

# DIGITAL OVERLOAD

KONZEPTION UND UMSETZUNG EINER SONIFIKATION  
VON SMARTPHONE-DATEN



*Bearbeitungsbeginn: [01.10.2024]*

*Vorgelegt am: [26.02.2025]*

# **Thesis**

zur Erlangung des Grades

**Bachelor of Arts**

im Studiengang Medienkonzeption

an der Fakultät Digitale Medien

***David Eichler***

**268464**

## **Digital Overload - Konzeption und Umsetzung einer Sonifikation von Smartphone Daten**

*Erstbetreuer: Regina Reusch*

*Zweitbetreuer: Michael Nguyen*

# ABSTRACT

Die allgegenwärtige Nutzung von Smartphones führt zu einem kontinuierlichen Austausch großer Datenmengen, die im Hintergrund ablaufen und für Nutzer:innen verborgen bleiben. Diese unsichtbaren Datenströme sind ein Spiegelbild digitaler Überlastung, deren psychologische und gesellschaftliche Auswirkungen zunehmend erforscht werden. In dieser Bachelorarbeit wird untersucht, wie eine Sonifikation, also die Umwandlung von Daten in Klang, genutzt werden kann, um diese unsichtbaren digitalen Prozesse erfahrbar zu machen.

Die Arbeit kombiniert wissenschaftliche, künstlerische und technologische Ansätze aus den Bereichen Medienkunst, Wahrnehmungspsychologie und Digital Studies. Zunächst werden theoretische Grundlagen zur Sonifikation, Daten-Visualisierung und multisensorischen Wahrnehmung dargelegt. Anschließend erfolgt die praktische Umsetzung eines eigenen Sonifikations-Projekts, in dem Echtzeit-Netzwerddaten eines Smartphones mittels Data-Mapping-Techniken in Klang transformiert werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die akustische Repräsentation von Smartphone-Daten neue Formen der Wahrnehmung digitaler Prozesse entstehen können. Die Arbeit leistet damit einen Beitrag zur Diskussion um digitale Achtsamkeit und reflektiert das Potenzial von Sonifikation als Methode zur kritischen Auseinandersetzung mit unserer vernetzten Umwelt.

# INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	1
1.1 Kontext und Relevanz	2
1.2 Forschungsfrage & Zielsetzung	3
1.3 Methode	4
1.4 Verwandte Arbeiten	5
2. Definitionen & Grundlagen	7
2.1 Daten-Sonifikation	8
2.2 Daten-Visualisierung	9
3. Verbindung von Sonifikation und Visualisierung	10
3.1 Perceptualization	11
3.2 Multisensorische Wahrnehmung	11
4. Umsetzung von Sonifikationen und Visualisierungen	14
4.1 Gegenstand: Daten	16
4.1.1 Abstrakte Daten	16
4.1.2 Echtzeit-Daten	16
4.1.3 Netzwerk-Daten	17
4.2 Motivation: Warum Daten sichtbar und hörbar machen?	19
4.2.1 Wissenschaftliche Visualisierungen & Sonifikationen	20
4.2.2 Kreativ-Künstlerische Visualisierungen & Sonifikationen	20
4.3 Methodik: Data-Mapping	22
4.3.1 Metaphern & Assoziation	22
4.3.2 Willkür	23
4.3.3 Data-Preparation	24
4.3.4 Parameter Mapping Sonification	25
4.3.5 Weitere Mapping Methode	27
5. Anforderungen an künstlerische Sonifikationen und Visualisierungen	28
5.1 Ausdruck	29
5.2 Verständlichkeit	30
5.3 Ästhetik	31
6. Interaktivität in Sonifikationen & Visualisierungen	33
7. Praxisteil: Konzeption und Umsetzung D1GITAL ØVERLOAD	36
7.1 Ausstellungskontext	37
7.2 Zielsetzung an die Umsetzung	37
7.3 Setup & Schnittstelle	39
7.4 Datenextraktion	41
7.5 Datenübermittlung via OSC	42
7.6 Sonifikation in Max/MSP	43
7.6.1 Sound Synthesis	43
7.6.2 BEAP	44
7.6.3 Umsetzung des Data-Mapping	45
7.7 Endprodukt	48
7.8 Reflexion UND Evaluation	48
7.9 Weiterentwicklung	50
8. Schluss	52
8.1 Ergebnis	53
8.2 Ausblick & zukünftige Forschung	53
Literaturverzeichnis	54
Anhang	58
Abbildungs-, Tabellen und Hilfsmittelverzeichnis	59
Versicherung über redliches wissenschaftliches Arbeiten	60

# 1. EINLEITUNG

## 1.1 KONTEXT UND RELEVANZ

Smartphones sind in den letzten 15 Jahren zu einem festen Bestandteil unseres Alltags geworden. Während ihre Nutzung meistens bewusst erfolgt, bleibt die parallele Datenverarbeitung oft unsichtbar. Permanent werden Informationen zwischen Apps, Servern und Netzwerken ausgetauscht – selbst dann, wenn das Gerät inaktiv scheint. Weltweit werden Forschungen zu den Folgen von intensiver Smartphone-Nutzung und digitaler Überlastung durchgeführt. Es gibt Studien die Zusammenhänge aufweisen, dass sich eine problematische Smartphonenuutzung auf depressive Symptome (Stimberg et al. 2024), erhöhten Stresslevel (Sohn et al. 2019) und schlechte Schlafqualität (Li et al. 2025) auswirken können.

Dieses Projekt nimmt diