.9	0.9	0	1	0.9109	c
0.1637	0.8363	0.5968	r	no	0.5393	no	0.8	0.8	0	1	0.5848	t
-0.1863	0.8137	0.7802	c	yes	0.7696	no	0.9	0.9	-0.05	0.95	0.9049	r
0.2137	0.7863	0.8048	c	yes	0.6702	no	1.02	0.98	0	1	0.9125	t
-0.0196	0.9804	0.9148	c	yes	0.8220	no	0.95	0.95	0	1	0.9430	r
-0.2863	0.7137	0.3443	c	yes	0.3822	no	0.75	0.75	-0.2	0.8	0.7330	r
0.2137	0.7863	0.5550	r	no	0.3508	yes	0.6366	0.6366	0	1	0.4968	r
0.0137	0.9863	0.8057	c	yes	0.7068	no	0.4	0.4	0	1	0.7767	rh
-0.0863	0.9137	0.4180	c	yes	0.4974	no	0.95	0.95	-0.1	0.9	0.8368	r
-0.2863	0.7137	0.5592	c	yes	0.7277	no	0.9	0.9	-0.15	0.85	0.8694	r
0.0637	0.9363	0.5201	t	no	0.8010	no	0.55	0.55	0	1	0.5878	r
0.1137	0.8863	0.8319	c	yes	0.6963	no	0.95	0.95	0	1	0.9116	r
0.2137	0.7863	0.7930	r	no	0.4660	no	0.35	0.35	-0.02	0.98	0.4490	c

t1_figureR_true	t1_figureR_distAcc	t1_figureR_orient_cat	t1_figureR_inFigure_bool	t1_figureR_size_rel	t1_figureR_size_estAcc	t1_figureR_heightDiff	t1_figureR_heightDiff_estAcc	t1_figureR_res	t1_distance_rel	t1_shapeRecognition	t1_orient_estAcc	t1_orient_estAcc_iStep
yes	0.6616	0.4	no		0.65	0.2490	0.6925	0.6815	0.6815	0.3333		0.2
yes	0.8707	1	no		0.98	0.2490	0.7510	0.6830	0.6830	1.0000		0.9
no	0.8631	0.6	no		0.6	0.0824	0.9176	0.5962	0.7585	0.0000		0.3
no	0.6084	0.4	no		0.95	0.1490	0.8510	0.5619	0.7942	0.3333		0.7
yes	0.8745	0.4	no		0.95	0.2490	0.7510	0.7951	0.8497	0.6667		0.6
no	0.6996	0	yes		0.7854	0.2490	0.7510	0.4472	0.7490	0.3333		0.3
yes	0.9468	0.4	no		0.7	0.2490	0.7510	0.7595	0.8226	1.0000		0.7
yes	0.8783	0.4	no		0.75	0.2490	0.7510	0.7559	0.7523	0.6667		0.7
yes	0.8327	0.4	no		1	0.2490	0.7510	0.7967	0.8218	0.6667		0.5
no	0.8441	0.6	no		0.7	0.1490	0.8510	0.5990	0.6918	0.0000		0.3
yes	0.5247	0.6	no		0.9	0.2490	0.7510	0.7551	0.6725	0.3333		0.3
no	0.7148	0.6	no		0.7	0.0490	0.9510	0.5932	0.7091	0.6667		0.7
no	0.8327	0.4	no		0.85	0.2490	0.7510	0.5667	0.7213	0.3333		0.3
yes	0.9087	0.6	no		0.9	-0.1010	0.8990	0.8616	0.7576	1.0000		0.8
no	0.7490	0	no		1.2	0.1490	0.8510	0.4800	0.6239	0.0000		0
no	0.7338	0.6	no		0.7	0.1490	0.8510	0.5770	0.7534	0.6667		0.7
no	0.6920	0.6	no		0.55	0.1490	0.8510	0.5386	0.6122	0.3333		0.4
no	0.7719	1	no		0.7	0.2490	0.7510	0.6446	0.6719	0.3333		0.9
no	0.2281	0	no		0.25	0.0490	0.9510	0.2858	0.5300	0.3333		0.3
yes	0.5856	0.6	no		0.8	0.0824	0.9176	0.7806	0.6758	1.0000		0.7
no	0.5894	0	no		0.3	-0.0510	0.9490	0.3677	0.6112	0.3333		0.4
no	0.5817	0	yes		0.7854	0.2490	0.7510	0.4236	0.6321	0.3333		0.2
yes	0.6426	0.8	no		0.85	0.1990	0.8010	0.8187	0.6414	1.0000		0.6
yes	0.8327	0.4	no		0.9	0.2490	0.7510	0.7767	0.6339	0.3333		0.2
yes	0.8251	1	no		0.92	0.0490	0.9510	0.9392	0.8075	1.0000		1
no	0.8821	0	no		0.3	0.0824	0.9176	0.4200	0.6861	0.0000		0.1
yes	0.6464	0.4	no		0.4	0.4490	0.5510	0.5995	0.7047	0.3333		0.6
no	0.7490	0	yes		0.7854	0.1490	0.8510	0.4771	0.5739	0.6667		0.4
yes	0.4144	0.8	no		0.9	0.1490	0.8510	0.7931	0.5198	1.0000		0.7
yes	0.8289	1	no		0.92	0.3490	0.6510	0.8800	0.7402	1.0000		1
yes	0.5856	0.6	no		0.65	0.1490	0.8510	0.7373	0.6155	0.6667		0.7
no	0.7072	0.8	no		0.85	0.1490	0.8510	0.6416	0.7076	0.3333		0.9
no	0.7795	0.4	no		0.7	0.0990	0.9010	0.5561	0.7579	0.3333		0.6
no	0.8859	0.8	no		0.55	0.3490	0.6510	0.5774	0.7014	0.0000		0.4
yes	0.7605	0	no		0.9	0.0490	0.9510	0.7223	0.7540	0.6667		0.4
yes	0.9582	1	no		0.99	0.2490	0.7510	0.9398	0.9623	1.0000		1
yes	0.6882	0.4	no		0.4	0.2490	0.7510	0.6478	0.7281	0.3333		0.7
yes	0.7947	1	no		1.15	0.1490	0.8510	0.8991	0.8230	0.6667		0.8
no	0.4335	1	no		0.93	-0.0510	0.9490	0.6625	0.6350	0.3333		0.9
yes	0.3650	0.4	no		0.88	0.2490	0.7510	0.6792	0.6776	1.0000		0.7
yes	0.7034	0.8	no		0.92	0.1490	0.8510	0.8549	0.6298	1.0000		0.8
no	0.5779	0.2	no		0.6	0.0490	0.9510	0.4658	0.5997	0.0000		0.1
yes	0.4373	0.6	no		0.95	-0.0010	0.9990	0.7973	0.5607	0.6667		0.8
no	0.8251	0.6	no		0.5	0.2490	0.7510	0.5352	0.6896	0.3333		0.4
yes	0.8707	1	no		0.96	0.1490	0.8510	0.9363	0.6810	0.6667		0.9
yes	0.9354	0.8	no		1.1	0.1912	0.8088	0.8888	0.8801	1.0000		0.4
yes	0.8023	0.6	no		0.9	0.1490	0.8510	0.8307	0.7387	0.6667		0.8
no	0.1901	1	no		0.2	0.4490	0.5510	0.3882	0.5125	0.3333		1
no	0.8365	0	yes		0.7854	0.1490	0.8510	0.4946	0.8389	0.6667		0.1
no	0.8707	0.6	no		0.95	0.2490	0.7510	0.6343	0.6525	0.0000		0.7
yes	0.9316	1	no		0.99	0.0490	0.9510	0.9745	0.8295	1.0000		0.7
no	0.3080	1	no		1.05	0.3990	0.6010	0.5718	0.4286	0.6667		1
yes	0.5551	1	no		0.97	0.0824	0.9176	0.8886	0.7336	1.0000		0.9
yes	0.5894	0.4	yes		0.5	0.0490	0.9510	0.6881	0.4264	0.6667		0.2
yes	0.8403	0.6	no		0.8	0.4490	0.5510	0.7583	0.5433	0.3333		0.7
no	0.7414	0.6	no		0.95	0.2990	0.7010	0.5985	0.7301	0.6667		0.7
yes	0.8365	0.4	no		0.7	0.1490	0.8510	0.7575	0.5200	0.6667		0.5
yes	0.6768	0.6	no		0.75	0.0490	0.9510	0.7956	0.7789	0.6667		0.7
yes	0.6882	0.2	no		0.5	0.0490	0.9510	0.6678	0.8011	0.3333		0.1
yes	0.7110	1	no		0.95	0.4490	0.5510	0.8424	0.7602	1.0000		0.8
no	0.7757	0	no		0.2	0.1490	0.8510	0.3653	0.6401	0.3333		0.4

t1_size_estAcc_Step	t1_heightEstimation_Step	t1_ovR	t1_ovRGrp	t2_dDeep_slope_rightOrWrong	t2_dDeep_xPerc_diffToGivPerc	t2_dDeep_xPerc_diffToTgtPerc	t2_dDeep_yPerc_diffToGivPerc	t2_dDeep_yPerc_diffToTgtPerc	t2_dDeep_zPerc_diffToGivPerc
0.5349	0.8791	0.5490	50.00-59.99%	1	0.0516	0.0531	0.0738	0.0663	0.2000
0.9000	0.8958	0.8740	80.00-89.99%	1	0.0716	0.0723	0.0738	0.0788	0.1600
0.5349	0.9680	0.5274	50.00-59.99%	1	0.1016	0.1078	-0.1263	-0.1100	0.2500
0.8455	0.9013	0.7159	70.00-79.99%	1	0.0016	0.0031	0.1238	0.1300	0.1667
0.9000	0.8958	0.7955	70.00-79.99%	1	0.0516	0.0547	0.1738	0.2063	0.2500
0.7573	0.8958	0.6290	60.00-69.99%	0	0.0016	-0.0039	0.1738	0.1888	0.3500
0.8500	0.8458	0.8539	80.00-89.99%	0	-0.1484	-0.1477	-0.1263	-0.1900	0.4000
0.7221	0.8458	0.7400	70.00-79.99%	1	0.0516	0.0828	0.0738	0.0863	0.3500
0.8167	0.8882	0.7557	70.00-79.99%	1	0.0516	0.0547	0.1738	0.1513	0.3000
0.7289	0.8791	0.5357	50.00-59.99%	0	-0.0484	-0.0523	-0.0262	-0.0012	0.1000
0.8054	0.8958	0.6229	60.00-69.99%	0	0.0516	0.0531	0.0738	0.0825	0.3000
0.8333	0.8882	0.7637	70.00-79.99%	1	0.0016	-0.0164	-0.0762	-0.0625	0.0667
0.8900	0.9124	0.6551	60.00-69.99%	1	0.0516	0.0594	0.1238	0.1263	0.2000
0.9267	0.9042	0.8833	80.00-89.99%	1	0.0516	0.0742	0.2238	0.1550	0.1500
0.8167	0.9458	0.5114	50.00-59.99%	0	-0.1484	-0.1313	0.0738	0.0925	0.0000
0.8333	0.9458	0.7855	70.00-79.99%	1	0.0516	0.0563	0.1738	0.1738	0.1667
0.6833	0.8882	0.5965	50.00-59.99%	1	-0.0484	-0.0313	0.1738	0.1850	0.5000
0.6833	0.8791	0.6788	60.00-69.99%	1	-0.0484	-0.0594	0.0738	0.0550	0.6000
0.5789	0.9624	0.5581	50.00-59.99%	1	0.1216	0.1216	-0.0762	-0.0938	0.2000
0.8667	0.9438	0.8471	80.00-89.99%	0	0.1016	0.0844	0.0738	0.0700	0.1500
0.7000	0.9451	0.6121	60.00-69.99%	0	0.0516	0.0539	0.0738	0.1125	0.3000
0.7240	0.8791	0.5790	50.00-59.99%	1	0.1016	0.0859	-0.3263	-0.3250	0.3000
0.9167	0.9024	0.8272	80.00-89.99%	0	0.1016	0.0914	0.1738	0.1813	0.1000
0.6054	0.8791	0.5539	50.00-59.99%	1	0.1016	0.0781	0.0738	0.0863	0.2000
0.9467	0.9749	0.9419	90.00-100.00%	1	0.1016	0.1063	0.0238	0.0250	0.1000
0.6121	0.9528	0.4966	40.00-49.99%	1	-0.2484	-0.2445	-0.0262	-0.0262	0.1667
0.5387	0.7549	0.5854	50.00-59.99%	1	-0.6484	-0.5938	-0.0262	-0.1000	0.1000
0.8618	0.8882	0.6980	60.00-69.99%	1	0.1016	0.1047	-0.1263	-0.1275	0.2000
0.8800	0.9124	0.8098	80.00-89.99%	1	0.0516	0.0547	0.1738	0.1713	0.1500
0.9233	0.8124	0.8877	80.00-89.99%	1	-0.7484	0.0234	-0.0262	0.4613	0.7000
0.7333	0.9216	0.7294	70.00-79.99%	1	-0.0484	-0.0297	0.0738	0.0688	0.2000
0.8900	0.9216	0.7398	70.00-79.99%	0	0.0016	0.0414	0.2238	0.0613	0.1500
0.7500	0.9049	0.6742	60.00-69.99%	1	0.0716	0.0841	0.2238	0.2575	0.2000
0.4955	0.8058	0.4863	40.00-49.99%	1	0.0516	0.0516	0.0738	0.0688	0.1000
0.8933	0.9424	0.7549	70.00-79.99%	1	0.0516	0.0578	-0.1263	-0.1338	0.1000
0.9800	0.9105	0.9685	90.00-100.00%	1	-0.0184	-0.0192	0.0238	0.0250	0.0300
0.4887	0.8791	0.6205	60.00-69.99%	1	-0.0484	-0.0477	0.1738	0.1750	0.1000
0.8667	0.9216	0.8167	80.00-89.99%	1	0.0516	0.0656	-0.1263	-0.0925	0.2000
0.8600	0.9118	0.7157	70.00-79.99%	1	-0.2084	-0.2022	0.1838	0.1900	0.1300
0.9200	0.8791	0.8450	80.00-89.99%	1	0.0516	0.0773	-0.0262	-0.0113	0.2000
0.9600	0.9458	0.8719	80.00-89.99%	1	0.0516	0.0391	0.0238	0.0038	0.2000
0.5289	0.9216	0.4536	40.00-49.99%	1	-0.4484	-0.3789	0.1738	0.2638	0.3000
0.8455	0.9618	0.7646	70.00-79.99%	1	0.0216	0.0169	0.0738	0.0613	0.1000
0.6667	0.8458	0.6004	60.00-69.99%	0	0.1016	0.0359	0.0238	0.0388	0.3500
0.8967	0.9124	0.8050	80.00-89.99%	0	0.0516	0.0570	0.0738	0.0738	0.1500
0.9133	0.8905	0.8466	80.00-89.99%	1	0.0516	0.0734	0.0738	0.0725	0.1000
0.8455	0.9216	0.7941	70.00-79.99%	1	-0.0984	-0.1688	-0.1263	-0.1463	0.4000
0.6055	0.7991	0.6251	60.00-69.99%	1	0.0016	-0.0219	-0.0762	-0.0625	0.4000
0.8618	0.9458	0.7242	70.00-79.99%	1	0.0016	-0.0539	-0.1263	-0.1350	0.1600
0.8500	0.8624	0.6068	60.00-69.99%	1	0.0016	0.0117	-0.0262	-0.0375	0.2000
0.9300	0.9049	0.8852	80.00-89.99%	0	-0.3984	-0.3867	-0.2063	-0.1663	0.1000
0.9533	0.7958	0.7524	70.00-79.99%	1	-0.3484	-0.3453	0.1238	0.1225	0.0500
0.9633	0.9660	0.9135	90.00-100.00%	1	-0.0484	-0.0023	0.1738	0.1275	0.1000
0.6500	0.8216	0.5781	50.00-59.99%	1	-0.5484	-0.6125	0.1738	0.1438	0.4000
0.7289	0.7791	0.6110	60.00-69.99%	1	-0.5484	-0.5086	-0.0262	0.0113	0.0500
0.6167	0.8958	0.7234	70.00-79.99%	1	0.0516	0.0477	0.0738	0.0650	0.0800
0.6667	0.8882	0.6589	60.00-69.99%	1	0.1016	0.1133	0.1738	0.1675	0.2000
0.6667	0.8382	0.7322	70.00-79.99%	0	-0.0484	-0.1008	0.1738	0.1513	0.2500
0.6000	0.9624	0.5922	50.00-59.99%	1	-0.0484	-0.0633	-0.0762	-0.1163	0.2000
0.9000	0.8124	0.8584	80.00-89.99%	1	0.0516	0.0555	-0.0262	-0.0200	0.1000
0.4167	0.8724	0.5420	50.00-59.99%	1	0.0516	0.0734	0.0738	0.1113	0.3000

t2_dDeep_zPerc_diffToTgtPerc	t2_dDeep_xy_distToGiv_toShpBnd	t2_dDeep_xy_distToGiv_toFarestBnd	t2_dDeep_xy_distToGiv_mean	t2_dDeep_xy_mindToTgt_abs	t2_dDeep_xy_mindToTgt_toWholeBnd	t2_dDeep_xy_mindToTgt_mean	t2_dDeep_xy_mindToTgt_mean
0.1686	0.9684	0.9945	0.9749	68	0.9373	0.9403	0.9394
0.1482	0.9789	0.9963	0.9833	93	0.9143	0.9245	0.9213
0.1676	0.9316	0.9879	0.9457	138	0.8720	0.8911	0.8851
0.1510	0.9737	0.9954	0.9791	104	0.9041	0.9334	0.9243
0.1441	0.8632	0.9760	0.8914	165	0.8475	0.8695	0.8626
0.2676	0.9368	0.9890	0.9499	151	0.8618	0.9037	0.8906
0.2353	0.7316	0.9530	0.7869	189	0.8258	0.8312	0.8295
0.2284	0.7895	0.9618	0.8325	106	0.8987	0.9155	0.9102
0.2095	0.9053	0.9834	0.9248	121	0.8882	0.8970	0.8943
0.0098	0.8947	0.9817	0.9165	67	0.9386	0.9732	0.9624
0.2765	0.9632	0.9935	0.9708	68	0.9373	0.9322	0.9338
-0.0510	0.8789	0.9793	0.9040	50	0.9549	0.9605	0.9588
0.1686	0.9474	0.9907	0.9582	101	0.9061	0.9072	0.9069
-0.0304	0.7105	0.9480	0.7699	124	0.8827	0.8854	0.8845
-0.1059	0.8842	0.9793	0.9080	168	0.8421	0.8881	0.8737
0.1471	0.9684	0.9944	0.9749	139	0.8713	0.8850	0.8807
0.4059	0.8842	0.9793	0.9080	148	0.8609	0.8919	0.8822
0.4941	0.9211	0.9864	0.9374	76	0.9309	0.9428	0.9391
0.1137	0.9263	0.9871	0.9415	156	0.8564	0.8923	0.8811
0.0520	0.8842	0.9801	0.9082	108	0.9025	0.9228	0.9165
0.1863	0.8368	0.9714	0.8705	90	0.9169	0.9168	0.9168
0.2020	0.8947	0.9819	0.9165	260	0.7649	0.7945	0.7853
0.0098	0.9316	0.9882	0.9457	145	0.8681	0.8637	0.8650
0.0706	0.8421	0.9731	0.8749	100	0.9104	0.9178	0.9155
0.0843	0.9684	0.9944	0.9749	136	0.8741	0.9344	0.9155
0.1549	0.9737	0.9954	0.9791	313	0.7105	0.8646	0.8164
-0.1824	0.6316	0.9311	0.7065	760	0.2520	0.6531	0.5278
0.1882	0.9789	0.9963	0.9833	134	0.8762	0.8839	0.8815
0.1382	0.9789	0.9963	0.9833	137	0.8734	0.8870	0.8828
-0.0098	0.0000	0.1641	0.0410	369	0.6878	0.7577	0.7358
0.0980	0.8737	0.9774	0.8996	55	0.9482	0.9508	0.9500
-0.1951	0.3158	0.8744	0.4554	53	0.9488	0.9487	0.9487
0.0784	0.8579	0.9748	0.8871	206	0.8075	0.8292	0.8224
0.0725	0.9789	0.9963	0.9833	66	0.9392	0.9398	0.9397
0.0529	0.9579	0.9926	0.9666	107	0.9007	0.9042	0.9031
0.0182	0.9947	0.9991	0.9958	25	0.9770	0.9779	0.9776
0.0961	0.9947	0.9991	0.9958	140	0.8710	0.8887	0.8831
0.0745	0.8579	0.9747	0.8871	84	0.9213	0.9209	0.9211
0.0986	0.9579	0.9926	0.9666	259	0.7597	0.8039	0.7901
0.0863	0.8263	0.9687	0.8619	99	0.9060	0.9557	0.9402
0.0902	0.9158	0.9855	0.9332	50	0.9546	0.9786	0.9711
-0.0333	0.5316	0.9107	0.6264	485	0.5135	0.6787	0.6271
0.0176	0.9474	0.9908	0.9582	49	0.9551	0.9609	0.9591
0.0951	0.5579	0.9282	0.6505	46	0.9607	0.9627	0.9620
0.1265	0.9632	0.9935	0.9707	73	0.9323	0.9346	0.9339
-0.0098	0.8526	0.9735	0.8829	94	0.9112	0.9270	0.9221
0.1725	0.5263	0.9235	0.6256	216	0.8163	0.8425	0.8343
0.2706	0.8421	0.9731	0.8749	50	0.9552	0.9578	0.9570
-0.0400	0.6263	0.9386	0.7044	108	0.9067	0.9055	0.9059
0.1098	0.9316	0.9879	0.9457	30	0.9720	0.9754	0.9743
-0.0294	0.8316	0.9701	0.8662	495	0.5378	0.7235	0.6655
0.0382	0.9789	0.9963	0.9833	442	0.5915	0.7661	0.7115
-0.1196	0.6895	0.9426	0.7527	102	0.9007	0.9351	0.9243
0.1922	0.5684	0.9298	0.6588	784	0.3288	0.6219	0.5303
-0.1225	0.7316	0.9507	0.7864	651	0.3710	0.7401	0.6247
0.0212	0.9632	0.9936	0.9708	61	0.9441	0.9437	0.9438
0.1137	0.9211	0.9860	0.9373	145	0.8646	0.8596	0.8612
0.0696	0.6474	0.9419	0.7210	129	0.8881	0.8740	0.8784
0.0549	0.8316	0.9710	0.8664	93	0.9158	0.9102	0.9120
0.0765	0.9737	0.9954	0.9791	71	0.9343	0.9623	0.9535
0.1549	0.8421	0.9716	0.8745	94	0.9112	0.9077	0.9087

t2_dDeep_z_mindToGiv	t2_dDeep_z_distToTgt	t2_dDeep_distToGiv_IStep_res	t2_dDeep_mindToGiv_IStep_res	t2_dDeep_mindToTgt_IStep_res	t2_dDeep_ov_res	t2_pHigh_slope_rightOrWrong	t2_pHigh_xPerc_diffToGivPerc	t2_pHigh_xPerc_diffToTgtPerc
0.8000	0.8314	0.9749	0.8916	0.9034	0.9168	1	-0.1523	-0.1591
0.8400	0.8518	0.9833	0.8982	0.8981	0.9194	1	-0.2023	-0.1773
0.7500	0.8324	0.9457	0.8407	0.8675	0.8770	1	-0.1023	-0.1070
0.8333	0.8490	0.9791	0.9027	0.8992	0.9205	1	-0.1823	-0.1698
0.7500	0.8559	0.8914	0.8416	0.8604	0.8611	1	-0.1523	-0.1516
0.6500	0.7324	0.9499	0.8249	0.8379	0.8610	0	0.0977	0.1320
0.6000	0.7647	0.7869	0.7751	0.8079	0.7904	0	0.0477	0.0883
0.6500	0.7716	0.8325	0.8416	0.8640	0.8477	1	-0.1023	-0.1055
0.7000	0.7905	0.9248	0.8249	0.8597	0.8629	1	-0.0523	-0.0445
0.9000	0.9902	0.9165	0.9418	0.9717	0.9467	0	-0.0523	-0.0477
0.7000	0.7235	0.9708	0.8582	0.8637	0.8884	0	-0.0023	-0.0195
0.9333	0.9490	0.9040	0.9518	0.9555	0.9413	1	0.0477	0.0422
0.8000	0.8314	0.9582	0.8749	0.8817	0.8983	1	0.1977	0.1867
0.8500	0.9696	0.7699	0.8582	0.9129	0.8566	1	-0.1023	-0.0891
1.0000	0.8941	0.9080	0.9259	0.8805	0.9044	0	0.0477	0.0500
0.8333	0.8529	0.9749	0.8693	0.8715	0.8965	1	-0.0023	0.0164
0.5000	0.5941	0.9080	0.7593	0.7862	0.8065	1	-0.0523	-0.0453
0.4000	0.5059	0.9374	0.7593	0.7947	0.8171	1	0.0477	0.0813
0.8000	0.8863	0.9415	0.8674	0.8828	0.8917	0	-0.1523	-0.1453
0.8500	0.9480	0.9082	0.8916	0.9270	0.9090	0	-0.2023	-0.1523
0.7000	0.8137	0.8705	0.8582	0.8825	0.8704	1	-0.1523	-0.0930
0.7000	0.7980	0.9165	0.7574	0.7895	0.8092	1	-0.2523	-0.2297
0.9000	0.9902	0.9457	0.8749	0.9068	0.9046	0	-0.0523	-0.0539
0.8000	0.9294	0.8749	0.8749	0.9201	0.8919	1	-0.1523	-0.1156
0.9000	0.9157	0.9749	0.9249	0.9156	0.9339	1	-0.1523	-0.1164
0.8333	0.8451	0.9791	0.8529	0.8260	0.8744	0	0.1977	0.2016
0.9000	0.8176	0.7065	0.7418	0.6244	0.6889	0	-0.0523	-0.0797
0.8000	0.8118	0.9833	0.8574	0.8582	0.8892	1	0.3477	0.3547
0.8500	0.8618	0.9833	0.8749	0.8758	0.9023	1	-0.1023	-0.0813
0.3000	0.9902	0.0410	0.5084	0.8206	0.5087	0	0.0977	-0.0039
0.8000	0.9020	0.8996	0.8926	0.9340	0.9099	1	0.0477	0.0617
0.8500	0.8049	0.4554	0.8749	0.9008	0.7797	0	-0.0523	0.1211
0.8000	0.9216	0.8871	0.8349	0.8555	0.8557	1	-0.0023	-0.0109
0.9000	0.9275	0.9833	0.9249	0.9356	0.9435	1	-0.0523	-0.0594
0.9000	0.9471	0.9666	0.9074	0.9178	0.9261	0	0.3477	0.3359
0.9700	0.9818	0.9958	0.9759	0.9790	0.9821	0	-0.0023	0.0039
0.9000	0.9039	0.9958	0.8926	0.8901	0.9175	1	-0.0523	-0.0406
0.8000	0.9255	0.8871	0.8741	0.9225	0.8955	1	-0.1023	-0.0906
0.8700	0.9014	0.9666	0.8259	0.8272	0.8616	1	-0.1623	-0.1608
0.8000	0.9137	0.8619	0.9074	0.9314	0.9050	1	-0.0523	-0.0586
0.8000	0.9098	0.9332	0.9082	0.9507	0.9304	1	-0.0023	-0.1422
0.7000	0.9667	0.6264	0.6926	0.7403	0.6939	1	0.2477	0.1281
0.9000	0.9824	0.9582	0.9349	0.9669	0.9527	1	0.0277	0.0277
0.6500	0.9049	0.6505	0.8416	0.9430	0.8318	0	-0.1523	-0.1195
0.8500	0.8735	0.9707	0.9082	0.9138	0.9259	0	-0.0523	-0.4617
0.9000	0.9902	0.8829	0.9249	0.9448	0.9218	1	-0.2023	-0.1797
0.6000	0.8275	0.6256	0.7918	0.8320	0.7653	1	0.6477	0.5602
0.6000	0.7294	0.8749	0.8407	0.8811	0.8644	1	0.5477	0.5867
0.8400	0.9600	0.7044	0.9041	0.9239	0.8616	1	-0.1023	-0.0453
0.8000	0.8902	0.9457	0.9241	0.9463	0.9378	1	-0.1023	-0.0781
0.9000	0.9706	0.8662	0.7651	0.7672	0.7912	1	0.0977	0.1609
0.9500	0.9618	0.9833	0.8259	0.7949	0.8537	1	0.0477	-0.0445
0.9000	0.8804	0.7527	0.8926	0.9097	0.8640	1	0.1477	0.1727
0.6000	0.8078	0.6588	0.6259	0.6228	0.6330	1	0.2477	0.1406
0.9500	0.8775	0.7864	0.7918	0.7090	0.7594	0	0.1477	0.1883
0.9200	0.9788	0.9708	0.9316	0.9555	0.9503	1	-0.1723	-0.2122
0.8000	0.8863	0.9373	0.8416	0.8695	0.8760	1	0.1477	0.1383
0.7500	0.9304	0.7210	0.8426	0.8957	0.8321	0	-0.0523	-0.1031
0.8000	0.9451	0.8664	0.8918	0.9230	0.8972	1	-0.0823	-0.0433
0.9000	0.9235	0.9791	0.9407	0.9435	0.9514	1	0.5477	0.5266
0.7000	0.8451	0.8745	0.8582	0.8875	0.8733	1	0.5977	0.6180

t2_pHigh_yPerc_diffToGivPerc	t2_pHigh_yPerc_diffToTgtPerc	t2_pHigh_zPerc_diffToGivPerc	t2_pHigh_zPerc_diffToTgtPerc	t2_pHigh_xy_distToGiv_toShpBnd	t2_pHigh_xy_distToGiv_toForestBnd	t2_pHigh_xy_distToGiv_mean	t2_pHigh_xy_mindToGiv_mean
0.1738	0.1263	-0.1000	-0.0725	0.9050	0.9610	0.9190	0.8370
-0.1263	-0.1538	-0.0400	-0.0165	0.9200	0.9676	0.9319	0.8357
0.0738	0.0563	-0.0800	-0.0643	0.9650	0.9853	0.9701	0.9120
0.2238	0.2138	-0.0092	-0.0014	0.9600	0.9836	0.9659	0.7970
-0.3263	-0.2988	-0.0500	-0.0382	0.9450	0.9770	0.9530	0.7607
-0.0763	-0.0175	-0.4000	-0.3608	0.8825	0.9530	0.9001	0.9130
0.1738	0.2088	-0.0500	-0.0147	0.8700	0.9485	0.8896	0.8893
-0.1263	-0.0913	-0.0300	-0.0143	0.9300	0.9706	0.9402	0.8857
-0.1263	-0.1050	0.0000	0.0078	0.9575	0.9824	0.9637	0.9107
0.0738	0.1163	-0.1000	-0.0804	0.9150	0.9647	0.9274	0.9370
0.0738	0.0763	-0.1500	-0.1304	0.9450	0.9765	0.9529	0.9620
-0.1763	-0.2175	0.0000	0.0275	0.9175	0.9653	0.9294	0.8880
0.1738	0.1163	-0.0300	0.0092	0.8850	0.9512	0.9016	0.8143
0.0738	0.0688	0.0000	0.0078	0.9575	0.9825	0.9638	0.9120
0.0738	0.0513	0.0000	0.0157	0.9550	0.9813	0.9616	0.9393
0.1738	0.1913	-0.0400	-0.0282	0.9400	0.9755	0.9489	0.9120
0.2738	0.2375	-0.0500	-0.0304	0.9275	0.9700	0.9381	0.8370
0.2738	0.2950	0.0000	0.0235	0.8925	0.9570	0.9086	0.8393
-0.3263	-0.3150	0.0000	0.0039	0.9775	0.9907	0.9808	0.7607
0.0738	-0.0225	-0.1000	-0.0176	0.8075	0.9246	0.8368	0.8620
-0.1263	-0.1150	-0.0500	0.0010	0.8100	0.9264	0.8391	0.8607
-0.1263	-0.1275	-0.0132	-0.0132	0.9275	0.9706	0.9383	0.8107
-0.0263	-0.0500	-0.0500	-0.0343	0.9525	0.9801	0.9594	0.9607
0.0738	0.0825	-0.1000	-0.0765	0.8825	0.9532	0.9002	0.8870
0.0738	0.1100	-0.0200	0.0114	0.8850	0.9541	0.9023	0.8870
-0.1263	-0.1138	0.0000	0.0039	0.9750	0.9896	0.9787	0.8380
-0.0263	-0.0800	-0.2000	-0.1529	0.8925	0.9534	0.9077	0.9607
0.1238	0.1375	-0.0100	-0.0061	0.9725	0.9886	0.9765	0.7643
0.1238	0.1425	-0.0200	-0.0082	0.9325	0.9726	0.9425	0.8870
0.1738	0.2563	-0.2000	-0.0549	0.6750	0.8428	0.7170	0.8643
0.0738	0.0675	-0.1000	-0.0922	0.9550	0.9815	0.9616	0.9393
0.0738	0.0625	-0.1000	0.1275	0.4450	0.8117	0.5367	0.9370
0.0738	0.1013	-0.0200	-0.0043	0.9450	0.9767	0.9529	0.9620
-0.0763	-0.0925	-0.0500	-0.0343	0.9675	0.9863	0.9722	0.9357
0.0738	0.0600	-0.0500	-0.0343	0.9625	0.9841	0.9679	0.7893
-0.0963	-0.0925	0.0000	0.0000	0.9800	0.9917	0.9829	0.9507
-0.2263	-0.2275	0.0000	0.0039	0.9625	0.9846	0.9680	0.8607
-0.1763	-0.2550	-0.0500	0.0010	0.8425	0.9352	0.8657	0.8607
-0.1763	-0.1838	-0.0300	-0.0222	0.9850	0.9937	0.9872	0.8307
-0.1763	-0.1188	-0.1500	-0.1186	0.8850	0.9515	0.9016	0.8857
-0.0263	-0.0325	-0.1000	0.0922	0.5525	0.7699	0.6069	0.9857
-0.1263	-0.1875	-0.1000	0.0686	0.6175	0.8097	0.6656	0.8130
-0.0763	-0.0813	-0.0100	-0.0022	0.9900	0.9958	0.9915	0.9480
-0.2263	-0.1363	-0.0500	0.0088	0.8200	0.9279	0.8470	0.8107
-0.0063	0.0062	-0.0500	0.3069	0.0000	0.3813	0.0953	0.9707
-0.0263	-0.0538	-0.0300	-0.0104	0.9275	0.9706	0.9383	0.8857
0.3238	0.2700	-0.2300	-0.1124	0.7200	0.8675	0.7569	0.5143
0.1238	0.0700	-0.2500	-0.2029	0.8750	0.9503	0.8938	0.6643
-0.1263	-0.1300	0.0000	0.0471	0.8175	0.9291	0.8454	0.8857
0.0238	-0.0275	0.0000	0.0353	0.8975	0.9585	0.9128	0.9370
0.1238	0.0550	-0.0500	0.0284	0.7975	0.9220	0.8286	0.8893
-0.0263	-0.1838	-0.2000	-0.0627	0.6850	0.8498	0.7262	0.9630
-0.1263	-0.1788	-0.0500	-0.0147	0.8950	0.9575	0.9106	0.8630
0.3738	0.3675	-0.2000	-0.0627	0.6575	0.8329	0.7014	0.6893
0.2738	-0.0762	-0.1000	0.2255	0.3000	0.7225	0.4056	0.7893
0.0738	0.1200	-0.0100	0.0410	0.8725	0.9437	0.8903	0.8770
-0.1263	-0.0838	0.0000	0.0235	0.9150	0.9640	0.9273	0.8630
-0.2263	-0.0788	-0.2000	-0.0745	0.7050	0.8677	0.7457	0.8607
0.2738	0.3738	0.0000	0.0706	0.8000	0.9206	0.8301	0.8220
0.0738	0.0788	0.0000	0.0235	0.9325	0.9710	0.9421	0.6893
-0.0263	-0.0313	-0.0700	-0.0582	0.9350	0.9736	0.9446	0.6880

t2_pHigh_xy_mindToTgt_toWholeBnd	t2_pHigh_xy_mindToTgt_mean	t2_pHigh_xy_mindToTgt_mean	t2_pHigh_z_mindToGiv	t2_pHigh_z_distToTgt	t2_pHigh_distToGiv_iStep_res	t2_pHigh_mindToGiv_iStep_res	t2_pHigh_mindToTgt_iStep_res	t2_pHigh_ov_res
0.8172	0.8673	0.8517	0.9	0.9275	0.9190	0.8769	0.8803	
0.7705	0.8345	0.8145	0.96	0.9835	0.9319	0.8771	0.8708	0.8885
0.8559	0.9184	0.8989	0.92	0.9357	0.9701	0.9146	0.9111	0.9272
0.7770	0.8082	0.7984	0.99077	0.9986	0.9659	0.8616	0.8652	0.8890
0.7505	0.7748	0.7672	0.95	0.9618	0.9530	0.8238	0.8321	0.8592
0.8312	0.9252	0.8958	0.6	0.6392	0.9001	0.8087	0.8103	0.8322
0.8345	0.8515	0.8462	0.95	0.9853	0.8896	0.9095	0.8925	0.8982
0.8583	0.9016	0.8881	0.97	0.9857	0.9402	0.9138	0.9206	0.9230
0.9131	0.9252	0.9215	1	0.9922	0.9637	0.9405	0.9450	0.9480
0.9034	0.9180	0.9135	0.9	0.9196	0.9274	0.9246	0.9155	0.9219
0.9348	0.9521	0.9467	0.85	0.8696	0.9529	0.9246	0.9210	0.9303
0.8168	0.8702	0.8535	1	0.9725	0.9294	0.9254	0.8932	0.9143
0.7466	0.8485	0.8167	0.97	0.9908	0.9016	0.8662	0.8747	0.8782
0.8830	0.9211	0.9092	1	0.9922	0.9638	0.9413	0.9368	0.9452
0.9333	0.9494	0.9444	1	0.9843	0.9616	0.9595	0.9577	0.9593
0.8440	0.8962	0.8799	0.96	0.9718	0.9489	0.9280	0.9105	0.9266
0.8033	0.8586	0.8413	0.95	0.9696	0.9381	0.8746	0.8841	0.8940
0.7640	0.8119	0.7969	1	0.9765	0.9086	0.8929	0.8568	0.8833
0.7391	0.7698	0.7602	1	0.9961	0.9808	0.8405	0.8389	0.8749
0.8090	0.9126	0.8802	0.9	0.9824	0.8368	0.8746	0.9143	0.8800
0.8848	0.8960	0.8925	0.95	0.9990	0.8391	0.8905	0.9280	0.8917
0.7018	0.8214	0.7840	0.975	0.9868	0.9383	0.8655	0.8516	0.8785
0.9277	0.9480	0.9417	0.95	0.9657	0.9594	0.9571	0.9497	0.9549
0.8526	0.9009	0.8858	0.9	0.9235	0.9002	0.8913	0.8984	0.8962
0.8514	0.8868	0.8757	0.98	0.9886	0.9023	0.9180	0.9134	0.9123
0.7318	0.8423	0.8078	1	0.9961	0.9787	0.8920	0.8706	0.9056
0.8894	0.9202	0.9105	0.8	0.8471	0.9077	0.9071	0.8894	0.9006
0.5300	0.7539	0.6839	0.99	0.9939	0.9765	0.8395	0.7873	0.8542
0.8841	0.8881	0.8869	0.98	0.9918	0.9425	0.9180	0.9218	0.9256
0.7521	0.8699	0.8331	0.8	0.9451	0.7170	0.8429	0.8704	0.8217
0.9190	0.9354	0.9303	0.9	0.9078	0.9616	0.9262	0.9228	0.9338
0.8685	0.9082	0.8958	0.9	0.8725	0.5367	0.9246	0.8881	0.8139
0.9144	0.9439	0.9347	0.98	0.9957	0.9529	0.9680	0.9550	0.9594
0.9198	0.9241	0.9227	0.95	0.9657	0.9722	0.9405	0.9371	0.9471
0.5435	0.8020	0.7212	0.95	0.9657	0.9679	0.8429	0.8027	0.8591
0.9233	0.9518	0.9429	1	1.0000	0.9829	0.9671	0.9619	0.9691
0.8128	0.8659	0.8493	1	0.9961	0.9680	0.9071	0.8982	0.9190
0.7901	0.8272	0.8156	0.95	0.9990	0.8657	0.8905	0.8767	0.8791
0.7852	0.8277	0.8144	0.97	0.9778	0.9872	0.8771	0.8689	0.9016
0.8999	0.9113	0.9078	0.85	0.8814	0.9016	0.8738	0.8990	0.8902
0.7661	0.9127	0.8668	0.9	0.9078	0.6069	0.9571	0.8805	0.8408
0.7960	0.8422	0.8278	0.9	0.9314	0.6656	0.8420	0.8623	0.8055
0.9321	0.9455	0.9413	0.99	0.9978	0.9915	0.9620	0.9602	0.9687
0.8468	0.8721	0.8642	0.95	0.9912	0.8470	0.8571	0.9065	0.8731
0.3022	0.7660	0.6211	0.95	0.6931	0.0953	0.9638	0.6451	0.6272
0.7667	0.8833	0.8469	0.97	0.9896	0.9383	0.9138	0.8944	0.9127
0.1515	0.5849	0.4495	0.77	0.8876	0.7569	0.5995	0.5955	0.6374
0.2542	0.6716	0.5412	0.75	0.7971	0.8938	0.6929	0.6265	0.7182
0.8990	0.9123	0.9082	1	0.9529	0.8454	0.9238	0.9231	0.9039
0.8988	0.9472	0.9321	1	0.9647	0.9128	0.9580	0.9429	0.9410
0.8015	0.8920	0.8638	0.95	0.9716	0.8286	0.9095	0.8997	0.8856
0.8248	0.8859	0.8668	0.8	0.9373	0.7262	0.9087	0.8903	0.8562
0.7765	0.8243	0.8094	0.95	0.9853	0.9106	0.8920	0.8680	0.8877
0.6415	0.7459	0.7133	0.8	0.9373	0.7014	0.7262	0.7879	0.7431
0.7611	0.8677	0.8344	0.9	0.7745	0.4056	0.8262	0.8145	0.7167
0.6998	0.8339	0.7920	0.99	0.9590	0.8903	0.9146	0.8477	0.8834
0.8127	0.8890	0.8651	1	0.9765	0.9273	0.9087	0.9023	0.9109
0.8520	0.9091	0.8912	0.8	0.9255	0.7457	0.8405	0.9027	0.8401
0.7031	0.7915	0.7639	1	0.9294	0.8301	0.8813	0.8190	0.8452
0.2753	0.6973	0.5654	1	0.9765	0.9421	0.7929	0.7025	0.7963
0.1953	0.6754	0.5254	0.93	0.9418	0.9446	0.7687	0.6642	0.7735



t2_dMod_xPerc_diffToGivPerc	t2_dMod_xPerc_diffToTgtPerc	t2_dMod_yPerc_diffToGivPerc	t2_dMod_yPerc_diffToTgtPerc	t2_dMod_zPerc_diffToGivPerc	t2_dMod_zPerc_diffToTgtPerc	t2_dMod_xy_distToGiv_toShpBnd	t2_dMod_xy_distToGiv_toForestBnd
0.0688	0.0648	0.0000	-0.0200	0.0373	0.0255	0.9059	0.9850
0.0688	0.0773	-0.1500	-0.1538	0.1873	0.1833	0.9353	0.9896
0.1188	0.1063	-0.1000	-0.1200	-0.2586	-0.2782	0.9059	0.9852
0.0165	0.0219	-0.1000	-0.1138	0.3373	0.3333	0.9353	0.9896
0.0688	0.0898	-0.1500	-0.1250	0.2373	0.2098	0.8412	0.9740
0.1188	0.1055	-0.1700	-0.1650	0.0373	0.0216	0.9000	0.9843
-0.1313	-0.1211	0.0000	-0.0113	0.1373	0.1294	0.9235	0.9876
0.1388	0.1708	-0.1500	-0.1488	0.2373	0.2020	0.7588	0.9599
-0.5313	-0.5727	0.1000	0.1263	0.1373	0.0667	0.6882	0.9526
-0.2313	-0.2508	0.2500	0.2613	-0.0627	-0.0863	0.8529	0.9770
0.1188	0.1219	-0.1000	-0.0963	0.3373	0.3373	0.9765	0.9962
-0.0313	-0.0320	-0.0500	-0.0363	0.0173	0.0133	0.9353	0.9897
0.0688	0.0766	-0.1000	-0.0950	0.1373	0.1333	0.9412	0.9905
-0.0313	-0.0172	0.1000	0.0475	-0.0127	-0.0598	0.7529	0.9598
-0.2313	-0.2094	0.0000	0.0288	0.0373	0.0098	0.8353	0.9730
-0.0313	-0.0297	0.0000	0.0138	0.1173	0.1133	0.9353	0.9896
0.1688	0.1430	-0.1000	-0.1438	0.0873	0.0324	0.7941	0.9681
-0.4313	-0.1375	-0.1500	-0.0850	0.4373	0.1863	0.0000	0.4566
0.1188	0.0734	-0.1500	-0.3100	0.4373	0.2333	0.2471	0.8859
-0.2313	0.0859	0.4500	-0.1275	0.3206	0.0735	0.0000	0.2979
-0.2313	0.0727	0.8000	0.0888	0.5873	0.3520	0.0000	0.2195
0.1688	0.0727	0.0000	-0.1225	0.3373	0.1137	0.2765	0.8964
-0.8313	-0.0477	0.8000	0.0050	0.1873	-0.0480	0.0000	0.1772
0.1188	0.1055	-0.1000	-0.1288	0.0943	0.0668	0.8647	0.9787
0.0688	0.0656	-0.1000	-0.0813	0.0373	0.0255	0.9118	0.9860
-0.0313	-0.0172	0.0500	0.0563	0.1009	0.0891	0.8941	0.9828
-0.5313	0.2781	0.8000	0.0025	-0.2127	-0.4480	0.0000	0.1725
0.0688	0.1000	-0.1500	-0.1250	0.0373	-0.0059	0.7647	0.9609
0.0187	0.0555	-0.2000	-0.2350	0.4373	0.3784	0.7235	0.9538
-0.3813	-0.0844	0.7000	-0.0225	0.3373	0.1020	0.0000	0.2168
-0.0813	-0.0727	0.1500	0.1275	0.3873	0.3716	0.8941	0.9829
0.1188	0.0258	0.3000	0.1088	0.1873	-0.0480	0.1000	0.8707
0.0688	0.1070	-0.1500	-0.1563	0.1373	0.0905	0.7118	0.9517
-0.1313	-0.0734	0.0500	0.0213	0.0373	-0.0569	0.5647	0.9253
-0.2313	-0.0164	0.2000	0.0163	0.1873	-0.0480	0.0000	0.6515
-0.0313	-0.0352	0.1300	0.0963	0.1373	0.1137	0.8412	0.9747
0.0688	0.0414	-0.1000	-0.0963	-0.0627	-0.0980	0.7941	0.9682
-0.0313	-0.0258	0.3000	0.2138	0.2373	0.1510	0.5941	0.9347
-0.0613	-0.0542	-0.1200	-0.1088	-0.0827	-0.0867	0.9471	0.9915
0.0187	0.0320	-0.1000	-0.0963	0.1373	0.1294	0.9000	0.9838
-0.5313	-0.1359	0.3000	-0.0400	0.2873	-0.1598	0.0000	0.2992
-0.1313	0.1852	0.0000	0.0275	0.2373	-0.0451	0.0000	0.3882
0.0187	0.1063	0.0500	0.0613	0.1373	-0.0157	0.3412	0.8824
-0.3313	-0.1711	-0.0500	-0.1300	0.3873	0.1520	0.0000	0.7614
0.0688	0.0813	-0.1800	-0.1788	0.0373	0.0294	0.9059	0.9847
0.0688	0.0664	-0.1500	-0.1538	-0.0627	-0.0627	0.9824	0.9972
-0.1813	-0.1117	0.2500	0.2200	0.2373	0.1157	0.4765	0.9087
-0.1813	0.0141	0.6000	-0.0775	0.3373	0.1020	0.0000	0.3342
-0.1313	-0.1148	0.3000	0.3325	0.2373	0.1824	0.8471	0.9751
0.0187	0.0148	-0.0500	-0.0913	-0.0127	-0.0441	0.8059	0.9691
0.1188	-0.0148	0.0000	0.1138	0.0373	-0.1980	0.0000	0.8615
-0.6813	0.0469	0.6000	0.1913	-0.1373	-0.3451	0.0000	0.1882
-0.6313	-0.6289	0.7000	0.7088	0.4373	0.4373	0.9588	0.9934
-0.0313	-0.0805	0.0000	-0.0900	-0.0627	-0.1961	0.5765	0.9361
-0.6313	-0.3570	0.2000	-0.1775	-0.1627	-0.4216	0.0000	0.5077
0.0187	0.0570	-0.0300	0.0438	0.1873	0.0931	0.6529	0.9419
-0.1313	0.0820	0.5000	-0.1613	0.5373	0.3020	0.0000	0.3312
0.0688	0.1019	0.1000	0.0713	-0.0627	-0.1686	0.5647	0.9350
-0.5313	-0.3156	0.1500	0.2163	0.3373	0.1020	0.0000	0.6497
-0.1313	-0.2328	0.5000	0.4100	0.4373	0.2216	0.2353	0.8911
0.0688	0.1609	0.4000	0.2163	0.1373	-0.1020	0.1353	0.8446

t2_dMod_xy_distToGiv_mean	t2_dMod_xy_mindToGiv_mean	t2_dMod_xy_mindToTgt_toWholeBnd	t2_dMod_xy_mindToTgt_mean	t2_dMod_xy_mindToTgt_mean	t2_dMod_z_mindToGiv	t2_dMod_z_distToTgt	t2_dMod_distToGiv_iStep_res
0.9257	0.9656	0.9224	0.9274	0.9576	0.9466	0.9627	0.9275
0.9489	0.8906	0.8832	0.8832	0.8845	0.8841	0.8127	0.8167
0.9257	0.8906	0.8741	0.8869	0.8869	0.8829	0.7414	0.7218
0.9489	0.9418	0.9139	0.9322	0.9265	0.9265	0.6627	0.6667
0.8744	0.8906	0.8891	0.8926	0.8915	0.8915	0.7627	0.7902
0.9211	0.8556	0.8751	0.8648	0.8680	0.8680	0.9627	0.9784
0.9396	0.9344	0.8525	0.9338	0.9338	0.9084	0.8627	0.8706
0.8091	0.8556	0.7859	0.8402	0.8233	0.8233	0.7627	0.7980
0.7543	0.6844	0.3438	0.6505	0.5547	0.5547	0.8627	0.9333
0.8840	0.7594	0.7052	0.7440	0.7319	0.7319	0.9373	0.9137
0.9814	0.8906	0.8528	0.8909	0.8528	0.8790	0.6627	0.6627
0.9489	0.9594	0.9615	0.9659	0.9645	0.9645	0.9827	0.9867
0.9535	0.9156	0.9070	0.9142	0.9120	0.9120	0.8627	0.8667
0.8047	0.9344	0.9637	0.9677	0.9664	0.9664	0.9873	0.9402
0.8697	0.8844	0.7413	0.8809	0.8373	0.8373	0.9627	0.9902
0.9489	0.9844	0.9642	0.9783	0.9739	0.9739	0.8827	0.8867
0.8376	0.8656	0.8332	0.8566	0.8493	0.8493	0.9127	0.9676
0.1142	0.7094	0.7457	0.8888	0.8440	0.8440	0.5627	0.8137
0.4068	0.8656	0.7790	0.8083	0.7991	0.7991	0.5627	0.7667
0.0745	0.6594	0.8328	0.8933	0.8744	0.8744	0.6794	0.9265
0.0549	0.4844	0.8724	0.9193	0.9047	0.9047	0.4127	0.6480
0.4314	0.9156	0.9174	0.9024	0.9071	0.9071	0.6627	0.8863
0.0443	0.1844	0.9500	0.9737	0.9663	0.9663	0.8127	0.9520
0.8932	0.8906	0.8751	0.8829	0.8805	0.8805	0.9057	0.9332
0.9303	0.9156	0.9213	0.9266	0.9249	0.9249	0.9627	0.9745
0.9163	0.9594	0.9570	0.9633	0.9613	0.9613	0.8991	0.9109
0.0431	0.3344	0.7157	0.8597	0.8147	0.8147	0.7873	0.5520
0.8138	0.8906	0.8750	0.8875	0.8836	0.8836	0.9627	0.9941
0.7811	0.8906	0.8151	0.8548	0.8424	0.8424	0.5627	0.6216
0.0542	0.4594	0.8537	0.9466	0.9175	0.9175	0.6627	0.8980
0.9163	0.8844	0.9031	0.8999	0.9009	0.9009	0.6127	0.6284
0.2927	0.7906	0.9265	0.9327	0.9308	0.9308	0.8127	0.9520
0.7718	0.8906	0.8650	0.8684	0.8673	0.8673	0.8627	0.9095
0.6548	0.9094	0.9051	0.9527	0.9378	0.9378	0.9627	0.9431
0.1629	0.7844	0.9734	0.9837	0.9805	0.9805	0.8127	0.9520
0.8746	0.9194	0.9280	0.9343	0.9323	0.9323	0.8627	0.8863
0.8376	0.9156	0.9299	0.9312	0.9308	0.9308	0.9373	0.9020
0.6793	0.8344	0.8382	0.8802	0.8671	0.8671	0.7627	0.8490
0.9582	0.9094	0.9175	0.9185	0.9185	0.9185	0.9173	0.9133
0.9209	0.9406	0.9265	0.9359	0.9329	0.9329	0.8627	0.8706
0.0748	0.5844	0.7590	0.9120	0.8642	0.8642	0.7127	0.8402
0.0971	0.9344	0.6420	0.8937	0.8150	0.8150	0.7627	0.9549
0.4765	0.9656	0.8571	0.9163	0.8978	0.8978	0.8627	0.9843
0.1903	0.8094	0.7451	0.8495	0.8168	0.8168	0.6127	0.8480
0.9256	0.8756	0.8635	0.8700	0.8680	0.8680	0.9627	0.9706
0.9861	0.8906	0.8847	0.8899	0.8883	0.8883	0.9373	0.9373
0.5845	0.7844	0.8195	0.8341	0.8296	0.8296	0.7627	0.8843
0.0835	0.6094	0.9238	0.9542	0.9447	0.9447	0.6627	0.8980
0.8791	0.7844	0.7450	0.7763	0.7665	0.7665	0.7627	0.8176
0.8467	0.9656	0.9317	0.9470	0.9422	0.9422	0.9873	0.9559
0.2154	0.9406	0.9263	0.9357	0.9328	0.9328	0.9627	0.8020
0.0470	0.3594	0.8667	0.8809	0.8765	0.8765	0.8627	0.6549
0.9675	0.3344	0.2413	0.3312	0.3031	0.3031	0.5627	0.5627
0.6664	0.9844	0.9086	0.9148	0.9128	0.9128	0.9373	0.8039
0.1269	0.5844	0.3590	0.7327	0.6160	0.6160	0.8373	0.5784
0.7252	0.9756	0.9281	0.9496	0.9429	0.9429	0.8127	0.9069
0.0828	0.6844	0.8369	0.8784	0.8654	0.8654	0.4627	0.6980
0.6573	0.9156	0.9499	0.9589	0.9561	0.9561	0.9373	0.8314
0.1624	0.6594	0.4873	0.7341	0.6570	0.6570	0.6627	0.8980
0.3993	0.6844	0.7253	0.6786	0.6932	0.6932	0.5627	0.7784
0.3126	0.7656	0.7822	0.8114	0.8023	0.8023	0.8627	0.8980

t2_dMod_mindToGiv_iStep_res	t2_dMod_mindToTgt_iStep_res	t2_dMod_ov_res	t2_pMod_xPerc_diffToGivPerc	t2_pMod_xPerc_diffToTgtPerc	t2_pMod_yPerc_diffToGivPerc	t2_pMod_yPerc_diffToTgtPerc	t2_pMod_zPerc_diffToGivPerc	t2_pMod_zPerc_diffToTgtPerc
0.9647	0.9559	0.9516	0.0688	0.0766	0.2600	0.2100	0.3373	-0.0039
0.8647	0.8616	0.8846	0.1188	0.1313	-0.0400	-0.0400	0.4773	0.0694
0.8409	0.8292	0.8577	0.0188	0.0250	0.0600	0.0563	0.4873	0.0598
0.8488	0.8399	0.8705	-0.1113	-0.0902	0.1600	0.1225	0.4873	0.1500
0.8480	0.8577	0.8582	-0.0813	-0.0867	0.0600	0.0613	0.4873	0.0324
0.8913	0.9048	0.9038	-0.0313	-0.0273	0.0300	0.0688	0.4373	0.0569
0.9105	0.8958	0.9123	-0.0813	-0.0859	-0.1400	-0.1713	0.3373	-0.0588
0.8247	0.8149	0.8171	-0.1313	-0.1148	0.1600	0.1488	0.2373	-0.1510
0.7438	0.6809	0.7229	-0.2313	-0.1836	0.1600	0.1213	0.2373	-0.0176
0.8187	0.7925	0.8252	0.0188	0.0148	-0.1400	-0.1600	0.5373	0.1176
0.8147	0.8069	0.8535	0.2188	0.2141	-0.1900	-0.1888	0.2373	-0.2176
0.9672	0.9719	0.9644	-0.0813	-0.0945	0.0100	-0.0012	0.5373	0.1098
0.8980	0.8969	0.9115	0.1188	0.1219	0.2600	0.2638	0.3373	-0.0980
0.9520	0.9577	0.9173	0.2188	0.2070	-0.1400	-0.1338	0.6373	0.1980
0.9105	0.8883	0.8920	0.0188	0.0406	-0.1400	-0.0750	0.2373	-0.0451
0.9505	0.9448	0.9480	0.0188	0.0000	0.1100	0.0913	0.4373	0.0333
0.8813	0.8888	0.8732	0.1188	0.1117	0.0600	0.0288	0.4373	0.0412
0.6605	0.8339	0.5890	-0.2813	-0.0375	0.0600	0.0375	0.5373	0.0745
0.7647	0.7883	0.6841	0.1188	0.5547	-0.1400	-0.1150	0.1873	-0.5461
0.6661	0.8917	0.6028	0.1688	0.1719	0.2600	0.2388	0.2373	-0.1745
0.4605	0.8191	0.4936	-0.1813	0.0383	-0.1400	-0.2663	0.2373	-0.1588
0.8313	0.9002	0.7572	0.0188	0.0227	-0.0400	-0.1113	0.2373	-0.0569
0.3938	0.9615	0.5193	-0.1813	-0.1680	0.0600	0.0575	0.5173	0.1133
0.8957	0.8980	0.8959	0.2188	0.2203	0.1600	0.1875	0.3373	-0.0667
0.9313	0.9415	0.9349	0.0188	0.0117	0.0800	0.0900	0.3373	-0.1059
0.9393	0.9445	0.9355	-0.1313	-0.1094	0.0600	0.0650	0.4173	0.0447
0.4853	0.7271	0.4654	0.1188	0.3898	0.1600	-0.1763	0.3373	0.0078
0.9147	0.9204	0.8916	-0.1813	-0.1734	0.1600	0.1500	0.5373	0.1176
0.7813	0.7688	0.7766	-0.1313	-0.1234	0.0600	0.1175	0.2873	-0.0382
0.5272	0.9110	0.5529	0.0188	-0.1898	0.0600	0.1138	0.4873	0.2559
0.7938	0.8101	0.8306	-0.0813	-0.0992	-0.1400	-0.1350	0.5173	0.0976
0.7980	0.9378	0.7241	0.0188	0.0258	0.1600	0.1125	0.4873	0.1382
0.8813	0.8814	0.8540	-0.0813	-0.0578	0.0600	0.0350	0.2873	-0.0618
0.9272	0.9396	0.8637	0.0188	0.0203	0.0600	0.0613	0.6373	0.1941
0.7938	0.9710	0.7025	-0.1813	-0.1914	-0.0400	-0.0225	0.6373	0.2098
0.9005	0.9170	0.9002	-0.0813	-0.0945	0.0600	0.0850	0.5373	0.1294
0.9228	0.9212	0.9009	-0.2313	-0.2305	0.0600	0.0263	0.1873	-0.2010
0.8105	0.8611	0.7967	-0.0813	-0.0633	-0.1900	-0.1750	0.4373	0.0686
0.9120	0.9166	0.9253	-0.4413	-0.2069	0.4800	0.0838	0.5173	0.2545
0.9147	0.9121	0.9153	0.0188	0.0117	0.0600	0.0713	0.5373	0.0980
0.6272	0.8562	0.5750	0.1188	0.0852	0.1600	0.1550	0.4373	0.0765
0.8772	0.8616	0.6763	0.3188	0.1617	0.5600	0.1463	0.3373	0.3333
0.9313	0.9266	0.8159	0.1688	-0.0414	0.4100	-0.0588	0.4873	0.2951
0.7438	0.8272	0.6367	0.1688	0.0547	-0.0400	-0.0988	0.2373	0.0020
0.9047	0.9022	0.9090	-0.1813	-0.1617	-0.0900	-0.0300	0.5873	0.2069
0.9062	0.9046	0.9256	-0.4813	-0.4922	0.0100	0.0325	0.1873	-0.2284
0.7772	0.8478	0.7555	0.1188	0.0961	0.1600	0.1350	0.3873	0.0069
0.6272	0.9292	0.6045	-0.2313	-0.0563	-0.1900	0.0613	0.5373	0.2392
0.7772	0.7836	0.8050	-0.0813	-0.0820	0.2600	0.0600	0.4373	0.2020
0.9728	0.9468	0.9315	0.0688	0.0633	0.0600	0.0425	0.3373	-0.0902
0.9480	0.8892	0.7428	-0.1813	0.0727	0.4600	-0.0438	0.2873	0.0520
0.5272	0.8026	0.5104	-0.2813	-0.1148	-0.1900	-0.0538	0.1373	-0.1882
0.4105	0.3896	0.5419	-0.0813	0.1180	0.1600	0.0563	0.5373	0.5373
0.9687	0.8765	0.8585	-0.2813	-0.1180	0.4100	0.2200	0.4873	0.1931
0.6687	0.6034	0.5088	-0.3813	-0.1094	0.3600	0.4225	0.3373	-0.1725
0.9213	0.9309	0.8759	0.0688	0.0547	0.1100	0.1238	0.5373	0.1137
0.6105	0.8096	0.5532	0.1188	0.1445	0.2600	0.2525	0.1373	-0.2157
0.9228	0.9145	0.8533	0.0188	0.0086	-0.0400	-0.2400	0.4373	0.2373
0.6605	0.7373	0.5648	-0.0813	-0.2563	0.3100	0.2513	0.4373	0.2529
0.6438	0.7216	0.6119	-0.4813	-0.2547	0.0600	-0.0250	0.5373	0.1176
0.7980	0.8342	0.6902	0.1188	0.0625	0.0600	0.0313	-0.1627	-0.4255

t2_dMod_xy_distToGiv_toShpBnd	t2_dMod_xy_distToGiv_toForestBnd	t2_dMod_xy_distToGiv_mean	t2_dMod_xy_mindToGiv_mean	t2_dMod_xy_mindToTgt_toWholeBnd	t2_dMod_xy_mindToTgt_mean	t2_dMod_xy_mindToTgt_mean	t2_dMod_z_mindToGiv
0.5556	0.9536	0.6551	0.8356	0.8051	0.8567	0.8406	0.6627
0.8222	0.9813	0.8620	0.9206	0.8037	0.9144	0.8798	0.5227
0.9111	0.9907	0.9310	0.9606	0.9479	0.9594	0.9558	0.5127
0.6667	0.9645	0.7411	0.8644	0.8639	0.8937	0.8844	0.5127
0.9222	0.9920	0.9397	0.9294	0.8737	0.9260	0.9097	0.5127
0.6556	0.9642	0.7327	0.9694	0.9366	0.9520	0.9471	0.5627
0.7222	0.9715	0.7845	0.8894	0.8440	0.8714	0.8628	0.6627
0.7667	0.9753	0.8188	0.8544	0.8273	0.8682	0.8554	0.7627
0.3222	0.9248	0.4729	0.8044	0.7102	0.8476	0.8047	0.7627
0.8222	0.9818	0.8621	0.9206	0.8540	0.9126	0.8943	0.4627
0.9333	0.9932	0.9483	0.7956	0.6879	0.7986	0.7640	0.7627
0.8111	0.9809	0.8536	0.9544	0.8639	0.9521	0.9245	0.4627
0.9556	0.9954	0.9655	0.8106	0.7569	0.8072	0.7915	0.6627
0.8333	0.9831	0.8708	0.8206	0.7012	0.8296	0.7895	0.3627
0.4222	0.9384	0.5513	0.9206	0.9289	0.9422	0.9380	0.7627
0.7333	0.9732	0.7933	0.9356	0.9185	0.9544	0.9432	0.5627
0.7222	0.9716	0.7846	0.9106	0.8377	0.9298	0.9010	0.5627
0.0000	0.5667	0.1417	0.8294	0.9333	0.9625	0.9534	0.4627
0.0000	0.4224	0.1056	0.8706	0.2650	0.6652	0.5401	0.8127
0.8111	0.9804	0.8534	0.7856	0.7465	0.7947	0.7796	0.7627
0.0000	0.5922	0.1480	0.8394	0.6909	0.8477	0.7987	0.7627
0.3667	0.9343	0.5086	0.9706	0.8973	0.9330	0.9219	0.7627
0.8111	0.9801	0.8534	0.8794	0.7485	0.8873	0.8439	0.4827
0.7556	0.9747	0.8103	0.8106	0.6759	0.7961	0.7585	0.6627
0.9000	0.9898	0.9224	0.9506	0.9183	0.9491	0.9395	0.6627
0.6889	0.9668	0.7584	0.9044	0.8341	0.9128	0.8882	0.5827
0.0000	0.5404	0.1351	0.8606	0.3391	0.7170	0.5989	0.6627
0.8889	0.9884	0.9138	0.8294	0.7425	0.8383	0.8083	0.4627
0.4889	0.9466	0.6033	0.9044	0.8167	0.8795	0.8599	0.7127
0.0000	0.7656	0.1914	0.9606	0.7867	0.8482	0.8290	0.5127
0.7444	0.9743	0.8019	0.8894	0.8581	0.8829	0.8751	0.4827
0.5778	0.9560	0.6723	0.9106	0.8957	0.9309	0.9199	0.5127
0.6667	0.9644	0.7411	0.9294	0.9121	0.9536	0.9406	0.7127
0.9778	0.9977	0.9828	0.9606	0.9437	0.9592	0.9544	0.3627
0.8444	0.9842	0.8794	0.8894	0.7232	0.8930	0.8400	0.3627
0.7778	0.9775	0.8277	0.9294	0.8639	0.9102	0.8958	0.4627
0.7000	0.9690	0.7673	0.8544	0.6613	0.8716	0.8059	0.8127
0.7444	0.9729	0.8016	0.8644	0.8351	0.8809	0.8666	0.5627
0.0000	0.5523	0.1381	0.5394	0.6257	0.8547	0.7831	0.4827
0.9000	0.9898	0.9224	0.9606	0.9353	0.9585	0.9513	0.4627
0.5222	0.9530	0.6299	0.8606	0.8645	0.8799	0.8751	0.5627
0.0000	0.6915	0.1729	0.5606	0.8071	0.8460	0.8338	0.6627
0.0000	0.6713	0.1678	0.7106	0.9535	0.9499	0.9511	0.5127
0.0000	0.8566	0.2141	0.8956	0.9224	0.9233	0.9230	0.7627
0.4667	0.9433	0.5858	0.8644	0.7556	0.9041	0.8577	0.4127
0.8000	0.9797	0.8449	0.7544	0.2889	0.7377	0.5974	0.8127
0.6778	0.9678	0.7503	0.8606	0.8635	0.8845	0.8779	0.6127
0.0000	0.6549	0.1637	0.7894	0.8891	0.9413	0.9249	0.4627
0.0000	0.8167	0.2042	0.8294	0.8797	0.9290	0.9136	0.5627
0.8444	0.9841	0.8794	0.9356	0.9078	0.9471	0.9348	0.6627
0.0000	0.4662	0.1166	0.6794	0.8768	0.9418	0.9215	0.7127
0.0000	0.6768	0.1692	0.7644	0.7769	0.9157	0.8723	0.8627
0.0000	0.6154	0.1538	0.8794	0.7722	0.9129	0.8689	0.4627
0.0000	0.6848	0.1712	0.6544	0.7345	0.8310	0.8009	0.5127
0.0000	0.5397	0.1349	0.6294	0.5529	0.7341	0.6775	0.6627
0.8000	0.9798	0.8449	0.9106	0.8888	0.9108	0.9039	0.4627
0.6333	0.9607	0.7152	0.8106	0.7592	0.8015	0.7883	0.8627
0.0000	0.8192	0.2048	0.9706	0.7831	0.8757	0.8467	0.5627
0.0000	0.7956	0.1989	0.8044	0.7007	0.7463	0.7320	0.5627
0.0000	0.5845	0.1461	0.7294	0.5330	0.8602	0.7579	0.4627
0.2000	0.9237	0.3809	0.9106	0.9153	0.9531	0.9413	0.8373

t2_dMod_z_distToTgt	t2_dMod_distToGiv_iStep_res	t2_dMod_mindToGiv_iStep_res	t2_dMod_mindToTgt_iStep_res	t2_dMod_ov_res	t2_ov_distToGiv_mean_res	t2_ov_mindToGiv_mean_res	t2_ov_mindToTgt_mean_res	t2_ov_allTrueOrFalse_mean_res	t2_ovR
0.9961	0.6551	0.7780	0.8924	0.7902	0.8687	0.8730	0.9072	1	0.8936
0.9306	0.8620	0.7880	0.8967	0.8473	0.9315	0.8570	0.8818	1	0.8938
0.9402	0.9310	0.8113	0.9506	0.8935	0.9431	0.8519	0.8896	1	0.8974
0.8500	0.7411	0.7472	0.8729	0.7928	0.9087	0.8400	0.8693	1	0.8783
0.9676	0.9397	0.7905	0.9290	0.8797	0.9146	0.8260	0.8698	1	0.8750
0.9431	0.7327	0.8338	0.9458	0.8505	0.8760	0.8397	0.8747	0	0.7956
0.9412	0.7845	0.8138	0.8889	0.8347	0.8502	0.8522	0.8713	0	0.7928
0.8490	0.8188	0.8238	0.8533	0.8336	0.8502	0.8632	0.8510	1	0.8665
0.9824	0.4729	0.7905	0.8639	0.7386	0.7789	0.8249	0.8374	1	0.8321
0.8824	0.8621	0.7680	0.8903	0.8374	0.8975	0.8633	0.8925	0	0.8149
0.7824	0.9483	0.7847	0.7701	0.8201	0.9633	0.8455	0.8404	0	0.8059
0.8902	0.8536	0.7905	0.9131	0.8522	0.9090	0.9087	0.9334	1	0.9244
0.9020	0.9655	0.7613	0.8283	0.8375	0.9447	0.8501	0.8704	1	0.8905
0.8020	0.8708	0.6680	0.7936	0.7658	0.8523	0.8549	0.9003	1	0.8812
0.9549	0.5513	0.8680	0.9437	0.8172	0.8226	0.9175	0.9175	0	0.8245
0.9667	0.7933	0.8113	0.9510	0.8592	0.9165	0.8898	0.9194	1	0.9147
0.9588	0.7846	0.7947	0.9203	0.8392	0.8671	0.8275	0.8698	1	0.8645
0.9255	0.1417	0.7072	0.9441	0.6546	0.5255	0.7549	0.8574	1	0.7563
0.4539	0.1056	0.8513	0.5114	0.5374	0.6087	0.8310	0.7553	1	0.7665
0.8255	0.8534	0.7780	0.7949	0.8032	0.6682	0.8026	0.8820	0	0.7373
0.8412	0.1480	0.8138	0.8129	0.6470	0.4781	0.7558	0.8606	0.5	0.7083
0.9431	0.5086	0.9013	0.9290	0.8135	0.6987	0.8389	0.8676	1	0.8289
0.8867	0.8534	0.7472	0.8582	0.8153	0.7007	0.7433	0.9190	0	0.7371
0.9333	0.8103	0.7613	0.8168	0.7944	0.8696	0.8558	0.8833	1	0.8796
0.8941	0.9224	0.8547	0.9244	0.8977	0.9325	0.9072	0.9237	1	0.9259
0.9553	0.7584	0.7972	0.9106	0.8300	0.9081	0.8703	0.8879	1	0.8951
0.9922	0.1351	0.7947	0.7300	0.6055	0.4481	0.7322	0.7427	0.5	0.6524
0.8824	0.9138	0.7072	0.8330	0.8060	0.9218	0.8297	0.8497	1	0.8710
0.9618	0.6033	0.8405	0.8939	0.8012	0.8276	0.8651	0.8651	1	0.8628
0.7441	0.1914	0.8113	0.8007	0.6524	0.2509	0.6724	0.8507	0.5	0.6236
0.9024	0.8019	0.7538	0.8842	0.8147	0.8949	0.8416	0.8878	1	0.8821
0.8618	0.6723	0.7780	0.9005	0.7975	0.4893	0.8439	0.9068	0	0.7189
0.9382	0.7411	0.8572	0.9398	0.8591	0.8382	0.8853	0.9079	1	0.8911
0.8059	0.9828	0.7613	0.9049	0.8705	0.8983	0.9293	0.9293	1	0.9134
0.7902	0.8794	0.7138	0.8234	0.7963	0.7442	0.8145	0.8787	0.5	0.7963
0.8706	0.8277	0.7738	0.8874	0.8299	0.9203	0.9044	0.9363	0.5	0.8880
0.7990	0.7673	0.8405	0.8036	0.8084	0.8922	0.8908	0.8783	1	0.8952
0.9314	0.8016	0.7638	0.8882	0.8199	0.8084	0.8347	0.8871	1	0.8595
0.7455	0.1381	0.5205	0.7706	0.5187	0.7625	0.7839	0.8458	1	0.8170
0.9020	0.9224	0.7947	0.9348	0.8792	0.9017	0.8726	0.9193	1	0.9053
0.9235	0.6299	0.7613	0.8912	0.7772	0.5612	0.8135	0.8947	1	0.7977
0.6667	0.1729	0.5947	0.7781	0.5580	0.3905	0.7516	0.8106	1	0.7078
0.7049	0.1678	0.6447	0.8690	0.6096	0.6485	0.8682	0.9307	1	0.8493
0.9580	0.2141	0.8513	0.9480	0.7283	0.4755	0.8235	0.9062	0	0.7085
0.7931	0.5858	0.7138	0.8362	0.7277	0.6444	0.8243	0.8243	0	0.7361
0.7716	0.8449	0.7738	0.6555	0.7472	0.9130	0.8797	0.8498	1	0.8863
0.9931	0.7503	0.7780	0.9163	0.8229	0.6793	0.7366	0.7979	1	0.7649
0.7608	0.1637	0.6805	0.8702	0.6224	0.5040	0.7103	0.8268	1	0.7253
0.7980	0.2042	0.7405	0.8751	0.6569	0.6583	0.8364	0.8764	1	0.8217
0.9098	0.8794	0.8447	0.9265	0.8840	0.8961	0.9249	0.9406	1	0.9295
0.9480	0.1166	0.6905	0.9303	0.6370	0.5067	0.8283	0.8716	0.5	0.7438
0.8118	0.1692	0.7972	0.8521	0.6608	0.4814	0.7647	0.8350	1	0.7418
0.4627	0.1538	0.7405	0.7335	0.5912	0.6962	0.7339	0.7252	1	0.7427
0.8069	0.1712	0.6072	0.8029	0.5716	0.5494	0.7320	0.7725	1	0.7245
0.8275	0.1349	0.6405	0.7275	0.5467	0.3635	0.7318	0.7136	0.5	0.6227
0.8863	0.8449	0.7613	0.8980	0.8335	0.8578	0.8822	0.9080	1	0.8946
0.7843	0.7152	0.8280	0.7870	0.7844	0.6656	0.7972	0.8421	1	0.7980
0.7627	0.2048	0.8347	0.8187	0.6712	0.5822	0.8601	0.8829	0	0.7377
0.7471	0.1989	0.7238	0.7370	0.5976	0.5145	0.7894	0.8041	1	0.7472
0.8824	0.1461	0.6405	0.7994	0.5765	0.6167	0.7545	0.7917	1	0.7545
0.5745	0.3809	0.8862	0.8190	0.7347	0.6282	0.8278	0.8012	1	0.7858

t2_ovrGrp	t3_dDeep_xPerc_diffToTgtPerc	t3_dDeep_yPerc_diffToTgtPerc	t3_dDeep_zPerc_diffToTgtPerc	t3_dDeep_hitPoint_bool	t3_dDeep_hitMSregion	t3_dDeep_mindToTgt_toWholeBnd	t3_dDeep_mindToTgt_mean_res	t3_dDeep_heightToTgt_mean_res
80.00-89.99%	0.0977	0.0325	0.0690	yes	Brugg/Zurzach	0.9023	0.9349	0.9310
80.00-89.99%	-0.0281	0.0113	0.0655	yes	Alsace	0.9719	0.9803	0.9345
80.00-89.99%	0.0172	-0.0987	0.1077	yes	Olten/Gösigen/Gäu	0.9383	0.9420	0.8923
80.00-89.99%	0.0938	0.0062	0.0566	yes	Freiburg	0.9063	0.9500	0.9434
80.00-89.99%	-0.0484	0.3413	0.3492	yes	Lac de Neuchâtel	0.7867	0.8052	0.6508
70.00-79.99%	0.1625	0.0125	-0.0121	yes	Freiburg	0.8375	0.9125	0.9879
70.00-79.99%	-0.0086	0.0238	0.2612	yes	Alsace	0.9852	0.9838	0.7388
80.00-89.99%	-0.0672	0.5300	0.0432	yes	Uri	0.6688	0.7014	0.9568
80.00-89.99%	0.0344	0.0488	0.0715	yes	Alsace	0.9656	0.9584	0.9285
80.00-89.99%	0.1602	-0.0300	0.0889	yes	Alsace	0.8398	0.9049	0.9111
80.00-89.99%	0.2195	0.0050	0.1747	yes	Freiburg	0.7805	0.8877	0.8253
90.00-100.00%	0.0453	-0.0663	0.0105	yes	Biel/Seeland	0.9547	0.9442	0.9895
80.00-89.99%	0.1781	0.0075	0.1588	yes	Zürcher Unterland	0.8219	0.9072	0.8412
80.00-89.99%	0.0820	0.1000	0.0342	yes	Laufental	0.9180	0.9090	0.9658
80.00-89.99%	-0.0148	0.0138	0.0741	yes	Alsace	0.9852	0.9857	0.9259
90.00-100.00%	0.0430	-0.0963	0.0691	yes	Fricktal	0.9398	0.9304	0.9309
80.00-89.99%	0.0164	-0.1888	0.2492	yes	Lac de Neuchâtel	0.8820	0.8974	0.7508
70.00-79.99%	-0.1344	0.0163	0.2108	yes	Thurtal	0.8656	0.9247	0.7892
70.00-79.99%	-0.0188	0.2350	0.2505	yes	Sursee/Seetal	0.8531	0.8731	0.7495
70.00-79.99%	-0.1344	-0.0087	0.0223	yes	Thurtal	0.8656	0.9284	0.9777
70.00-79.99%	0.0617	0.0525	0.0575	yes	Bodensee	0.9383	0.9429	0.9425
80.00-89.99%	0.2141	-0.8788	0.1786	yes	Alsace	0.4508	0.4536	0.8214
70.00-79.99%	-0.1336	0.0400	-0.0407	yes	Alsace	0.8664	0.9132	0.9593
80.00-89.99%	-0.0758	0.0550	0.0432	no	Winterthur	0.9242	0.9346	0.9568
90.00-100.00%	0.1031	-0.0663	0.0673	yes	Alsace	0.8969	0.9153	0.9327
80.00-89.99%	0.1891	0.0650	0.0792	yes	Lac de Neuchâtel	0.8109	0.8730	0.9208
80.00-89.99%	-0.2195	-0.2538	0.0112	yes	Thurtal	0.7805	0.7634	0.9888
80.00-89.99%	-0.1141	0.0313	0.0278	yes	Thurtal	0.8859	0.9273	0.9722
80.00-89.99%	0.0555	0.0550	0.1191	yes	Schaffhausen	0.9445	0.9448	0.8809
60.00-69.99%	0.1188	0.0738	0.1109	no	La Broye	0.8813	0.9038	0.8891
80.00-89.99%	0.3594	0.0300	0.0340	yes	Brugg/Zurzach	0.6406	0.8053	0.9660
70.00-79.99%	0.0148	-0.0113	0.0410	yes	Schwaben	0.9852	0.9870	0.9590
80.00-89.99%	0.1344	0.0438	0.0232	yes	Basel-Stadt	0.8656	0.9109	0.9768
90.00-100.00%	0.0977	0.0125	0.0743	yes	Oberes Baselbiet	0.9023	0.9449	0.9257
70.00-79.99%	0.0539	0.0363	0.0403	yes	Alsace	0.9461	0.9549	0.9597
80.00-89.99%	-0.0227	-0.0237	0.0075	yes	Bodensee	0.9773	0.9768	0.9925
80.00-89.99%	-0.0953	0.1788	0.1035	yes	Zürichsee	0.8883	0.8630	0.8965
80.00-89.99%	0.0898	0.0513	0.0612	yes	Alsace	0.9102	0.9295	0.9388
80.00-89.99%	0.0792	0.0337	0.1186	yes	Alsace	0.9208	0.9435	0.8814
90.00-100.00%	0.0047	0.0125	0.0136	yes	Alsace	0.9922	0.9914	0.9864
70.00-79.99%	0.1141	-0.0900	0.2112	yes	Mutschellen	0.8859	0.8980	0.7888
70.00-79.99%	0.0813	-0.2450	0.1314	yes	Domleschg/Hinterrhein	0.8469	0.8369	0.8686
80.00-89.99%	-0.1625	-0.0038	0.0568	yes	Brugg/Zurzach	0.8375	0.9169	0.9432
70.00-79.99%	0.1930	0.0025	0.0250	yes	Alsace	0.8070	0.9023	0.9750
70.00-79.99%	0.3492	0.3388	0.5263	yes	Thun	0.6508	0.6560	0.4737
80.00-89.99%	0.0461	0.0150	0.0411	yes	Laufental	0.9539	0.9695	0.9589
70.00-79.99%	0.6914	0.0513	0.1773	no	Neuchâtel	0.3086	0.6287	0.8227
70.00-79.99%	0.1117	0.1238	0.1045	yes	Burgdorf	0.8883	0.8823	0.8955
80.00-89.99%	-0.0023	-0.1013	0.0992	yes	Grenchen	0.9367	0.9482	0.9008
90.00-100.00%	0.0102	0.0300	0.1550	yes	Vorarberg	0.9813	0.9799	0.8450
70.00-79.99%	0.1469	-0.1375	0.0329	yes	Oberland-Ost	0.8531	0.8578	0.9671
70.00-79.99%	-0.1023	-0.0775	-0.0123	yes	Fricktal	0.8977	0.9101	0.9877
70.00-79.99%	-0.0344	0.3413	0.7495	yes	Sarneraatal	0.7867	0.8122	0.2505
70.00-79.99%	0.0516	-0.0513	0.2207	no	Oberes Baselbiet	0.9484	0.9486	0.7793
60.00-69.99%	0.1477	0.0650	-0.0321	no	Wil	0.8523	0.8937	0.9679
80.00-89.99%	-0.2258	-0.2700	0.1615	yes	Oberland-Ost	0.7742	0.7521	0.8385
70.00-79.99%	-0.0175	-0.1675	-0.0299	yes	Alsace	0.8953	0.9075	0.9701
70.00-79.99%	0.1383	-0.0488	-0.0051	yes	Basel-Stadt	0.8617	0.9065	0.9949
70.00-79.99%	-0.2359	0.1838	0.2007	yes	Uri	0.7641	0.7902	0.7993
70.00-79.99%	0.2250	-0.3500	0.2100	yes	Aarau	0.7750	0.7125	0.7900
70.00-79.99%	0.0844	-0.1750	0.3893	yes	Zürichsee	0.8906	0.8703	0.6107

I3_dDeep_ov_res	I3_pHigh_xPerc_diffToTgtPerc	I3_pHigh_yPerc_diffToTgtPerc	I3_pHigh_zPerc_diffToTgtPerc	I3_pHigh_bitPoint_bool	I3_pHigh_bitMSregion	I3_pHigh_mindToTgt_wWholeBod	I3_pHigh_mindToTgt_mean_res	I3_pHigh_heightToTgt_mean_res
0.9421	0.0127	-0.0350	-0.0318	yes	Oberengadin	0.9781	0.9762	0.9682
0.9417	0.0094	-0.0913	-0.0040	yes	Goms	0.9430	0.9497	0.9430
0.9431	0.0086	-0.1113	-0.0605	yes	Piemont	0.9305	0.9401	0.9395
0.9499	0.0547	-0.0813	-0.0978	yes	Goms	0.9320	0.9453	0.9320
0.9407	0.0758	-0.1725	-0.0271	yes	Goms	0.8922	0.8759	0.9279
0.9345	0.0305	0.1675	-0.0764	yes	Goms	0.8953	0.8655	0.9236
0.9269	-0.1227	-0.0400	-0.0283	no	Goms	0.8773	0.9187	0.9177
0.9318	0.0098	0.1963	-0.1912	yes	Oberland-Ost	0.8773	0.9015	0.8086
0.9631	0.0320	-0.0850	-0.0895	yes	Oberengadin	0.9469	0.9415	0.9101
0.9140	-0.0016	-0.0663	0.3682	yes	Oberengadin	0.9586	0.9661	0.6318
0.9734	-0.1711	-0.2163	0.2598	yes	Oberland-Ost	0.8289	0.8063	0.7402
0.9721	-0.0477	-0.0413	0.1290	yes	Oberengadin	0.9523	0.9555	0.8710
0.8926	-0.0750	-0.0725	-0.0387	yes	Oberland-Ost	0.9263	0.9263	0.9613
0.9482	0.0388	-0.0313	0.2131	yes	Uri	0.9602	0.9645	0.7869
0.9242	-0.2906	-0.0450	-0.1634	yes	Oberengadin	0.8322	0.8322	0.8366
0.9503	-0.1383	-0.0825	0.0210	yes	Vsp	0.8617	0.8896	0.9790
0.8826	-0.1688	-0.0863	0.0545	no	Vsp	0.8313	0.8725	0.9455
0.8949	-0.2047	0.2800	0.1004	yes	Oberland-Ost	0.7953	0.7577	0.8956
0.8689	0.0141	-0.4225	-0.1759	no	Vorarlberg	0.7359	0.7817	0.8241
0.9430	0.0438	-0.1638	0.2280	yes	Oberengadin	0.8977	0.8963	0.7720
0.9559	0.1352	-0.1463	0.2438	yes	Oberengadin	0.8648	0.8593	0.7562
0.8814	0.0250	-0.1325	0.0060	yes	Bergell	0.9172	0.9213	0.9940
0.9447	0.0656	0.1600	0.0140	yes	Oberland-Ost	0.9000	0.8872	0.9860
0.7039	0.0758	-0.0592	-0.0369	yes	Domleschg/hinterhein	0.9242	0.9325	0.9631
0.9362	0.0094	-0.1750	0.8900	no	Oberland-Ost	0.8906	0.9078	0.9200
0.9012	0.1055	0.1575	0.0704	yes	Goms	0.8945	0.8685	0.9296
0.8831	0.0346	0.0563	0.2476	yes	Oberengadin	0.9648	0.9551	0.7524
0.9464	-0.0273	-0.2463	0.0678	yes	Oberengadin	0.8461	0.8632	0.9322
0.9425	0.1266	-0.2038	0.2551	yes	Mittellanden	0.8727	0.8348	0.7449
0.6685	0.1838	0.4663	-0.2598	no	Oberland-Ost	0.7086	0.6755	0.7402
0.8530	-0.1055	-0.0550	0.3354	yes	Oberland-Ost	0.8945	0.9198	0.6746
0.8828	0.0531	0.0788	0.2385	yes	Goms	0.9469	0.9341	0.7635
0.9183	0.0219	-0.0363	0.0759	yes	Oberland-Ost	0.9773	0.9709	0.9241
0.9432	0.2797	0.0588	0.1276	yes	Goms	0.7203	0.8308	0.8724
0.9652	0.0719	-0.0888	0.1058	yes	Oberland-Ost	0.9281	0.9197	0.8942
0.9867	-0.0773	-0.0850	0.0682	yes	Oberengadin	0.9227	0.9188	0.9318
0.9119	-0.2383	0.0225	-0.0006	yes	Brig	0.7617	0.8696	0.9994
0.9446	-0.0250	0.1175	0.2202	yes	Oberland-Ost	0.9266	0.9288	0.7798
0.9364	-0.1673	-0.1600	-0.0293	yes	Goms	0.8327	0.8363	0.9707
0.9925	-0.0695	0.0025	0.2490	yes	Surselva	0.9640	0.9640	0.7510
0.8932	-0.0070	0.0013	0.3980	yes	Oberland-Ost	0.9930	0.9959	0.6020
0.8881	0.0727	0.1200	-0.2455	yes	Mittellanden	0.9250	0.9037	0.7545
0.9244	0.0070	0.0650	0.1984	yes	Surselva	0.9594	0.9640	0.8016
0.9211	-0.0430	-0.1563	-0.1023	yes	Goms	0.9023	0.9004	0.8977
0.6951	-0.1539	0.3638	-0.0522	yes	Goms	0.7277	0.7412	0.9478
0.9706	-0.2023	-0.0450	-0.0151	yes	Domleschg/hinterhein	0.7977	0.8763	0.9849
0.4400	-0.2023	-0.1400	0.0579	yes	Sarganserland	0.7977	0.8288	0.9421
0.9165	0.0953	0.1525	0.0015	no	Appenzel Ausserrhoden	0.9047	0.8761	0.9985
0.9464	0.0398	-0.0138	0.2939	yes	Sarnenraai	0.9602	0.9732	0.7061
0.9515	-0.0019	0.0275	0.2966	yes	Prattigau	0.9828	0.9853	0.7034
0.9195	0.0477	-0.0613	-0.4776	yes	Surselva	0.9523	0.9455	0.5224
0.9489	-0.2344	-0.2413	0.1864	yes	Davos	0.7656	0.7622	0.8136
0.7124	-0.0633	0.2288	0.1956	no	Lichtenstein	0.8570	0.8540	0.8044
0.6691	-0.5211	0.4575	0.5528	no	Surselva	0.4789	0.5107	0.4472
0.6785	-0.0944	0.5138	0.5310	no	Entlebuch	0.6664	0.6909	0.4684
0.8412	-0.2591	-0.1938	0.0960	yes	Oberland-Ost	0.7409	0.7736	0.9040
0.9432	0.4859	0.4700	0.1649	no	Aligle	0.5141	0.5220	0.8351
0.9408	0.1992	-0.0313	0.1750	yes	Oberland-Ost	0.8008	0.8848	0.8250
0.8384	0.0203	0.2813	-0.0038	yes	Goms	0.8492	0.8492	0.9962
0.8194	-0.4547	0.5788	0.3884	no	Domleschg/hinterhein	0.8422	0.8422	0.6116
0.8429	0.1961	-0.0675	0.1992	yes	Oberland-Ost	0.8039	0.8682	0.8008

t3_pHigh_ov_res	t3_lake_xPerc_diffToTgtPerc	t3_lake_yPerc_diffToTgtPerc	t3_lake_zPerc_diffToTgtPerc	t3_lake_hitPoint_bool	t3_lake_hitMSregion	t3_lake_mindToTgt_toWholeBnd	t3_lake_mindToTgt_mean_res	t3_lake_heightToTgt_mean_res	t3_lake_ov_res
0.9806	-0.0563	0.0688	0.1986	yes	Lac de Neuchâtel	0.9438	0.9375	0.8014	0.9207
0.9720	-0.0581	-0.0388	0.0992	yes	Lac de Neuchâtel	0.9419	0.9516	0.9008	0.9485
0.9525	0.0555	0.0175	0.1041	yes	Bodensee	0.9445	0.9635	0.8959	0.9510
0.9449	-0.0469	-0.1438	0.0957	yes	Thunersee	0.9102	0.9047	0.9043	0.9298
0.9352	-0.0586	0.2613	0.3492	yes	Lac de Neuchâtel	0.8367	0.8401	0.6508	0.8319
0.9211	0.2320	0.4413	-0.0381	no	Aaretal	0.7242	0.6634	0.9619	0.5874
0.6919	0.0352	0.0125	0.3177	yes	Vierwaldstättersee	0.9648	0.9762	0.6823	0.9058
0.8969	-0.1203	0.1575	0.3480	yes	Vierwaldstättersee	0.8797	0.8611	0.6520	0.8482
0.9496	0.0227	0.3188	0.3289	no	Biel/Seeland	0.8008	0.8293	0.6711	0.5753
0.8891	0.1000	0.0263	0.2480	yes	Vierwaldstättersee	0.9000	0.9369	0.7520	0.8972
0.8439	0.0516	0.0288	0.2281	no	Brugg/Zurzach	0.9484	0.9598	0.7719	0.6700
0.9447	0.2578	0.0788	0.0726	yes	Thunersee	0.7422	0.8317	0.9274	0.8753
0.9531	-0.0227	0.0725	0.1466	no	Jura	0.9547	0.9524	0.8534	0.6901
0.9279	-0.0219	0.0713	0.0828	no	Zürcher Oberland	0.9555	0.9534	0.9172	0.7065
0.8445	-0.0531	0.0025	0.0128	no	Zürcher Unterland	0.9469	0.9722	0.9872	0.7266
0.9326	0.0313	-0.1450	0.1181	no	Mutschellen	0.9094	0.9119	0.8819	0.6758
0.6623	0.0586	0.1500	0.1127	no	La Broye	0.9063	0.8957	0.8873	0.6723
0.8631	0.1234	-0.1225	0.1457	yes	Greifensee	0.8766	0.8770	0.8543	0.9020
0.5855	-0.2695	-0.0287	0.0896	no	Freiburg	0.7305	0.8509	0.9104	0.6229
0.8915	-0.0727	-0.2800	0.1871	yes	Lac de la Gruyère	0.8250	0.8237	0.8129	0.8654
0.8701	0.0102	0.0588	0.3271	no	Oberland-Ost	0.9633	0.9655	0.6729	0.6504
0.9581	-0.0359	0.0613	0.1517	no	La Broye	0.9617	0.9514	0.8483	0.6903
0.9433	0.0320	0.0113	0.0480	yes	Vierwaldstättersee	0.9680	0.9784	0.9520	0.9746
0.9550	0.0722	0.0413	0.0195	yes	Bodensee	0.9278	0.9433	0.9805	0.9629
0.6796	-0.0273	0.0175	0.0174	no	Alsace	0.9727	0.9776	0.9826	0.7332
0.9232	-0.0227	0.0475	0.0559	no	Luzern	0.9703	0.9649	0.9441	0.7198
0.9181	-0.0586	0.1150	0.0955	no	Biel/Seeland	0.9281	0.9132	0.9045	0.6864
0.9104	-0.2148	0.0700	0.0588	no	Limmattal	0.7852	0.8576	0.9412	0.6460
0.8631	0.0383	0.0588	0.2479	no	Vorarlberg	0.9617	0.9515	0.7521	0.6663
0.5311	0.3961	-0.0012	0.3138	no	Biel/Seeland	0.6039	0.8013	0.6862	0.5229
0.8722	0.1234	0.2638	0.0985	yes	Erlach/Seeland	0.8352	0.8064	0.9015	0.8858
0.9111	0.1016	-0.0113	0.0139	no	Alsace	0.8984	0.9436	0.9861	0.7070
0.9681	-0.0602	0.0950	0.0706	yes	Thunersee	0.9398	0.9224	0.9294	0.9479
0.8559	-0.1539	-0.0750	0.2325	no	Aarau	0.8461	0.8855	0.7675	0.6248
0.9355	-0.0523	-0.0638	0.0127	yes	Monthey/St-Maurice	0.9477	0.9420	0.9873	0.9692
0.9433	0.0727	0.0750	0.0440	no	Lichtenstein	0.9273	0.9262	0.9560	0.7024
0.9077	-0.0238	-0.1625	0.1635	yes	Lac Léman	0.8984	0.9069	0.8365	0.9104
0.9088	0.1438	0.2450	0.3500	no	Aaretal	0.8469	0.8056	0.6500	0.5756
0.9099	-0.0553	0.1088	0.0250	yes	Obersee	0.9320	0.9180	0.9750	0.9562
0.9114	0.0102	-0.0712	0.1450	no	Erlach/Seeland	0.9555	0.9593	0.8550	0.6925
0.8977	0.0055	0.0213	0.3573	no	Linthgebiet	0.9867	0.9866	0.6427	0.6540
0.8958	0.3383	0.1000	0.0619	yes	Lac Léman	0.6617	0.7809	0.9381	0.8452
0.9312	0.0961	0.0688	0.4155	no	Luzern	0.9039	0.9176	0.5845	0.6015
0.9251	0.2773	-0.5875	0.7671	no	Zürcher Oberland	0.6328	0.5676	0.2329	0.3583
0.6154	-0.1180	0.2775	0.0382	no	Burgdorf	0.8266	0.8023	0.9618	0.6476
0.9147	-0.0297	0.1113	0.1192	yes	Lac de Neuchâtel	0.9305	0.9295	0.8808	0.9352
0.8922	-0.2734	-0.5988	0.1268	yes	Bodensee	0.6258	0.5639	0.8732	0.7657
0.6948	0.1164	0.4425	0.1369	yes	Thunersee	0.7234	0.7205	0.8631	0.8268
0.9099	0.0133	-0.0388	0.1480	yes	Vierwaldstättersee	0.9758	0.9740	0.8520	0.9504
0.9179	-0.0133	-0.0350	-0.0115	yes	Lac Léman	0.9781	0.9759	0.9885	0.9856
0.8551	-0.2531	-0.2725	0.5282	no	Baden	0.7469	0.7372	0.4718	0.4890
0.8353	-0.3305	-0.1638	0.2024	no	Brugg/Zurzach	0.6695	0.7929	0.7976	0.5550
0.6288	-0.0719	0.0700	0.7653	no	Jura	0.9281	0.9291	0.2347	0.5230
0.3592	-0.0297	0.0888	0.4527	yes	Zürichsee	0.9445	0.9408	0.5473	0.8582
0.4564	0.1219	0.6125	-0.0468	no	Sion	0.6172	0.6328	0.9532	0.5508
0.8546	0.0992	-0.0125	0.0207	no	Freiburg	0.9008	0.9441	0.9793	0.7061
0.4678	0.1883	0.1888	0.0916	no	Locarno	0.8117	0.8115	0.9084	0.6329
0.8776	0.3844	-0.2975	0.0218	no	Zürcher Unterland	0.6156	0.6591	0.9782	0.5632
0.9174	0.0016	0.0975	0.0975	no	Oberes Baselbiet	0.8688	0.8942	0.9025	0.6664
0.4101	0.2352	-0.5500	0.3786	no	Freiamt	0.6563	0.6074	0.6214	0.4713
0.8682	-0.2484	0.1475	-0.0127	no	Uri	0.7516	0.8020	0.9873	0.6352



t3_pOther_zHeight_diffToTgtAbs	t3_pOther_zHeight_diffToTgtPerc	t3_pOther_hitPoint_bool	t3_pOther_hitMSRegion	t3_lake_heightToTgt_mean_res	t3_lake_ov_res	t3_mountOrient_cat	t3_ov_mindToTgt_both_res	t3_ov_heightToTgt_mean_res
103.02	0.0258	yes	Uri	0.9742	0.9871	0.8	0.9455	0.9187
603.29	0.1512	yes	Mittelbünden	0.8488	0.9244	0.6	0.9564	0.9199
-199.80	-0.0501	yes	Oberland – Ost	0.9499	0.9750	0.4	0.9432	0.9194
299.11	0.0750	yes	Surseiva	0.9250	0.9625	0.2	0.9247	0.9187
1097.22	0.2750	no	Mesolcina	0.7250	0.3625	0.2	0.8395	0.7499
-2279.90	-0.5714	yes	Oberland – Ost	0.4286	0.7143	0.2	0.8164	0.8255
-1561.30	-0.3913	yes	Glarner Hinterland	0.6087	0.8043	0.6	0.9510	0.7504
-56.61	-0.0142	yes	Domleschg/Hinterrhein	0.9858	0.9929	0.2	0.8150	0.8508
154.49	0.0387	no	Einsiedeln	0.9613	0.4806	0.8	0.9071	0.8677
141.69	0.0355	yes	Piemont	0.9645	0.9822	0.8	0.9177	0.8148
336.21	0.0843	yes	Oberland – Ost	0.9157	0.9579	0.2	0.8686	0.8133
-756.09	-0.1895	yes	Tre Valli	0.8105	0.9052	1	0.8968	0.8996
501.49	0.1257	yes	Surseiva	0.8743	0.9372	1	0.9146	0.8826
779.00	0.1952	yes	Mittelbünden	0.8048	0.9024	0.4	0.9434	0.8687
-536.81	-0.1345	yes	Endiadina bassa	0.8655	0.9327	0.6	0.9052	0.9038
-467.28	-0.1171	yes	Einsiedeln	0.8829	0.9414	0.4	0.9071	0.9187
-1184.20	-0.2968	yes	Sarganserland	0.7032	0.8516	0.8	0.8809	0.8217
-461.31	-0.1156	yes	Tre Valli	0.8844	0.9422	0	0.8495	0.8569
1212.69	0.3039	no	Surseiva	0.6961	0.3480	0.6	0.8042	0.7950
226.71	0.0568	yes	Goms	0.9432	0.9716	0.6	0.8728	0.8728
116.28	0.0291	yes	Brig	0.9709	0.9854	0.2	0.9224	0.8356
-1680.00	-0.4211	yes	Goms	0.5789	0.7895	1	0.7760	0.8106
398.32	0.0998	yes	Leuk	0.9002	0.9501	0.6	0.9189	0.9494
711.40	0.1783	yes	Uri	0.8217	0.9108	0.8	0.9311	0.9305
-177.00	-0.0444	yes	Sarganserland	0.9556	0.9778	1	0.9268	0.9477
1832.29	0.4592	yes	Oberland – Ost	0.5408	0.7704	0.6	0.8970	0.8338
214.70	0.0538	yes	Goms	0.9462	0.9731	0.2	0.8842	0.8980
-187.52	-0.0470	yes	Goms	0.9530	0.9765	0.2	0.8609	0.9497
691.49	0.1733	yes	Bergell	0.8267	0.9133	0.2	0.9183	0.8011
3462.80	0.8679	no	Basel-Stadt	0.1321	0.0660	0.8	0.7624	0.6119
412.68	0.1034	yes	Sarneraatal	0.8966	0.9483	0.8	0.8170	0.8597
-381.28	-0.0956	yes	Surseiva	0.9044	0.9522	0.6	0.9492	0.9033
383.51	0.0961	yes	Brig	0.9039	0.9519	1	0.9312	0.9335
350.99	0.0880	yes	Surseiva	0.9120	0.9560	0.4	0.8550	0.8694
797.98	0.2000	yes	Oberland – Ost	0.8000	0.9000	1	0.9397	0.9103
106.00	0.0266	yes	Oberengadin	0.9734	0.9867	1	0.9415	0.9634
107.34	0.0269	yes	Surseiva	0.9731	0.9865	0.4	0.8646	0.9264
1005.40	0.2520	yes	La Gruyère	0.7480	0.8740	1	0.8912	0.7791
247.81	0.0621	yes	Sarneraatal	0.9379	0.9689	0.8	0.8972	0.9412
1921.39	0.4816	yes	Einsiedeln	0.5184	0.7592	0.2	0.9655	0.7777
55.70	0.0140	yes	Saanen/Obersimmental	0.9860	0.9930	0.6	0.9577	0.7549
755.20	0.1893	yes	Oberengadin	0.8107	0.9054	0.6	0.8258	0.8430
-114.09	-0.0286	yes	Glarner Hinterland	0.9714	0.9857	0.6	0.9165	0.8252
363.91	0.0912	yes	Oberengadin	0.9088	0.9544	1	0.7854	0.7536
272.99	0.0684	yes	Goms	0.9316	0.9658	0.2	0.7416	0.8287
1544.80	0.3872	yes	Nidwalden/Engelberg	0.6128	0.8064	0.8	0.9096	0.8593
159.29	0.0399	yes	Sarganserland	0.9601	0.9800	0.2	0.6256	0.8995
1661.41	0.4164	no	Vorarlberg	0.5836	0.2918	0	0.8326	0.8352
539.39	0.1352	yes	Vorarlberg	0.8648	0.9324	1	0.9613	0.8309
-130.09	-0.0326	yes	Locarno	0.9674	0.9837	0.2	0.9805	0.8761
665.39	0.1668	no	Schwarzwasser	0.8332	0.4166	0.8	0.8488	0.6986
613.70	0.1538	yes	Surseiva	0.8462	0.9231	0.2	0.7930	0.8613
1247.79	0.3127	yes	Sarganserland	0.6873	0.8436	0.6	0.8612	0.4942
1451.00	0.3637	no	Asrau	0.6363	0.3182	1	0.7953	0.6025
2571.00	0.6444	no	Biel/Seeland	0.3556	0.1778	0.2	0.7256	0.6863
-32.80	-0.0082	yes	Mittelbünden	0.9918	0.9959	1	0.8143	0.9284
255.91	0.0641	no	Surseiva	0.9359	0.4679	0.2	0.7437	0.9124
946.50	0.2372	yes	Uri	0.7628	0.8814	0.8	0.7881	0.8902
1013.81	0.2541	yes	Oberland – Ost	0.7459	0.8729	0.6	0.8318	0.8610
1901.09	0.4765	no	Locarno	0.5235	0.2618	0.2	0.6300	0.6366
1412.61	0.3541	yes	Uri	0.6459	0.8230	0.2	0.8311	0.7612

t3_ov_hitTgtTrueOrFalse_res	t3_ovR	t3_ovRGrp	tAll_all_ovR	tall_ovRGrp	preTest_unweighted_res	preTest_unweighted_resGrp	wholeAll_all_ovR	wholeAll_all_ov_difference	t2-3_mindToTgt_mean	t2-3_mindToTgt_deviationFromMean
1	0.9432	90.00-100.00%	0.7953	70.00-79.99%	0.6676	60.00-69.99%	0.7314	0.1277	0.9263	0.0192
1	0.9345	90.00-100.00%	0.9008	90.00-100.00%	0.8121	80.00-89.99%	0.8565	0.0886	0.9191	0.0373
1	0.9158	90.00-100.00%	0.7802	70.00-79.99%	0.7958	70.00-79.99%	0.7880	-0.0156	0.9164	0.0268
1	0.8949	80.00-89.99%	0.8297	80.00-89.99%	0.7122	70.00-79.99%	0.7710	0.1175	0.8970	0.0277
0.75	0.7491	70.00-79.99%	0.8065	80.00-89.99%	0.6466	60.00-69.99%	0.7265	0.1599	0.8546	-0.0152
0.75	0.7600	70.00-79.99%	0.7282	70.00-79.99%	0.5946	50.00-59.99%	0.6614	0.1336	0.8455	-0.0291
0.75	0.8205	80.00-89.99%	0.8224	80.00-89.99%	0.4811	40.00-49.99%	0.6518	0.3413	0.9112	0.0399
1	0.8129	80.00-89.99%	0.8131	80.00-89.99%	0.6529	60.00-69.99%	0.7330	0.1607	0.8391	-0.0241
0.5	0.7809	70.00-79.99%	0.7896	70.00-79.99%	0.5597	50.00-59.99%	0.6746	0.2298	0.8722	0.0349
1	0.9044	90.00-100.00%	0.7516	70.00-79.99%	0.5027	50.00-59.99%	0.6272	0.2489	0.9051	0.0126
0.75	0.7777	70.00-79.99%	0.7355	70.00-79.99%	0.4638	40.00-49.99%	0.5986	0.2717	0.8545	0.0141
1	0.9319	90.00-100.00%	0.8733	80.00-89.99%	0.5426	50.00-59.99%	0.7080	0.3308	0.9151	-0.0183
0.75	0.8678	80.00-89.99%	0.8045	80.00-89.99%	0.7138	70.00-79.99%	0.7591	0.0907	0.8925	0.0221
0.75	0.8357	80.00-89.99%	0.8657	80.00-89.99%	0.6813	60.00-69.99%	0.7740	0.1854	0.9218	0.0216
0.75	0.8431	80.00-89.99%	0.7263	70.00-79.99%	0.6039	60.00-69.99%	0.6651	0.1224	0.9114	-0.0061
0.75	0.8345	80.00-89.99%	0.8449	80.00-89.99%	0.6339	60.00-69.99%	0.7394	0.2110	0.9133	-0.0062
0.5	0.7581	70.00-79.99%	0.7397	70.00-79.99%	0.6220	60.00-69.99%	0.6809	0.1177	0.8753	0.0055
1	0.8350	80.00-89.99%	0.7567	70.00-79.99%	0.3649	30.00-39.99%	0.5608	0.3918	0.8534	-0.0039
0.25	0.6404	60.00-69.99%	0.6550	60.00-69.99%	0.6300	60.00-69.99%	0.6425	0.0250	0.7798	0.0244
1	0.8895	80.00-89.99%	0.8246	80.00-89.99%	0.6165	60.00-69.99%	0.7206	0.2081	0.8774	-0.0046
0.75	0.8051	80.00-89.99%	0.7085	70.00-79.99%	0.4805	40.00-49.99%	0.5945	0.2280	0.8915	0.0309
0.75	0.7932	70.00-79.99%	0.7337	70.00-79.99%	0.5094	50.00-59.99%	0.6215	0.2243	0.8218	-0.0458
1	0.9274	90.00-100.00%	0.8306	80.00-89.99%	0.4795	40.00-49.99%	0.6550	0.3511	0.9189	-0.0001
0.75	0.8739	80.00-89.99%	0.7692	70.00-79.99%	0.5903	50.00-59.99%	0.6788	0.1788	0.9072	0.0239
0.5	0.8235	80.00-89.99%	0.8971	80.00-89.99%	0.5664	50.00-59.99%	0.7317	0.3307	0.9253	0.0016
0.75	0.8212	80.00-89.99%	0.7376	70.00-79.99%	0.7509	70.00-79.99%	0.7443	-0.0133	0.8925	0.0046
0.75	0.8065	80.00-89.99%	0.6814	60.00-69.99%	0.3960	30.00-39.99%	0.5387	0.2854	0.8134	0.0707
0.75	0.8109	80.00-89.99%	0.7933	70.00-79.99%	0.5550	50.00-59.99%	0.6741	0.2383	0.8553	0.0056
0.75	0.7943	70.00-79.99%	0.8223	80.00-89.99%	0.5640	50.00-59.99%	0.6932	0.2583	0.8917	0.0266
0	0.5215	50.00-59.99%	0.6776	60.00-69.99%	0.3978	30.00-39.99%	0.5377	0.2798	0.8065	-0.0442
1	0.8760	80.00-89.99%	0.8292	80.00-89.99%	0.6157	60.00-69.99%	0.7124	0.2134	0.8524	-0.0354
0.75	0.8605	80.00-89.99%	0.7731	70.00-79.99%	0.5725	50.00-59.99%	0.6728	0.2008	0.9280	0.0212
1	0.9548	90.00-100.00%	0.8400	80.00-89.99%	0.6624	60.00-69.99%	0.7512	0.1776	0.9196	0.0116
0.75	0.8005	80.00-89.99%	0.7334	70.00-79.99%	0.4888	40.00-49.99%	0.6111	0.2446	0.8921	-0.0371
1	0.9520	90.00-100.00%	0.8344	80.00-89.99%	0.5754	50.00-59.99%	0.7049	0.2590	0.9092	0.0305
0.75	0.9002	90.00-100.00%	0.9189	90.00-100.00%	0.6720	60.00-69.99%	0.7955	0.2468	0.9389	0.0026
1	0.8862	80.00-89.99%	0.8006	80.00-89.99%	0.5484	50.00-59.99%	0.6745	0.2523	0.8715	-0.0068
0.75	0.8309	80.00-89.99%	0.8357	80.00-89.99%	0.6062	60.00-69.99%	0.7209	0.2296	0.8892	0.0021
1	0.9299	90.00-100.00%	0.8209	80.00-89.99%	0.6237	60.00-69.99%	0.7223	0.1971	0.8715	0.0257
0.75	0.8069	80.00-89.99%	0.8524	80.00-89.99%	0.5303	50.00-59.99%	0.6914	0.3221	0.9424	0.0231
0.75	0.8244	80.00-89.99%	0.8313	80.00-89.99%	0.7316	70.00-79.99%	0.7814	0.0898	0.9262	0.0315
1	0.8618	80.00-89.99%	0.6744	60.00-69.99%	0.5774	50.00-59.99%	0.6259	0.0870	0.8182	0.0076
0.75	0.8267	80.00-89.99%	0.8135	80.00-89.99%	0.7128	70.00-79.99%	0.7631	0.1007	0.9236	-0.0071
0.75	0.7818	70.00-79.99%	0.6969	60.00-69.99%	0.4489	40.00-49.99%	0.5729	0.2480	0.8458	-0.0604
0.5	0.6643	60.00-69.99%	0.7351	70.00-79.99%	0.5184	50.00-59.99%	0.6268	0.2167	0.7829	-0.0414
1	0.9130	90.00-100.00%	0.8819	80.00-89.99%	0.6928	60.00-69.99%	0.7874	0.1891	0.8797	0.0299
0.75	0.7034	70.00-79.99%	0.7541	70.00-79.99%	0.6072	60.00-69.99%	0.6807	0.1469	0.7117	-0.0862
0.5	0.6891	60.00-69.99%	0.6798	60.00-69.99%	0.5942	50.00-59.99%	0.6370	0.0856	0.8297	0.0029
1	0.9394	90.00-100.00%	0.8285	80.00-89.99%	0.7682	70.00-79.99%	0.7984	0.0602	0.9189	0.0425
1	0.9058	90.00-100.00%	0.8140	80.00-89.99%	0.6830	60.00-69.99%	0.7485	0.1310	0.9606	0.0200
0.5	0.7125	70.00-79.99%	0.7805	70.00-79.99%	0.5253	50.00-59.99%	0.6529	0.2552	0.8602	-0.0114
0.75	0.7602	70.00-79.99%	0.7514	70.00-79.99%	0.6233	60.00-69.99%	0.6874	0.1281	0.8140	-0.0210
0.5	0.6496	60.00-69.99%	0.7686	70.00-79.99%	0.5872	50.00-59.99%	0.6779	0.1834	0.7932	0.0680
0.25	0.6121	60.00-69.99%	0.6383	60.00-69.99%	0.4830	40.00-49.99%	0.5606	0.1552	0.7839	0.0114
0	0.4866	40.00-49.99%	0.5734	50.00-59.99%	0.5412	50.00-59.99%	0.5573	0.0122	0.7196	0.0060
0.75	0.8400	80.00-89.99%	0.8193	80.00-89.99%	0.7503	70.00-79.99%	0.7848	0.0691	0.8612	-0.0469
0.25	0.6208	60.00-69.99%	0.6926	60.00-69.99%	0.3970	30.00-39.99%	0.5448	0.2956	0.7929	-0.0492
0.75	0.8060	80.00-89.99%	0.7586	70.00-79.99%	0.6005	60.00-69.99%	0.6796	0.1581	0.8355	-0.0474
0.75	0.8023	80.00-89.99%	0.7139	70.00-79.99%	0.6507	60.00-69.99%	0.6823	0.0632	0.8179	0.0138
0.25	0.5017	50.00-59.99%	0.7049	70.00-79.99%	0.5925	50.00-59.99%	0.6487	0.1124	0.7109	-0.0809
0.75	0.7488	70.00-79.99%	0.6922	60.00-69.99%	0.4896	40.00-49.99%	0.5909	0.2026	0.8162	0.0149

## A.3 Processing-Codes

### A.3.1 Tablet-Pre-Test (*pre\_test\_tablet\_accuracy.pde*)

```
// key mapping: X = records distance from mouse position to X-axis while moving the mouse
// key mapping: Y = records distance from mouse position to Y-axis while moving the mouse
// key mapping: T = records distance from mouse position to T-axis while moving the mouse
// key mapping: W = records distance from mouse position to W-axis while moving the mouse
// mouse mapping: rightButton = statistical results are calculated; the program finishes

// PrintWriter is initialized
PrintWriter tabletAccuracyX;
PrintWriter tabletAccuracyY;
PrintWriter tabletAccuracyDiagPosSlope;
PrintWriter tabletAccuracyDiagNegSlope;
PrintWriter results;

PFont fontA;

/*String lastName;
String firstName;*/

int[] accuracyX = new int[2500];
int[] accuracyY = new int[2500];
int[] accuracyDiagPosSlope = new int[2500];
int[] accuracyDiagNegSlope = new int[2500];

int countX = 0;
int countY = 0;
int countDiagPosSlope = 0;
int countDiagNegSlope = 0;

// ***** setup function *****
// All setup settings are defined in this function
void setup() {
    // determines panel size and frame rate
    size(1280, 768);
    smooth();
    frameRate(80);
    cursor(CROSS);
    background(100);

    // Creates a text file in which the mouse positions will be written
    tabletAccuracyX = createWriter("preTest_" + year() + "_" + month() + "_" + day() + "."
+ hour() + "_" + minute() + "_tabletAccuracyAxisX.txt");
    tabletAccuracyY = createWriter("preTest_" + year() + "_" + month() + "_" + day() + "."
+ hour() + "_" + minute() + "_tabletAccuracyAxisY.txt");
    tabletAccuracyDiagPosSlope = createWriter("preTest_" + year() + "_" + month() + "_" +
day() + "." + hour() + "_" + minute() + "_tabletAccuracySlopePos.txt");
    tabletAccuracyDiagNegSlope = createWriter("preTest_" + year() + "_" + month() + "_" +
day() + "." + hour() + "_" + minute() + "_tabletAccuracySlopeNeg.txt");
    results = createWriter("preTest_" + year() + "_" + month() + "_" + day() + "." + hour()
+ "_" + minute() + "_results.txt");

    // Loads the font. Fonts must be placed within the data directory of your sketch. A
    // font must first be created in the Tools menu.
    fontA = loadFont("CordiaUPC-Bold-36.vlw");
    textAlign(CENTER);

    // Sets the font and its size (in units of pixels)
    textFont(fontA, 32);
```

```

// only draw once
drawLines();
drawLetters();
noLoop();
}

// ***** drawing function *****
// this function starts the line and letter drawing function without looping
void draw() {
// the program should only register the position while pressing the left button AND
// moving the mouse AND pressing a key
if (mousePressed == true && mouseButton == LEFT) {
  if (mouseX != pmouseX || mouseY != pmouseY) {
    if (keyPressed == true) {
      strokeWeight(2);
      if ((key == 'x') || (key == 'X')) {
        stroke(255,0,0);
        point(mouseX, mouseY);

        int deltaY = mouseY-height/2;
        accuracyX[countX] = deltaY;

        tabletAccuracyX.println(mouseX + "\t" + mouseY + "\t" + deltaY);
        tabletAccuracyX.flush();
        countX ++;
      }

      else if ((key == 'y') || (key == 'Y')) {
        stroke(255,255,0);
        point(mouseX, mouseY);

        int deltaX = mouseX-width/2;
        accuracyY[countY] = deltaX;

        tabletAccuracyY.println(mouseX + "\t" + mouseY + "\t" + deltaX);
        tabletAccuracyY.flush();
        countY ++;
      }

      else if ((key == 't') || (key == 'T')) {
        stroke(0,0,255);
        point(mouseX, mouseY);

        float m = 0.6;
        float angleAlpha = atan(m);
        int deltaXToRightBorder = width-mouseX;
        float estimatedY = mouseY - m * deltaXToRightBorder;
        float deltaY = estimatedY;
        int distanceToLine = round(deltaY/cos(angleAlpha));
        accuracyDiagPosSlope[countDiagPosSlope] = distanceToLine;

        tabletAccuracyDiagPosSlope.println(mouseX + "\t" + mouseY + "\t" +
distanceToLine);
        tabletAccuracyDiagPosSlope.flush();
        countDiagPosSlope ++;
      }

      else if ((key == 'w') || (key == 'W')) {
        stroke(0,255,255);
        point(mouseX, mouseY);
      }
    }
  }
}

```

```

        float m = -0.6;
        float angleAlpha = atan(m);
        int deltaXToRightBorder = width-mouseX;
        float estimatedY = mouseY - m * deltaXToRightBorder;
        float deltaY = height - estimatedY;
        int distanceToLine = round(deltaY/cos(angleAlpha));
        accuracyDiagNegSlope[countDiagNegSlope] = distanceToLine;

        tabletAccuracyDiagNegSlope.println(mouseX + "\t" + mouseY + "\t" +
distanceToLine);
        tabletAccuracyDiagNegSlope.flush();
        countDiagNegSlope ++;
    }
}
}
loop();
}

// ***** line drawing function *****
// this function draws lines depending on the setting
void drawLines() {
    strokeWeight(2);
    stroke(200);
    line(0, 0, width, height);
    line(0, height, width, 0);
    line(width/2, 0, width/2, height);
    line(0, height/2, width, height/2);
    noLoop();
}

// ***** letter drawing function *****
// this function draws the letters next to the lines
void drawLetters() {
    strokeWeight(1);

    fill(255,0,0);
    char letterX = char(88);
    text(letterX, 20, height/2-5);

    fill(255,255,0);
    char letterY = char(89);
    text(letterY, width/2+10, 20);

    fill(0,255,255);
    char letterW = char(87);
    text(letterW, 50, 25);

    fill(0,0,255);
    char letterT = char(84);
    text(letterT, 50, height-40);

    noLoop();
}

// ***** key interaction function *****
// this function determines what happens if a key will be pressed
void keyPressed() {
    if (keyCode == ENTER || keyCode == RETURN) {
        calcStatResults();
    }
}

```

```

}
}

// ***** calculation function *****
// this function calculates the statistical results after pressing the right mouse button
void calcStatResults() {
    int timePassed = millis();

    int countSum = countX + countY + countDiagPosSlope + countDiagNegSlope;
    float accuracyMean = 0;
    float accuracySD = 0;
    float accuracyVariance = 0;
    float accuracySum = 0;

    float localcount = 0;

    for (int i = 0; i < countX; i++) {
        accuracySum = accuracySum + accuracyX[i];
        accuracyMean = accuracySum / countSum;
        accuracyVariance = 1/(float(countSum)-1)*pow(accuracyX[i]-accuracyMean,2);
        accuracySD = sqrt(1/(float(countSum)-1)*pow(accuracyX[i]-accuracyMean,2));
        localcount ++;
    }

    for (int i = 0; i < countY; i++) {
        accuracySum = accuracySum + accuracyY[i];
        accuracyMean = 1 / float(countSum) * accuracySum;
        accuracyVariance = 1/(float(countSum)-1)*pow(accuracyY[i]-accuracyMean,2);
        accuracySD = sqrt(1 / (float(countSum) - 1) * pow(accuracyY[i] - accuracyMean,2));
        localcount ++;
    }

    for (int i = 0; i < countDiagPosSlope; i++) {
        accuracySum = accuracySum + accuracyDiagPosSlope[i];
        accuracyMean = 1 / float(countSum) * accuracySum;
        accuracyVariance = 1/(float(countSum)-1)*pow(accuracyDiagPosSlope[i]-accuracyMean,2);
        accuracySD = sqrt(1 / (float(countSum) - 1) * pow(accuracyDiagPosSlope[i] -
accuracyMean,2));
        localcount ++;
    }

    for (int i = 0; i < countDiagNegSlope; i++) {
        accuracySum = accuracySum + accuracyDiagNegSlope[i];
        accuracyMean = 1 / float(countSum) * accuracySum;
        accuracyVariance = 1/(float(countSum)-1)*pow(accuracyDiagNegSlope[i]-accuracyMean,2);
        accuracySD = sqrt(1 / (float(countSum) - 1) * pow(accuracyDiagNegSlope[i] -
accuracyMean,2));
        localcount ++;
    }

    println("Count" + "\t" + "Sum" + "\t" + "Mean" + "\t" + "Variance" + "\t" + "SD" + "\t"
+ "Time [ms]");
    println(localcount + "\t" + accuracySum + "\t" + accuracyMean + "\t" + accuracyVariance
+ "\t" + accuracySD + "\t" + timePassed);

    results.println("Count" + "\t" + "Sum" + "\t" + "Mean" + "\t" + "Variance" + "\t" + "SD"
+ "\t" + "Time [ms]");
    results.println(localcount + "\t" + accuracySum + "\t" + accuracyMean + "\t" +
accuracyVariance + "\t" + accuracySD + "\t" + timePassed);
    results.flush();
}
}

```

```
// ***** mouse button interaction function *****
// function which determines the interaction for each mouse movement
void mousePressed() {
}

// ***** mouse interaction function *****
// function which determines the interaction for each mouse movement
void mouseMoved() {
}
```

### A.3.2 Umwandlungsprogramm von Graustufen in DHM (preliminary\_loadImage.pde)

```
// ***** global variables are defined *****
// declaring a variable of type PImage
PImage img;

// PrintWriter are initialized
PrintWriter newImageDEM;

// initializes global variables which are used for statistic reasons
int countTotPx;
int countY;

// ***** setup function *****
// all setup settings are defined in this function
void setup() {
  size(1280,800);
  // makes a new instance of a PImage by loading an image file
  img = loadImage("matrixmodell_stetig_1_center.jpg");
}

// ***** drawing function *****
// the drawing function loads an image and displays the pixels due to their values
void draw() {
  // creates a new writer which will output a DEM due to an image
  newImageDEM = createWriter("newImageDEM_stetig_1_center_" + year() + "_" + month() +
    "_" + day() + "." + hour() + "_" + minute() + ".txt");

  // loads the pixels and allows calculations on them
  loadPixels();
  img.loadPixels();

  for (int y = 0; y < height; y++ ) {
    for (int x = 0; x < width; x++ ) {
      int local = x + y * width;

      // the functions red(), green(), and blue() pull out the three color components
      // from a pixel.
      float r = red(img.pixels[local]);
      float g = green(img.pixels[local]);
      float b = blue(img.pixels[local]);

      // calculates a height value from the gray value by sending it to a return function
      float altitude = conversion(r);

      // set the display pixel to the image pixel
      pixels[local] = color(r,g,b);
    }
  }
}
```

```

        newImageDEM.println(x + "\t" + y + "\t" + altitude);
        newImageDEM.flush();
        countTotPx ++;
    }
    countY ++;
}
updatePixels();

// statistical calculations and outputs
int countX = countTotPx / countY;
println("x-axis [px]" + "\t" + "y-axis [px]" + "\t" + "total [px]");
println(countX + "\t" + "\t" + countY + "\t" + "\t" + countTotPx);
println("New DEM created!");

noLoop();
}

// ***** conversion function (return) *****
// return function which applies a conversion calculation to the color input and returns
// it
float conversion(float rNew) {
    rNew = rNew * 15 + 400;
    return rNew;
}

```

### A.3.3 Programm zum Croppen eines DHM (preliminary\_readFile.pde)

```

// note: this program was created to extract a part of a DEM to a new file
// note: the ideal boundary settings for a maximum area coverage are:
/* minimumBoundaryX = 544000;
maximumBoundaryX = 800000;
minimumBoundaryY = 118000;
maximumBoundaryY = 278000;*/

// key mapping: Q = prints the min/max values
// mouse mapping: move = writes the actual cursor position into PrintWriter
// mousePositions

// PrintWriters are initialized
PrintWriter newDEM;

// global arrays and variables are defined
String[] lines;
float[][] coordinatesArray; // array in which the read coordinates are written into
float[][] altitude; // two-dimensional array which contains height depending on [x]/[y]
int meshSizeIncrementX;
int meshSizeIncrementY;

// global boundary variables are defined
int minimumBoundaryX = 544000;
int maximumBoundaryX = 800000;
int minimumBoundaryY = 118000;
int maximumBoundaryY = 278000;
int minimumX = 100000000;
int maximumX = 0;
int minimumY = 100000000;
int maximumY = 0;
float minimumZ = 100000;
float maximumZ = 0;

int count;

```



```

// ***** setup function *****
// all setup settings are defined in this function
void setup(){
  // determines panel size and frame rate
  size(1280, 800);
  smooth();
  frameRate(40);
  cursor(CROSS);
  dataImport();
  //drawDEM();
}

// ***** drawing function *****
// this drawing function is replaced by the drawDEM() function
void draw(){
}

// ***** data import function *****
// this function imports the DEM
void dataImport(){
  // creates a new writer which will output a new and shorter DEM
  // hint: must be created in setup for all listener functions. for all regular functions
  // it must be
  // created in the function itself
  newDEM = createWriter("newDEM_" + year() + "_" + month() + "_" + day() + "." + hour()
+ "_" + minute() + ".txt");

  // data import from text file
  lines = loadStrings("DHM200.txt");

  // creates two-dimensional array in which the coordinates are stored separately
  coordinatesArray = new float[lines.length][3];

  // for-loop to load DEM and to determine min/max values
  for (int i = 0; i < lines.length; i++){
    // splits each line into their components using ' ' as the divisor character
    String[] pieces = split(lines[i], ' ');

    // the following condition prevents mistakes due to void cells
    if (pieces.length == 3){
      // convert string to integer or float
      int x = int(pieces[0]);
      int y = int(pieces[1]);
      float z = float(pieces[2]);

      // new condition filters the values which are not needed
      if ((x >= minimumBoundaryX) && (x < maximumBoundaryX) && (y >= minimumBoundaryY) &&
(y < maximumBoundaryY)) {
        // determines minimum and maximum values
        if (i > 0 && x > maximumX){
          maximumX = x;
        }
        if (i > 0 && x < minimumX){
          minimumX = x;
        }
        if (i > 0 && y > maximumY){
          maximumY = y;
        }
        if (i > 0 && y < minimumY){

```

```

        minimumY = y;
    }
    if (i > 0 && z > maximumZ){
        maximumZ = z;
    }
    if (i > 0 && z < minimumZ){
        minimumZ = z;
    }

    // intermediate step: converts strings to numerical values and write them into
    // different arrays
    coordinatesArray[i][0] = x;
    coordinatesArray[i][1] = y;
    coordinatesArray[i][2] = z;

    newDEM.println(coordinatesArray[i][0] + "\t" + coordinatesArray[i][1] + "\t" +
coordinatesArray[i][2]);
    newDEM.flush();

    // counts how many entries have been made due to the boundaries (statistical
    // reasons)
    count ++;
}
}
}

// defines the mesh size increment which is dependent on the dataset
meshSizeIncrementX = (maximumX - minimumX) / (width - 1);
meshSizeIncrementY = (maximumY - minimumY) / (height - 1);

// calculates the coverage of the logged height values compared to the screen extend
int totalPixel = width * height;
float coverage = count/float(totalPixel);
float coveragePerc = 100 * coverage;

println("meshSizeX" + "\t" + "meshSizeY" + "\t" + "counts" + "\t" + "coverage [%]");
println(meshSizeIncrementX + "\t" + meshSizeIncrementY + "\t" + count + "\t" +
coveragePerc + "%");
println("New DEM created!");

drawDEM();
}

// ***** DEM drawing function *****
// function which draws the DEM and ends afterwards. no lines could be drawn because of
// overdrawing.
void drawDEM() {
    // translates the coordinate system's origin to the lower left corner
    translate(0, height);
    scale(1.0, -1.0);

    // this two-dimensional array stores the height values depending on the picture
    // coordinates
    //altitude = new float[width][height];

    // continue by retrieving values from array containing the numerical values
    for (int i = 0; i < coordinatesArray.length; i++) {

        // converts x and y from float to integer because no float values are used for
        // coordinates
        // note: height values will not be converted to integer - they will be retrieved from
        // 'coordinatesArray[i][2]'

```

```

int x = int(coordinatesArray[i][0]);
int y = int(coordinatesArray[i][1]);

// transforms geographical coordinates into image coordinates
int xCoord = (x - minimumX + meshSizeIncrementX) / (meshSizeIncrementX);
int yCoord = (y - minimumY + meshSizeIncrementY) / (meshSizeIncrementY);

// calculates the gradient of the height difference between the lowest and the
// highest point divided in 256 RGB-units
float colorDividend = (maximumZ - minimumZ) / 256;
int zColor = round((coordinatesArray[i][2] - minimumZ) / colorDividend);

// saves the float height value into a two-dimensional array depending on the image
// coordinates
// hint: subtract 1 from the image coordinates because an array begins with 0
//altitude[xCoord-1][yCoord-1] = coordinatesArray[i][2];

// draws the relief as a greyscale picture
stroke(zColor);
point(xCoord,yCoord);
}
noLoop();
}

// ***** mouse button interaction function *****
// function which determines the interaction for each mouse movement
void mousePressed() {
}

// ***** key interaction function *****
// this function determines what happens if a key will be pressed
void keyPressed(){
  if ((key == 'q') || (key == 'Q')) {
    println("UNIT ||" + "\t" + "minimumX" + "\t" + "maximumX" + "\t" + "minimumY" + "\t"
+ "maximumY" + "\t" + "minimumZ" + "\t" + "maximumZ");
    println("ABS ||" + "\t" + minimumX + "\t" + maximumX + "\t" + minimumY + "\t" +
maximumY + "\t" + minimumZ + "\t" + maximumZ);
    println("REL ||" + "\t" + "0%" + "\t" + "100%" + "\t" + "0%" + "\t" + "100%" + "\t"
+ "0%" + "\t" + "100%");
  }
}

// ***** mouse interaction function *****
// function which determines the interaction for each mouse movement
void mouseMoved() {
  /*
  // writes the mouse positions in each line (tab delimited)
  mousePositions.println(mouseX + "\t" + mouseY);
  mousePositions.flush();
  */
}

```

#### A.3.4 Methode A<sub>1</sub> (*jschito\_sonificationMethod\_a1.pde*)

```

// note: stereo version with two different curves on each channel (two
// AudioStreams).
// note: only one oscillator and without sound optimization. multiple
// oscillators could be copied from version 110615 (a)
// note: if cursor hovers a pixel without data a continuous sound one octave

```

```

// below the lowest point will appear.

// note: x-axis = pitch on a sine wave (left ear; the higher the higher)
// note: y-axis = pitch on a square wave (right ear; the higher the higher)
// note: z-axis = beeping velocity (the higher the faster)

// key mapping: T = writes the actual position and the retrieved heigth into PrintWriter
// localHeight
// key mapping: S = writes the actual position and the retrieved heigth into PrintWriter
// localHeight
// key mapping: B = writes the actual position and the retrieved heigth into PrintWriter
// localHeight
// key mapping: H = writes the actual position and the retrieved heigth into PrintWriter
// localHeight
// key mapping: D = writes the actual position and the retrieved heigth into PrintWriter
// localHeight
// key mapping: F = draws a yellow circle on the actual mouse position
// key mapping: Q = prints the min/max values
// key mapping: X = mutes right output (square wave)
// key mapping: Y = mutes left output (sine wave)
// key mapping: M = mutes both audio outputs
// key mapping: LEFT = outputs slowest beeping velocity
// key mapping: RIGHT = outputs fastest beeping velocity
// key mapping: UP = outputs the highest pitch
// key mapping: DOWN = outputs the lowest pitch
// mouse mapping: move = writes the actual cursor position into PrintWriter mousePosi
// tions

// PrintWriters are initialized
PrintWriter mousePositions, localHeights;

// global arrays and variables are defined
String[] lines;
float[][] coordinatesArray;
float[][] altitude; // two-dimensional; contains height depending on [x]/[y]
int meshSizeIncrementX;
int meshSizeIncrementY;
float retrievedHeight;
int diameterCircle = 7;

int[] equalTimeValue = new int[2];

// global volumes and sound parameters are defined (avoid redundancy)
float volumeStream = 0.99;
float volumeSineWave = 0.33;
float volumeSquareWave = 0.06;
int basicFrequency = 440; // lowest pitch on 440 Hz
int basicRateTime = 200; // fastest pulse

int xySoundPitchMin = basicFrequency; // redundant, but helpful for find&replace
int xySoundPitchMax = 2 * basicFrequency;
int zRateTimeMax = basicRateTime; // fastest pulse

// global boundary variables are defined
int maximumX = 0;
int minimumX = 100000000;
int maximumY = 0;
int minimumY = 100000000;
float maximumZ = 0;
float minimumZ = 100000;

// library Ess and its components are defined
import krister.Ess.*;

```

```

AudioStream myStreamLeft, myStreamRight;
SineWave myWaveLeft;
SquareWave myWaveRight;    // also sawtooth possible

// ***** setup function *****
// all setup settings are defined in this function
void setup() {
    // determines panel size and frame rate
    size(1280, 800);
    smooth();
    frameRate(40);
    cursor(CROSS);
    dataImport();
    startEss();
    drawDEM();

    // creates a text file in which the mouse positions and coordinates due to actions will
    // be written
    mousePositions = createWriter("mousePositions_" + year() + "_" + month() + "_" + day()
+ "." + hour() + "_" + minute() + ".txt");
    localHeights = createWriter("localHeights_" + year() + "_" + month() + "_" + day() +
+ "." + hour() + "_" + minute() + ".txt");
}

// ***** drawing function *****
// this function starts the sonification function depending on the drawing frameRate
void draw() {
    sonify();
}

// ***** data import function *****
// this function imports the DEM
void dataImport() {
    // data import from text file
    lines = loadStrings("dem_cont_real.txt");

    // creates two-dimensional array in which the coordinates are stored separately
    coordinatesArray = new float[lines.length][3];

    // for-loop to load DEM and to determine min/max values
    for (int i = 0; i < lines.length; i++) {
        // splits each line into their components using ' ' as the divisor character
        String[] pieces = split(lines[i], '\t');

        // the following condition prevents mistakes due to void cells
        if (pieces.length == 3) {
            // convert string to integer or float
            int x = int(pieces[0]);
            int y = int(pieces[1]);
            float z = float(pieces[2]);

            // intermediate step: converts strings to numerical values and write them into
            // different arrays
            coordinatesArray[i][0] = x;
            coordinatesArray[i][1] = y;
            coordinatesArray[i][2] = z;

            // determines minimum and maximum values
            if (i > 0 && x > maximumX) {
                maximumX = x;
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    if (i > 0 && x < minimumX) {
        minimumX = x;
    }
    if (i > 0 && y > maximumY) {
        maximumY = y;
    }
    if (i > 0 && y < minimumY) {
        minimumY = y;
    }
    if (i > 0 && z > maximumZ) {
        maximumZ = z;
    }
    if (i > 0 && z < minimumZ) {
        minimumZ = z;
    }
}
}

// defines the mesh size increment which is dependent on the dataset
meshSizeIncrementX = (maximumX - minimumX) / (width - 1);
meshSizeIncrementY = (maximumY - minimumY) / (height - 1);
noLoop();
}

// ***** start function for Ess *****
// this function initializes Ess
void startEss() {
    // starts Ess, creates AudioStream, sets parameters, initializes wave oscillators and
    //starts audio
    Ess.start(this);
    myStreamLeft = new AudioStream();
    myStreamRight = new AudioStream();

    myStreamLeft.sampleRate(41000);
    myStreamRight.sampleRate(41000);

    myStreamLeft.pan(Ess.LEFT);
    myStreamRight.pan(Ess.RIGHT);

    myStreamLeft.softClip = true;
    myStreamRight.softClip = true;

    myStreamLeft.volume(volumeStream);
    myStreamRight.volume(volumeStream);

    myWaveLeft = new SineWave(1000, volumeSineWave);
    myWaveRight = new SquareWave(1000, volumeSquareWave);    // also sawtooth possible

    myStreamLeft.start();
    myStreamRight.start();
    noLoop();
}

// ***** DEM drawing function *****
// function which draws the DEM and ends afterwards. no lines could be drawn because of"
// overdrawing.
void drawDEM() {
    // translates the coordinate system's origin to the lower left corner
    translate(0, height);
    scale(1.0, -1.0);
}

```

```

// this two-dimensional array stores the height values depending on the picture coordi
// nates
altitude = new float[width][height];

// continue by retrieving values from array containing the numerical values
for (int i = 0; i < coordinatesArray.length; i++) {

    // converts x and y from float to integer because no float values are used for coor-
    // dinates
    // note: height values will not be converted to integer - they will be retrieved from
    // 'coordinatesArray[i][2]'
    int x = int(coordinatesArray[i][0]);
    int y = int(coordinatesArray[i][1]);

    // transforms geographical coordinates into image coordinates
    int xCoord = (x - minimumX + meshSizeIncrementX) / (meshSizeIncrementX);
    int yCoord = (y - minimumY + meshSizeIncrementY) / (meshSizeIncrementY);

    // calculates the gradient of the height difference between the lowest and the high
    // est point divided in 256 RGB-units
    float colorDividend = (maximumZ - minimumZ) / 256;
    int zColor = round((coordinatesArray[i][2] - minimumZ) / colorDividend);

    // saves the float height value into a two-dimensional array depending on the image
    // coordinates
    // hint: subtract 1 from the image coordinates because an array begins with 0
    altitude[xCoord-1][yCoord-1] = coordinatesArray[i][2];

    // draws the relief as a greyscale picture
    stroke(zColor);
    point(xCoord,yCoord);
}
noLoop();
}

// ***** mouse button interaction function *****
// function which determines the interaction for each mouse movement
void mousePressed() {
}

// ***** key interaction function *****
// this function determines what happens if a key will be pressed
void keyPressed() {
    if ((key == 'q') || (key == 'Q')) {
        println("UNIT ||" + "\t" + "minimumX" + "\t" + "maximumX" + "\t" + "minimumY" + "\t"
+ "maximumY" + "\t" + "minimumZ" + "\t" + "maximumZ");
        println("ABS ||" + "\t" + minimumX + "\t" + maximumX + "\t" + minimumY + "\t" +
maximumY + "\t" + minimumZ + "\t" + maximumZ);
        println("REL ||" + "\t" + "0%" + "\t" + "100%" + "\t" + "0%" + "\t" + "100%" + "\t"
+ "0%" + "\t" + "100%");
    }

    if ((key == 'f') || (key == 'F')) {
        strokeWeight(1);
        stroke(30);
        fill(255, 255, 0);
        ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
    }
}
}

```

```

// ***** mouse interaction function *****
// function which determines the interaction for each mouse movement
void mouseMoved() {
  if (mouseX >= 0 && mouseX <= width && mouseY >= 0 && mouseY <= height) {
    // writes the mouse positions in each line (tab delimited)
    mousePositions.println(mouseX + "\t" + mouseY);
    mousePositions.flush();
    //println("millis passed: " + millis());
  }
}

// ***** mouse interaction function *****
// function which determines the interaction for each mouse movement
void mouseDragged() {
  if (mouseX >= 0 && mouseX <= width && mouseY >= 0 && mouseY <= height) {
    // writes the mouse positions in each line (tab delimited)
    mousePositions.println(mouseX + "\t" + mouseY);
    mousePositions.flush();
    //println("ok " + millis());
  }
}

// ***** sonification function *****
// this function calculates a sound from the actual mouse position and the retrieved
height value
void sonify() {
  // creates arrays with current cursor position (only one single row). The frequency is
  // depending on the frame rate defined in the setup
  int[] mousePositionX = new int[1];
  int[] mousePositionY = new int[1];

  // writes the mouse position in the array. The x-position must be corrected by adding +
  // 1 while the y-position must be subtracted from
  // 'height' because of coordinate system transformation, but without value correction
  // because 'height' already contains it.
  mousePositionX[0] = mouseX + 1;
  mousePositionY[0] = height - mouseY ;

  // debugging condition which considers only the values on the screen
  if ((mouseX >= 0) && (mouseX < width) && (mouseY >= 0) && (mouseY < height)) {
    // retrieves the height value from the actual cursor position, while the y-value must
    // be corrected because of the transformation
    retrievedHeight = altitude[mouseX][height-mouseY-1];

    float extentX = width;
    float extentY = height;
    float xSoundPitch;
    float ySoundPitch;

    // constraint if cursor is hovering a void pixel (without data)
    if (retrievedHeight > 0){
      // calculates pitch values from x and y positions (depending on DEM dimensions)
      xSoundPitch = basicFrequency + mousePositionX[0] / extentX * basicFrequency;
      ySoundPitch = basicFrequency + mousePositionY[0] / extentY * basicFrequency;
    }
    else {
      xSoundPitch = basicFrequency / 2;
      ySoundPitch = basicFrequency / 2;
    }
  }
}

```



```

// next variable defines the time in [ms] which passes depending on the maximum
// height of a point
float zRateTime = basicRateTime * (maximumZ / retrievedHeight);
float zRateTimeMin = basicRateTime * maximumZ / minimumZ; // slowest pulse

// passes the float variables 'xSoundPitch' and 'ySoundPitch' to the audioStreamWrite
// function
audioStreamWrite(xSoundPitch, ySoundPitch, xySoundPitchMin, xySoundPitchMax,
zRateTime, zRateTimeMin);
}
loop();

// if-condition which writes local values into a text file due to key actions
if ((keyPressed == true) && ((key == 't') || (key == 'T') || (key == 's') || (key ==
's') || (key == 'b') || (key == 'B') || (key == 'h') || (key == 'H') || (key == 'd') ||
(key == 'D')) {
strokeWeight(1);
stroke(255,255,0);
if ((key == 't') || (key == 'T')) {
fill(0, 0, 255);
ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
localHeights.println("new T (assumed point in valley) set:");
}
else if ((key == 's') || (key == 'S')) {
stroke(30);
fill(0, 255, 255);
ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
localHeights.println("new S (assumed point on lake) set:");
}
else if ((key == 'b') || (key == 'B')) {
stroke(30);
fill(255, 140, 40);
ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
localHeights.println("new B (assumed mountain peak) set:");
}
else if ((key == 'd') || (key == 'D')) {
stroke(30);
fill(255, 75, 240);
ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
localHeights.println("new D (assumed point in dip) set:");
}
else if ((key == 'h') || (key == 'H')) {
fill(255, 0, 0);
ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
localHeights.println("new H (assumed hill peak) set:");
}
localHeights.println("x" + "\t" + "y" + "\t" + "z" + "\t" + "zMin" + "\t" + "zMax");
localHeights.println(mouseX + "\t" + mouseY + "\t" + retrievedHeight + "\t" +
minimumZ + "\t" + maximumZ);
localHeights.println();
localHeights.flush();
}
//println("x: " + mouseX + "\t" + "y: " + mouseY + "\t" + "z: " + retrievedHeight +
"\t" + "zmin: " + minimumZ + "\t" + "zmax: " + maximumZ);
//println(mousePositionX[0] + "\t" + width + "\t" + mousePositionY[0] + "\t" + height);
//println("minX: " + minimumX + "\t" + "maxX: " + maximumX + "\t" + "minY: " + minimumY
+ "\t" + "maxY: " + maximumY);
}

// ***** sound output function *****
// this function outputs a sound from the calculated sound values

```

```

void audioStreamWrite(float xSoundPitch, float ySoundPitch, float xySoundPitchMin, float
xySoundPitchMax, float zRateTime, float zRateTimeMin) {
    // generates wave due to oscillator parameters defined above
    myWaveLeft.generate(myStreamLeft);
    myWaveRight.generate(myStreamRight);

    // adjust phase
    myWaveLeft.phase += myStreamLeft.size;
    myWaveLeft.phase %= myStreamLeft.sampleRate;

    myWaveRight.phase += myStreamRight.size;
    myWaveRight.phase %= myStreamRight.sampleRate;

    // if-loop to render the sound legend while pressing specific keys
    if (keyPressed == true) {
        if ((key == CODED) && (keyCode == UP)) {
            // sets sound as hearable (not off), defines pitch and volume
            myStreamLeft.mute(false);
            myWaveLeft.frequency = round(xySoundPitchMax);
            myWaveLeft.volume = volumeSineWave;

            myStreamRight.mute(false);
            myWaveRight.frequency = round(xySoundPitchMax);
            myWaveRight.volume = volumeSquareWave;

            println("up cursor key pressed: only highest tone hearable on 100% distance to
origin");
        }
        else if ((key == CODED) && (keyCode == DOWN)) {
            // sets sound as hearable (not off), defines pitch and volume
            myStreamLeft.mute(false);
            myWaveLeft.frequency = round(xySoundPitchMin);
            myWaveLeft.volume = volumeSineWave;

            myStreamRight.mute(false);
            myWaveRight.frequency = round(xySoundPitchMin);
            myWaveRight.volume = volumeSquareWave;

            println("down cursor key pressed: only lowest tone hearable on 0% distance to
origin");
        }
        else if ((key == 'x') || (key == 'X')){
            // sets sound as hearable (not off), defines pitch and volume (mutes right output)
            myStreamLeft.mute(false);
            myWaveLeft.frequency = round(xSoundPitch);
            myWaveLeft.volume = volumeSineWave;

            myStreamRight.mute(false);
            myWaveRight.frequency = round(ySoundPitch);
            myWaveRight.volume = 0;

            println("x key pressed: only sine wave hearable");
        }
        else if ((key == 'y') || (key == 'Y')) {
            // sets sound as hearable (not off), defines pitch and volume (mutes left output)
            myStreamLeft.mute(false);
            myWaveLeft.frequency = round(xSoundPitch);
            myWaveLeft.volume = 0;

            myStreamRight.mute(false);
            myWaveRight.frequency = round(ySoundPitch);
            myWaveRight.volume = volumeSquareWave;
        }
    }
}

```

```

        println("y key pressed: only square wave hearable");
    }
    else if ((key == CODED) && (keyCode == LEFT)) {
        myWaveLeft.volume = volumeSineWave;
        myWaveRight.volume = volumeSquareWave;

        boolean sampleRateShiftResult = sampleRateShiftCheck(zRateTimeMin);
        if (sampleRateShiftResult == true) {
            myStreamLeft.mute(!myStreamLeft.mute);
            myStreamRight.mute(!myStreamRight.mute);
        }

        myWaveLeft.frequency = round(xySoundPitchMin);
        myWaveRight.frequency = round(xySoundPitchMin);

        println("left cursor key pressed: slowest beep velocity hearable for " + minimumZ +
" metres height");
    }
    else if ((key == CODED) && (keyCode == RIGHT)) {
        myWaveLeft.volume = volumeSineWave;
        myWaveRight.volume = volumeSquareWave;

        boolean sampleRateShiftResult = sampleRateShiftCheck(zRateTimeMax);
        if (sampleRateShiftResult == true) {
            myStreamLeft.mute(!myStreamLeft.mute);
            myStreamRight.mute(!myStreamRight.mute);
        }

        myWaveLeft.frequency = round(xySoundPitchMin);
        myWaveRight.frequency = round(xySoundPitchMin);

        println("right cursor key pressed: fastest beep velocity hearable for " + maximumZ
+ " metres height");
    }
    else if ((key == 'm') || (key == 'M')) {
        myStreamLeft.mute(!myStreamLeft.mute);
        myStreamRight.mute(!myStreamRight.mute);

        println("m pressed: audio output muted");
    }
}
// else-condition to render the regularly retrieved values without pressing any key
else {
    // left and right wave must both be hearable (eliminates legend exception)
    myWaveLeft.volume = volumeSineWave;
    myWaveRight.volume = volumeSquareWave;

    // a boolean value depending on the height value will be returned which gives the
    // order to open/close the gate
    // mode of operation is apparent by writing the following code:
    boolean sampleRateShiftResult = sampleRateShiftCheck(zRateTime);

    // switches the channel on and off (depending on the result of the sampleRateShift
    // Check() function)
    if (sampleRateShiftResult == true) {
        myStreamLeft.mute(!myStreamLeft.mute);
        myStreamRight.mute(!myStreamRight.mute);
    }

    // assigns pitches to the wave channels
    myWaveLeft.frequency = round(xSoundPitch);
    myWaveRight.frequency = round(ySoundPitch);
}

```

```

}

// ***** boolean sample rate return function *****
// this function returns a boolean value which controls the sound's on/off gate coming
// from AudioStreamWrite
boolean sampleRateShiftCheck(float zRateTime) {
    boolean trueOrFalse;
    equalTimeValue[1] = millis() % int(zRateTime);

    // this condition checkes if the time has outvalued the variable sample rate value
    // which controls the on/off gate
    // note: an other condition which checkes the equality of the retrieved height values
    // doesn't improve the program noticeable
    if(equalTimeValue[1] > equalTimeValue[0]) {
        trueOrFalse = false;
        // overwrites the first array entry
        equalTimeValue[0] = equalTimeValue[1];
    }
    else {
        trueOrFalse = true;
        // sets the first array entry to zero
        equalTimeValue[0] = 0;
    }
    return trueOrFalse;
}

// ***** Ess stop function *****
// this function ends Ess
public void stop() {
    Ess.stop();
    super.stop();
}

```

### A.3.5 Methode A<sub>2</sub> (*jschito\_sonificationMethod\_a2.pde*)

```

// note: mono version with two different curves on both channels (one AudioStream).
// note: only one oscillator and without sound optimization. multiple oscillators could
// be copied from version 110615 (a)
// note: if cursor hovers a pixel without data a continuous sound one octave below the
// lowest point will appear.

// note: x-axis = pitch on a sine wave (left and right ear; the higher the higher)
// note: y-axis = pitch on a square wave (left and right ear; the higher the higher)
// note: z-axis = beeping velocity (the higher the faster)

// key mapping: T = writes the actual position and the retrieved heigth into PrintWriter
// localHeight
// key mapping: S = writes the actual position and the retrieved heigth into PrintWriter
// localHeight
// key mapping: B = writes the actual position and the retrieved heigth into PrintWriter
// localHeight
// key mapping: H = writes the actual position and the retrieved heigth into PrintWriter
// localHeight
// key mapping: D = writes the actual position and the retrieved heigth into PrintWriter
// localHeight
// key mapping: F = draws a yellow circle on the actual mouse position
// key mapping: Q = prints the min/max values
// key mapping: X = mutes right output (square wave)
// key mapping: Y = mutes left output (sine wave)
// key mapping: M = mutes both audio outputs

```

```

// key mapping: LEFT = outputs slowest beeping velocity
// key mapping: RIGHT = outputs fastest beeping velocity
// key mapping: UP = outputs the highest pitch
// key mapping: DOWN = outputs the lowest pitch
// mouse mapping: move = writes the actual cursor position into PrintWriter
// mousePositions

// PrintWriters are initialized
PrintWriter mousePositions, localHeights;

// global arrays and variables are defined
String[] lines;
float[][] coordinatesArray; // array in which the read coordinates are written into
float[][] altitude; // two-dimensional array which contains height depending on [x]/[y]
int meshSizeIncrementX;
int meshSizeIncrementY;
float retrievedHeight;
int diameterCircle = 7;

int[] equalTimeValue = new int[2];

// global volumes and sound parameters are defined (avoid redundancy)
float volumeStream = 0.99;
float volumeSineWave = 0.33;
float volumeSquareWave = 0.06;
int basicFrequency = 440; // lowest pitch on 440 Hz
int basicRateTime = 200; // fastest pulse

int xySoundPitchMin = basicFrequency; // redundant, but helpful for find&replace
int xySoundPitchMax = 2 * basicFrequency;
int zRateTimeMax = basicRateTime; // fastest pulse

// global boundary variables are defined
int maximumX = 0;
int minimumX = 100000000;
int maximumY = 0;
int minimumY = 100000000;
float maximumZ = 0;
float minimumZ = 100000;

// library Ess and its components are defined
import krister.Ess.*;
AudioStream myStream; // audio stream to write into
SineWave myWaveLeft; // array of sines
SquareWave myWaveRight; // array of squares; also sawtooth possible

// ***** setup function *****
// all setup settings are defined in this function
void setup(){
  // determines panel size and frame rate
  size(1280, 800);
  smooth();
  frameRate(40);
  cursor(CROSS);
  dataImport();
  startEss();
  drawDEM();

  // creates a text file in which the mouse positions and coordinates due to actions will
  // be written
  mousePositions = createWriter("mousePositions_" + year() + "_" + month() + "_" + day()
+ "." + hour() + "_" + minute() + ".txt");

```

```

    localHeights = createWriter("localHeights_" + year() + "_" + month() + "_" + day() +
    "." + hour() + "_" + minute() + ".txt");
}

// ***** drawing function *****
// this function starts the sonification function depending on the drawing frameRate
void draw(){
    sonify();
}

// ***** data import function *****
// this function imports the DEM
void dataImport(){
    // data import from text file
    lines = loadStrings("dem_cont_real.txt");

    // creates two-dimensional array in which the coordinates are stored separately
    coordinatesArray = new float[lines.length][3];

    // for-loop to load DEM and to determine min/max values
    for (int i = 0; i < lines.length; i++){
        // splits each line into their components using ' ' as the divisor character
        String[] pieces = split(lines[i], '\t');

        // the following condition prevents mistakes due to void cells
        if (pieces.length == 3){
            // convert string to integer or float
            int x = int(pieces[0]);
            int y = int(pieces[1]);
            float z = float(pieces[2]);

            // intermediate step: converts strings to numerical values and write them into
            // different arrays
            coordinatesArray[i][0] = x;
            coordinatesArray[i][1] = y;
            coordinatesArray[i][2] = z;

            // determines minimum and maximum values
            if (i > 0 && x > maximumX){
                maximumX = x;
            }
            if (i > 0 && x < minimumX){
                minimumX = x;
            }
            if (i > 0 && y > maximumY){
                maximumY = y;
            }
            if (i > 0 && y < minimumY){
                minimumY = y;
            }
            if (i > 0 && z > maximumZ){
                maximumZ = z;
            }
            if (i > 0 && z < minimumZ){
                minimumZ = z;
            }
        }
    }

    // defines the mesh size increment which is dependent on the dataset
    meshSizeIncrementX = (maximumX - minimumX) / (width - 1);
}

```

```

    meshSizeIncrementY = (maximumY - minimumY) / (height - 1);
    noLoop();
}

// ***** start function for Ess *****
// this function initializes Ess
void startEss(){
    // starts Ess, creates AudioStream, sets parameters, initializes wave oscillators and
    // starts audio
    Ess.start(this);
    myStream = new AudioStream();
    myStream.sampleRate(41000);
    myStream.softClip = true;
    myStream.volume(volumeStream);
    myWaveLeft = new SineWave(1000, volumeSineWave);
    myWaveRight = new SquareWave(1000, volumeSquareWave); // also sawtooth possible
    myStream.start();
    noLoop();
}

// ***** DEM drawing function *****
// function which draws the DEM and ends afterwards. no lines could be drawn because of
// overdrawing.
void drawDEM() {
    // translates the coordinate system's origin to the lower left corner
    translate(0, height);
    scale(1.0, -1.0);

    // this two-dimensional array stores the height values depending on the picture coordi
    // nates
    altitude = new float[width][height];

    // continue by retrieving values from array containing the numerical values
    for (int i = 0; i < coordinatesArray.length; i++){

        // converts x and y from float to integer because no float values are used for coordi
        // nates
        // note: height values will not be converted to integer - they will be retrieved
        // from 'coordinatesArray[i][2]'
        int x = int(coordinatesArray[i][0]);
        int y = int(coordinatesArray[i][1]);

        // transforms geographical coordinates into image coordinates
        int xCoord = (x - minimumX + meshSizeIncrementX) / (meshSizeIncrementX);
        int yCoord = (y - minimumY + meshSizeIncrementY) / (meshSizeIncrementY);

        // calculates the gradient of the height difference between the lowest and the
        // highest point divided in 256 RGB-units
        float colorDividend = (maximumZ - minimumZ) / 256;
        int zColor = round((coordinatesArray[i][2] - minimumZ) / colorDividend);

        // saves the float height value into a two-dimensional array depending on the image
        // coordinates
        // hint: subtract 1 from the image coordinates because an array begins with 0
        altitude[xCoord-1][yCoord-1] = coordinatesArray[i][2];

        // draws the relief as a greyscale picture
        stroke(zColor);
        point(xCoord,yCoord);
    }
    noLoop();
}

```

```

}

// ***** mouse button interaction function *****
// function which determines the interaction for each mouse movement
void mousePressed() {
}

// ***** key interaction function *****
// this function determines what happens if a key will be pressed
void keyPressed(){
  if ((key == 'q') || (key == 'Q')) {
    println("UNIT ||" + "\t" + "minimumX" + "\t" + "maximumX" + "\t" + "minimumY" + "\t"
+ "maximumY" + "\t" + "minimumZ" + "\t" + "maximumZ");
    println("ABS ||" + "\t" + minimumX + "\t" + maximumX + "\t" + minimumY + "\t" +
maximumY + "\t" + minimumZ + "\t" + maximumZ);
    println("REL ||" + "\t" + "0%" + "\t" + "100%" + "\t" + "0%" + "\t" + "100%" + "\t"
+ "0%" + "\t" + "100%");
  }

  if ((key == 'f') || (key == 'F')) {
    strokeWeight(1);
    stroke(30);
    fill(255, 255, 0);
    ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
  }
}

// ***** mouse interaction function *****
// function which determines the interaction for each mouse movement
void mouseMoved() {
  if (mouseX >= 0 && mouseX <= width && mouseY >= 0 && mouseY <= height) {
    // writes the mouse positions in each line (tab delimited)
    mousePositions.println(mouseX + "\t" + mouseY);
    mousePositions.flush();
  }
}

// ***** mouse interaction function *****
// function which determines the interaction for each mouse movement
void mouseDragged() {
  if (mouseX >= 0 && mouseX <= width && mouseY >= 0 && mouseY <= height) {
    // writes the mouse positions in each line (tab delimited)
    mousePositions.println(mouseX + "\t" + mouseY);
    mousePositions.flush();
    println("ok " + millis());
  }
}

// ***** sonification function *****
// this function calculates a sound from the actual mouse position and the retrieved
// height value
void sonify(){
  // creates arrays with current cursor position (only one single row). The frequency is
  // depending on the frame rate defined in the setup
  int[] mousePositionX = new int[1];
  int[] mousePositionY = new int[1];

  // writes the mouse position in the array. The x-position must be corrected by adding +

```



```

// 1 while the y-position must be subtracted from
// 'height' because of coordinate system transformation, but without value correction
// because 'height' already contains it.
mousePositionX[0] = mouseX + 1;
mousePositionY[0] = height - mouseY ;

// debugging condition which considers only the values on the screen
if ((mouseX >= 0) && (mouseX < width) && (mouseY >= 0) && (mouseY < height)) {
    // retrieves the height value from the actual cursor position, while the y-value must
    // be corrected because of the transformation
    retrievedHeight = altitude[mouseX][height-mouseY-1];

    float extentX = width;
    float extentY = height;
    float xSoundPitch;
    float ySoundPitch;

    // constraint if cursor is hovering a void pixel (without data)
    if (retrievedHeight > 0){
        // calculates pitch values from x and y positions (depending on DEM dimensions)
        xSoundPitch = basicFrequency + mousePositionX[0] / extentX * basicFrequency;
        ySoundPitch = basicFrequency + mousePositionY[0] / extentY * basicFrequency;
    }
    else {
        xSoundPitch = basicFrequency / 2;
        ySoundPitch = basicFrequency / 2;
    }

    //float heightDifferenceZ = maximumZ - minimumZ;
    // next variable defines the time in [ms] which passes depending on the maximum
    // height of a point
    float zRateTime = basicRateTime * (maximumZ / retrievedHeight);
    float zRateTimeMin = basicRateTime * maximumZ / minimumZ; // slowest pulse

    // passes the float variables 'xSoundPitch' and 'ySoundPitch' to the audioStreamWrite
    // function
    audioStreamWrite(xSoundPitch, ySoundPitch, xySoundPitchMin, xySoundPitchMax,
zRateTime, zRateTimeMin);
}
loop();

// if-condition which writes local values into a text file due to key actions
if ((keyPressed == true) && ((key == 't') || (key == 'T') || (key == 's') || (key ==
'S') || (key == 'b') || (key == 'B') || (key == 'h') || (key == 'H') || (key == 'd') ||
(key == 'D')) {
    strokeWeight(1);
    stroke(255,255,0);
    if ((key == 't') || (key == 'T')) {
        fill(0, 0, 255);
        ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
        localHeights.println("new T (assumed point in valley) set:");
    }
    else if ((key == 's') || (key == 'S')) {
        stroke(30);
        fill(0, 255, 255);
        ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
        localHeights.println("new S (assumed point on lake) set:");
    }
    else if ((key == 'b') || (key == 'B')) {
        stroke(30);
        fill(255, 140, 40);
        ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
        localHeights.println("new B (assumed mountain peak) set:");
    }
}

```

```

}
else if ((key == 'd') || (key == 'D')) {
    stroke(30);
    fill(255, 75, 240);
    ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
    localHeights.println("new D (assumed point in dip) set:");
}
else if ((key == 'h') || (key == 'H')) {
    fill(255, 0, 0);
    ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
    localHeights.println("new H (assumed hill peak) set:");
}
localHeights.println("x" + "\t" + "y" + "\t" + "z" + "\t" + "zMin" + "\t" + "zMax");
localHeights.println(mouseX + "\t" + mouseY + "\t" + retrievedHeight + "\t" +
minimumZ + "\t" + maximumZ);
localHeights.println();
localHeights.flush();
}

// ***** sound output function *****
// this function outputs a sound from the calculated sound values
void audioStreamWrite(float xSoundPitch, float ySoundPitch, float xySoundPitchMin, float
xySoundPitchMax, float zRateTime, float zRateTimeMin) {
    // generates wave due to oscillator parameters defined above
    myWaveLeft.generate(myStream);
    myWaveRight.generate(myStream, Ess.ADD);

    // adjust phase
    myWaveLeft.phase += myStream.size;
    myWaveLeft.phase %= myStream.sampleRate;

    myWaveRight.phase += myStream.size;
    myWaveRight.phase %= myStream.sampleRate;

    // if-loop to render the sound legend while pressing specific keys
    if (keyPressed == true){
        if ((key == CODED) && (keyCode == UP)) {
            // sets sound as hearable (not off), defines pitch and volume
            myStream.mute(false);
            myWaveLeft.frequency = round(xySoundPitchMax);
            myWaveLeft.volume = volumeSineWave;
            myWaveRight.frequency = round(xySoundPitchMax);
            myWaveRight.volume = volumeSquareWave;

            println("up cursor key pressed: only highest tone hearable on 100% distance to
origin");
        }
        else if ((key == CODED) && (keyCode == DOWN)) {
            // sets sound as hearable (not off), defines pitch and volume
            myStream.mute(false);
            myWaveLeft.frequency = round(xySoundPitchMin);
            myWaveLeft.volume = volumeSineWave;
            myWaveRight.frequency = round(xySoundPitchMin);
            myWaveRight.volume = volumeSquareWave;

            println("down cursor key pressed: only lowest tone hearable on 0% distance to
origin");
        }
        else if ((key == 'x') || (key == 'X')) {
            // sets sound as hearable (not off), defines pitch and volume (mutes right output)
            myStream.mute(false);
            myWaveLeft.frequency = round(xSoundPitch);

```

```

    myWaveLeft.volume = volumeSineWave;
    myWaveRight.frequency = round(ySoundPitch);
    myWaveRight.volume = 0;

    println("x key pressed: only sine wave hearable");
}
else if ((key == 'y' || (key == 'Y')) {
    // sets sound as hearable (not off), defines pitch and volume (mutes left output)
    myStream.mute(false);
    myWaveLeft.frequency = round(xSoundPitch);
    myWaveLeft.volume = 0;
    myWaveRight.frequency = round(ySoundPitch);
    myWaveRight.volume = volumeSquareWave;

    println("y key pressed: only square wave hearable");
}
else if ((key == CODED) && (keyCode == LEFT)) {
    myWaveLeft.volume = volumeSineWave;
    myWaveRight.volume = volumeSquareWave;

    boolean sampleRateShiftResult = sampleRateShiftCheck(zRateTimeMin);
    if (sampleRateShiftResult == true) {
        myStream.mute(!myStream.mute);
    }

    myWaveLeft.frequency = round(xySoundPitchMin);
    myWaveRight.frequency = round(xySoundPitchMin);

    println("left cursor key pressed: slowest beep velocity hearable for " + minimumZ +
" metres height");
}
else if ((key == CODED) && (keyCode == RIGHT)) {
    myWaveLeft.volume = volumeSineWave;
    myWaveRight.volume = volumeSquareWave;

    boolean sampleRateShiftResult = sampleRateShiftCheck(zRateTimeMax);
    if (sampleRateShiftResult == true) {
        myStream.mute(!myStream.mute);
    }

    myWaveLeft.frequency = round(xySoundPitchMin);
    myWaveRight.frequency = round(xySoundPitchMin);

    println("right cursor key pressed: fastest beep velocity hearable for " + maximumZ
+ " metres height");
}
else if ((key == 'm' || (key == 'M')) {
    myStream.mute(!myStream.mute);

    println("m pressed: audio output muted");
}
}
// else-condition to render the regularly retrieved values without pressing any key
else {
    // left and right wave must both be hearable (elimine legend exception)
    myWaveLeft.volume = volumeSineWave;
    myWaveRight.volume = volumeSquareWave;

    // a boolean value depending on the height value will be returned which gives the
    // order to open/close the gate
    // mode of operation is apparent by writing the following code:
    boolean sampleRateShiftResult = sampleRateShiftCheck(zRateTime);
}

```

```

    if (sampleRateShiftResult == true) {
        myStream.mute(!myStream.mute);
    }

    // assignation of the pitches to the wave channels
    myWaveLeft.frequency = round(xSoundPitch);
    myWaveRight.frequency = round(ySoundPitch);
}
}

// ***** boolean sample rate return function *****
// this function returns a boolean value which controls the sound's on/off gate coming
// from AudioStreamWrite
boolean sampleRateShiftCheck(float zRateTime) {
    boolean trueOrFalse;
    equalTimeValue[1] = millis() % int(zRateTime);

    // this condition checkes if the time has outvalued the variable sample rate value
    // which controls the on/off gate
    // note: an other condition which checkes the equality of the retrieved height values
    // doesn't improve the program noticeable
    if(equalTimeValue[1] > equalTimeValue[0]){
        trueOrFalse = false;
        // overwrites the first array entry
        equalTimeValue[0] = equalTimeValue[1];
    }
    else {
        trueOrFalse = true;
        // sets the first array entry to zero
        equalTimeValue[0] = 0;
    }
    return trueOrFalse;
}

// ***** Ess stop function *****
// this function ends Ess
public void stop() {
    Ess.stop();
    super.stop();
}

```

### A.3.6 Methoden B und C (*jschito\_sonificationMethod\_bc.pde*)

```

// note: stereo version with two different curves on each channel (two AudioStreams).
// note: only one oscillator and without sound optimization. multiple oscillators could
// be copied from version 110615 (a)
// note: if cursor hovers a pixel without data a continuous sound one octave below the
// lowest point will appear.

// note: x-axis = volume due to l/r panning (the more distant to the center the louder)
// note: y-axis = difference between the wave's volumes (the louder the sine wave the
// more to the top and v.v.)
// note: z-axis = pitch (the higher the higher)

// key mapping: T = writes the actual mouse point and the retrieved heigth into PrintWri
// ter localHeight
// key mapping: S = writes the actual mouse point and the retrieved heigth into PrintWri
// ter localHeight
// key mapping: B = writes the actual mouse point and the retrieved heigth into PrintWri
// ter localHeight

```

```

// key mapping: H = writes the actual mouse point and the retrieved heigth into PrintWri
// ter localHeight
// key mapping: D = writes the actual mouse point and the retrieved heigth into PrintWri
// ter localHeight
// key mapping: Q = prints the min/max values
// key mapping: F = sets a new start point
// key mapping: E = sets a new end point (cannot be set before start point was not set)
// key mapping: M = mutes both audio outputs
// key mapping: SHIFT = only sine wave is hearable
// key mapping: CTRL = only square wave is hearable
// key mapping: LEFT = only left output is hearable
// key mapping: RIGHT = only right output is hearable
// key mapping: UP = outputs the highest pitch
// key mapping: DOWN = outputs the lowest pitch
// mouse mapping: move = writes the actual cursor position into PrintWriter mousePosi
// tions

// PrintWriters are initialized
PrintWriter mousePositions, localHeights;

// global arrays and variables are defined
String[] lines;
float[][] coordinatesArray; // array in which the read coordinates are written into
float[][] altitude; // two-dimensional array which contains height depending on [x]/[y]
int meshSizeIncrementX;
int meshSizeIncrementY;
float retrievedHeight;
int diameterCircle = 7;

// global variables (specific for this version) are defined
int[] startProfile = new int[2];
int[] endProfile = new int[2];
float[] elevationProfile = new float[2000];
int noteDurationProfile = 130;
int noteGapProfile = int(noteDurationProfile * 0.5);
int noteDurationCorrectorToChannel = 1;
float[] zSoundPitchProfile = new float[2000];
float panCenterToEdges = 0;
int profileMaxLength;

// global volumes and sound parameters are defined (avoid redundancy)
float volumeStream = 0.99;
float volumeSineWave = 0.33;
float volumeSquareWave = 0.05;
int unhearablePitch = 0;
int basicFrequency = 440; // lowest pitch on 440 Hz

int xySoundPitchMin = basicFrequency; // redundant, but helpful for find&replace
int xySoundPitchMax = 2 * basicFrequency;

// global boundary variables are defined
int maximumX = 0;
int minimumX = 100000000;
int maximumY = 0;
int minimumY = 100000000;
float maximumZ = 0;
float minimumZ = 100000;

// library Ess and its components are defined
import krister.Ess.*;
AudioStream myStreamUp, myStreamDown;
AudioChannel myChannelProfile;
SineWave myWaveUp;

```

```

SquareWave myWaveDown;      // also sawtooth possible
SineWave myWaveProfile;
Envelope myEnvelopeProfile;

// ***** setup function *****
// all setup settings are defined in this function
void setup() {
  // determines panel size and frame rate
  size(1280, 800);
  smooth();
  frameRate(40);
  cursor(CROSS);
  dataImport();
  startEss();
  drawDEM();

  // creates a text file in which the mouse positions and coordinates due to actions will
  // be written
  mousePositions = createWriter("mousePositions_" + year() + "_" + month() + "_" + day()
+ "." + hour() + "_" + minute() + ".txt");
  localHeights = createWriter("localHeights_" + year() + "_" + month() + "_" + day() +
+ "." + hour() + "_" + minute() + ".txt");
}

// ***** drawing function *****
// this function starts the sonification function depending on the drawing frameRate
void draw() {
  sonify();
}

// ***** data import function *****
// this function imports the DEM h
void dataImport() {
  // data import from text file
  lines = loadStrings("dem_cont_real.txt");

  // creates two-dimensional array which the coordinates are stored separately
  coordinatesArray = new float[lines.length][3];

  // for-loop to load DEM and to determine min/max values
  for (int i = 0; i < lines.length; i++) {
    // splits each line into their components using ' ' as the divisor character
    String[] pieces = split(lines[i], '\t');

    // the following condition prevents mistakes due to void cells
    if (pieces.length == 3) {
      // convert string to integer or float
      int x = int(pieces[0]);
      int y = int(pieces[1]);
      float z = float(pieces[2]);

      // intermediate step: converts strings to numerical values and write them into
      // different arrays
      coordinatesArray[i][0] = x;
      coordinatesArray[i][1] = y;
      coordinatesArray[i][2] = z;

      // determines minimum and maximum values
      if (i > 0 && x > maximumX) {
        maximumX = x;
      }
    }
  }
}

```

```

        if (i > 0 && x < minimumX) {
            minimumX = x;
        }
        if (i > 0 && y > maximumY) {
            maximumY = y;
        }
        if (i > 0 && y < minimumY) {
            minimumY = y;
        }
        if (i > 0 && z > maximumZ) {
            maximumZ = z;
        }
        if (i > 0 && z < minimumZ) {
            minimumZ = z;
        }
    }
}

// defines the mesh size increment which is dependent on the dataset
meshSizeIncrementX = (maximumX - minimumX) / (width - 1);
meshSizeIncrementY = (maximumY - minimumY) / (height - 1);
noLoop();
}

// ***** start function for Ess *****
// this function initializes Ess
void startEss() {
    // starts Ess, creates AudioStream, sets parameters, initializes wave oscillators and
    // starts audio
    Ess.start(this);
    myStreamUp = new AudioStream();
    myStreamDown = new AudioStream();
    myChannelProfile = new AudioChannel();

    // hint: myChannelProfile's length is variable and bases on a global variable which
    // every run will be refreshed
    myChannelProfile.initChannel(myChannelProfile.frames(noteDurationCorrectorToChannel *
profileMaxLength * noteDurationProfile));

    EPoint[] myEnv = new EPoint[3]; //three-step breakpoint function
    myEnv[0] = new EPoint(0,0); //Start at 0
    myEnv[1] = new EPoint(0.25, 1); //attack
    myEnv[2] = new EPoint(2,0); //release
    myEnvelopeProfile = new Envelope(myEnv); //bind envelope to the breakpoint function

    myStreamUp.sampleRate(41000);
    myStreamDown.sampleRate(41000);

    myStreamUp.softClip = true;
    myStreamDown.softClip = true;

    myStreamUp.volume(0.99);
    myStreamDown.volume(0.99);

    // initializes the waves (oscillators) and set the myWaveProfile's pitch to 0 Hz to
    // avoid malfunction.
    // hint: for debugging reasons just set the pitch to a hearable value (e.g. 1000 Hz)
    myWaveUp = new SineWave(unhearablePitch, volumeSineWave);
    myWaveDown = new SquareWave(unhearablePitch, volumeSquareWave); // or sawtooth
    myWaveProfile = new SineWave(500, volumeSineWave);

    myStreamUp.start();

```

```

    myStreamDown.start();
    noLoop();
}

// ***** DEM drawing function *****
// function which draws the DEM and ends afterwards. no lines could be drawn because of
// overdrawing.
void drawDEM() {
    // translates the coordinate system's origin to the lower left corner
    translate(0, height);
    scale(1.0, -1.0);

    // this two-dimensional array stores the height values depending on the picture coordi
    // nates
    altitude = new float[width][height];

    // continue by retrieving values from array containing the numerical values
    for (int i = 0; i < coordinatesArray.length; i++) {

        // converts x and y from float to integer because no float values are used for coor
        // dinates
        // note: height values will not be converted to integer - they will be retrieved from
        // 'coordinatesArray[i][2]'
        int x = int(coordinatesArray[i][0]);
        int y = int(coordinatesArray[i][1]);

        // transforms geographical coordinates into image coordinates
        int xCoord = (x - minimumX + meshSizeIncrementX) / (meshSizeIncrementX);
        int yCoord = (y - minimumY + meshSizeIncrementY) / (meshSizeIncrementY);

        // calculates the gradient of the height difference between the lowest and the high
        // est point divided in 256 RGB-units
        float colorDividend = (maximumZ - minimumZ) / 256;
        int zColor = round((coordinatesArray[i][2] - minimumZ) / colorDividend);

        // saves the float height value into a two-dimensional array depending on the image
        // coordinates
        // hint: subtract 1 from the image coordinates because an array begins with 0
        altitude[xCoord-1][yCoord-1] = coordinatesArray[i][2];

        // draws the relief as a greyscale picture
        stroke(zColor);
        point(xCoord,yCoord);
    }
    noLoop();
}

// ***** mouse button interaction function *****
// function which determines the interaction for each mouse movement
void mousePressed() {
}

// ***** key interaction function *****
// this function determines what happens if a key will be pressed
void keyPressed() {
    if ((key == 'q') || (key == 'Q')) {
        println("UNIT ||" + "\t" + "minimumX" + "\t" + "maximumX" + "\t" + "minimumY" + "\t"
+ "maximumY" + "\t" + "minimumZ" + "\t" + "maximumZ");
        println("ABS ||" + "\t" + minimumX + "\t" + maximumX + "\t" + minimumY + "\t" +
maximumY + "\t" + minimumZ + "\t" + maximumZ);
    }
}

```



```

    println("REL  ||" + "\t" + "0%" + "\t" + "100%" + "\t" + "0%" + "\t" + "100%" + "\t"
+ "0%" + "\t" + "100%");
}
}

// ***** mouse interaction function *****
// function which determines the interaction for each mouse movement
void mouseMoved() {
    if (mouseX >= 0 && mouseX <= width && mouseY >= 0 && mouseY <= height) {
        // writes the mouse positions in each line (tab delimited)
        mousePositions.println(mouseX + "\t" + mouseY);
        mousePositions.flush();
        //println("millis passed: " + millis());
    }
}

// ***** mouse interaction function *****
// function which determines the interaction for each mouse movement
void mouseDragged() {
    if (mouseX >= 0 && mouseX <= width && mouseY >= 0 && mouseY <= height) {
        // writes the mouse positions in each line (tab delimited)
        mousePositions.println(mouseX + "\t" + mouseY);
        mousePositions.flush();
        //println("millis: " + millis());
    }
}

// ***** sonification function *****
// this function calculates a sound from the actual mouse position and the retrieved
// height value
void sonify() {
    // creates arrays with current cursor position (only one single row). The frequency is
    // depending on the frame rate defined in the setup
    int[] mousePositionX = new int[1];
    int[] mousePositionY = new int[1];

    // writes the mouse position in the array. The x-position must be corrected by adding +
    // 1 while the y-position must be subtracted from
    // 'height' because of coordinate system transformation, but without value correction
    // because 'height' already contains it.
    mousePositionX[0] = mouseX + 1;
    mousePositionY[0] = height - mouseY ;

    // debugging condition which considers only the values on the screen
    if ((mouseX >= 0) && (mouseX < width) && (mouseY >= 0) && (mouseY < height)) {
        // retrieves the height value from the actual cursor position, while the y-value must
        // be corrected because of the transformation
        retrievedHeight = altitude[mouseX][height-mouseY-1];
        float xySoundPitch;

        // constraint if cursor is hovering a void pixel (without data)
        if (retrievedHeight > 0){
            // calculates pitch values from x and y positions (depending on DEM dimensions)
            xySoundPitch = basicFrequency + (retrievedHeight - minimumZ) / maximumZ *
basicFrequency;
        }
        else {
            xySoundPitch = basicFrequency / 2;
        }
    }
}

```

```

// passes the float variables 'xSoundPitch' and 'ySoundPitch' to the audioStreamWrite
// function
audioStreamWrite(xySoundPitch);
}

// if-condition which writes local values into a text file due to key actions
if ((keyPressed == true) && ((key == 't') || (key == 'T') || (key == 's') || (key ==
's') || (key == 'b') || (key == 'B') || (key == 'h') || (key == 'H') || (key == 'd') ||
(key == 'D'))) {
    strokeWeight(1);
    stroke(255,255,0);
    if ((key == 't') || (key == 'T')) {
        fill(0, 0, 255);
        ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
        localHeights.println("new T (assumed point in valley) set:");
    }
    else if ((key == 's') || (key == 'S')) {
        stroke(30);
        fill(0, 255, 255);
        ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
        localHeights.println("new S (assumed point on lake) set:");
    }
    else if ((key == 'b') || (key == 'B')) {
        stroke(30);
        fill(255, 140, 40);
        ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
        localHeights.println("new B (assumed mountain peak) set:");
    }
    else if ((key == 'd') || (key == 'D')) {
        stroke(30);
        fill(255, 75, 240);
        ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
        localHeights.println("new D (assumed point in dip) set:");
    }
    else if ((key == 'h') || (key == 'H')) {
        fill(255, 0, 0);
        ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
        localHeights.println("new H (assumed hill peak) set:");
    }
    localHeights.println("x" + "\t" + "y" + "\t" + "z" + "\t" + "zMin" + "\t" + "zMax");
    localHeights.println(mouseX + "\t" + mouseY + "\t" + retrievedHeight + "\t" +
minimumZ + "\t" + maximumZ);
    localHeights.println();
    localHeights.flush();
}
loop();
//println("x: " + mouseX + "\t" + "y: " + mouseY + "\t" + "z: " + retrievedHeight +
"\t" + "zmin: " + minimumZ + "\t" + "zmax: " + maximumZ);
//println(mousePositionX[0] + "\t" + width + "\t" + mousePositionY[0] + "\t" + height);
}

// ***** sound output function *****
// this function outputs a sound from the calculated sound values
void audioStreamWrite(float xySoundPitch) {
    // initialization of all music variables
    myWaveUp.generate(myStreamUp);
    myWaveDown.generate(myStreamDown);

    // adjust phase
    myWaveUp.phase += myStreamUp.size;
    myWaveUp.phase %= myStreamUp.sampleRate;

```

```

myWaveDown.phase += myStreamDown.size;
myWaveDown.phase %= myStreamDown.sampleRate;

// stores the defined anchor points in an array and draws an ellipse
if ((keyPressed == true) && ((key == 'f') || (key == 'F'))) {
  startProfile[0] = mouseX;
  startProfile[1] = height - mouseY;
  strokeWeight(1);
  stroke(30);
  fill(255, 255, 0);
  ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
  println("new start point set: " + startProfile[0] + " / " + startProfile[1]);
}

// saves the end coordinates depending on a mouse click event
else if ((keyPressed == true) && ((key == 'e') || (key == 'E'))) {
  if ((startProfile[0] == 0) && (startProfile[1] == 0)) {
    fill(255, 0, 0);
    ellipse(mouseX, mouseY, diameterCircle, diameterCircle);
    println("error: set first anchor point first by pressing 'f'");
  }
  else {
    if (myStreamUp.mute == false) {
      myStreamUp.mute(!myStreamUp.mute);
    }
    if (myStreamDown.mute == false) {
      myStreamDown.mute(!myStreamDown.mute);
    }
  }

  // stores end points in an array and draws end lines
  endProfile[0] = mouseX;
  endProfile[1] = height - mouseY;
  strokeWeight(1);
  stroke(255);
  line(startProfile[0], height - startProfile[1], endProfile[0], height -
endProfile[1]);
  strokeWeight(2);
  stroke(0, 255, 0);
  line(endProfile[0], height - endProfile[1]+5, endProfile[0], height -
endProfile[1]-5);
  line(endProfile[0]-5, height - endProfile[1], endProfile[0]+5, height -
endProfile[1]);
  println("new end point set: " + endProfile[0] + " / " + endProfile[1]);

  // calculates slope
  float deltaX = endProfile[0] - startProfile[0];
  float deltaXAbs = abs(deltaX);
  float deltaY = -(endProfile[1] - startProfile[1]);
  float deltaYAbs = abs(deltaY);
  float m = -(deltaY / deltaX); // must be negative because of the grid transformation

  if ((m > 1) || (m < -1)) {
    profileMaxLength = int(deltaXAbs);
    noteDurationCorrectorToChannel = round(abs(m));

    // starts Ess which reloads the profileMaxLength stored as global variable
    startEss();

    // defines variables needed for the following for-loop
    int actualY;
    int calculatedX;
    int time = 0;

```

```

// calculates a profile line due to the slope, retrieves the height values and
// stores them in an array
for (int i = 0; i <= deltaYAbs; i++) {
  // condition which checks wheter the profile must be drawn to the right or to
  // the left
  if (endProfile[1] >= startProfile[1]) {
    actualY = startProfile[1] + i;
    calculatedX = round(startProfile[0] + i * 1 / m);
  }
  else {
    actualY = startProfile[1] - i;
    calculatedX = round(startProfile[0] - i * 1 / m);
  }

  // HINWEIS: this three lines were commented last time
  elevationProfile[i] = altitude[calculatedX][actualY-1];
  zSoundPitchProfile[i] = basicFrequency + elevationProfile[i] / maximumZ *
basicFrequency;
  // update waveform frequency
  myWaveProfile.frequency = zSoundPitchProfile[i];
  myWaveProfile.frequency = basicFrequency + altitude[calculatedX][actualY-1] /
maximumZ * basicFrequency;

  // starting and ending position within channel
  int begin = myChannelProfile.frames(time);
  int end = myChannelProfile.frames(noteGapProfile);

  // render triangle wave and apply envelope
  myWaveProfile.generate(myChannelProfile, begin, end);
  myEnvelopeProfile.filter(myChannelProfile, begin, end);
  time += noteDurationProfile; // increment the channel output point
  println("Method m<1 || m>-1: " + calculatedX + "\t" + actualY + "\t" +
elevationProfile[i] + "\t" + zSoundPitchProfile[i] + "\t" + " m = " + m + "\t" + i + "\t"
+ begin + "\t" + end);
}
}
else {
  profileMaxLength = int(deltaYAbs);
  noteDurationCorrectorToChannel = round(abs(1/m));

  // starts Ess which reloads the profileMaxLenght stored as global variable
  startEss();

  // defines variables needed for the following for-loop
  int actualX;
  int calculatedY;
  int time = 0;

  // calculates a profile line due to the slope, retrieves the height values and
  // stores them in an array
  for (int i = 0; i <= deltaXAbs; i++) {
    // condition which checks wheter the profile must be drawn to the right or to
    // the left
    if (endProfile[0] >= startProfile[0]) {
      actualX = startProfile[0] + i;
      calculatedY = round(startProfile[1] + i * m);
    }
    else {
      actualX = startProfile[0] - i;
      calculatedY = round(startProfile[1] - i * m);
    }

    elevationProfile[i] = altitude[actualX][calculatedY - 1];

```

```

        zSoundPitchProfile[i] = basicFrequency + elevationProfile[i] / maximumZ *
basicFrequency;
        // update waveform frequency
        myWaveProfile.frequency = zSoundPitchProfile[i];

        // starting and ending position within channel
        int begin = myChannelProfile.frames(time);
        int end = myChannelProfile.frames(noteGapProfile);

        // render triangle wave and apply envelope
        myWaveProfile.generate(myChannelProfile, begin, end);
        myEnvelopeProfile.filter(myChannelProfile, begin, end);
        time += noteDurationProfile;        // increment the channel output point

        println("Method m>1 || m<-1: " + actualX + "\t" + calculatedY + "\t" +
elevationProfile[i] + "\t" + zSoundPitchProfile[i] + "\t" + " m = " + m + "\t" + i + "\t"
+ begin + "\t" + end);
    }
}

// debugging utilities
//println(zSoundPitchProfile[i] + "\t" + myWaveProfile.frequency + "\t" +
elevationProfile[i] + "\t" + i);
//println(startProfile[0] + " " + startProfile[1] + " " + endProfile[0] + " " +
endProfile[1]);

// plays the AudioChannel with the stored profile height
myChannelProfile.play();
}
}
else {
    if (myStreamUp.mute == true) {
        myStreamUp.mute(!myStreamUp.mute);
    }
    if (myStreamDown.mute == true) {
        myStreamDown.mute(!myStreamDown.mute);
    }

    // defines the y-axis sound parameters depending on the cursor's position
    float volumeBottomToTop = 1 - mouseY/float(height);
    float volumeTopToBottom = mouseY/float(height);

    myStreamUp.pan(panCenterToEdges);
    myStreamDown.pan(panCenterToEdges);

    myStreamUp.volume(volumeBottomToTop);
    myStreamDown.volume(volumeTopToBottom);

    // if-loop to render the sound legend while pressing specific keys
    if (keyPressed == true) {
        if ((key == CODED) && (keyCode == UP)) {
            // sets sound as hearable (not off), defines pitch and volume
            myStreamUp.mute(false);
            myWaveUp.frequency = round(xySoundPitchMax);
            myWaveUp.volume = volumeSineWave;

            myStreamDown.mute(false);
            myWaveDown.frequency = round(xySoundPitchMax);
            myWaveDown.volume = volumeSquareWave;

            println("up cursor key pressed: only highest tone hearable for " + maximumZ + "
metres height");
        }
    }
}

```

```

else if ((key == CODED) && (keyCode == DOWN)) {
    // sets sound as hearable (not off), defines pitch and volume
    myStreamUp.mute(false);
    myWaveUp.frequency = round(xySoundPitchMin);
    myWaveUp.volume = volumeSineWave;

    myStreamDown.mute(false);
    myWaveDown.frequency = round(xySoundPitchMin);
    myWaveDown.volume = volumeSquareWave;

    println("down cursor key pressed: only lowest tone hearable for " + minimumZ + "
metres height");
}
else if ((key == CODED) && (keyCode == SHIFT)) {
    // sets sound as hearable (not off), defines pitch and volume
    myStreamUp.mute(false);
    myStreamDown.mute(true);

    // mutes myWaveDown; only myWaveUp is hearable
    myWaveUp.volume = volumeSineWave;
    myWaveDown.volume = 0;

    println("SHIFT key pressed: only sine wave hearable");
}
else if ((key == CODED) && (keyCode == CONTROL)) {
    // sets sound as hearable (not off), defines pitch and volume
    myStreamUp.mute(true);
    myStreamDown.mute(false);

    // mutes myWaveUp; only myWaveDown is hearable
    myWaveUp.volume = 0;
    myWaveDown.volume = volumeSquareWave;

    println("CTRL key pressed: only square wave hearable");
}
else if ((key == CODED) && (keyCode == LEFT)) {
    myWaveUp.volume = volumeSineWave;
    myWaveDown.volume = volumeSquareWave;

    // sets balance to left
    panCenterToEdges = -1;

    println("left cursor key pressed: only left audio output hearable");
}
else if ((key == CODED) && (keyCode == RIGHT)) {
    myWaveUp.volume = volumeSineWave;
    myWaveDown.volume = volumeSquareWave;

    // sets balance to right
    panCenterToEdges = 1;

    println("right cursor key pressed: only right audio output hearable");
}
else if ((key == 'm') || (key == 'M')) {
    myStreamUp.mute(!myStreamUp.mute);
    myStreamDown.mute(!myStreamDown.mute);

    println("m pressed: audio output muted");
}
}
// else-condition to render the regularly retrieved values without pressing any key
else {
    myStreamUp.mute(false);

```

```
myStreamDown.mute(false);
myWaveUp.volume = volumeSineWave;
myWaveDown.volume = volumeSquareWave;

// assigns the balance and the pitch due to the cursor position and the retrieved
// height
panCenterToEdges = -(1 - (mouseX/float(width)) * 2);
myWaveUp.frequency = round(xySoundPitch);
myWaveDown.frequency = round(xySoundPitch);

// mutes the AudioStreams while AudioChannel is playing
if (myChannelProfile.state == 2) {
    myStreamUp.volume(0);
    myStreamDown.volume(0);
}
}
}
}

// ***** Ess stop function *****
// this function ends Ess
public void stop() {
    Ess.stop();
    super.stop();
}
```





## A.5 Eigenständigkeitserklärung

### PERSÖNLICHE ERKLÄRUNG:

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

### PERSONAL DECLARATION:

I hereby declare that the submitted thesis is the result of my own, independent, work. All external sources are explicitly acknowledged in the thesis.

ZÜRICH, 31.1.2012

JORAM SCHITO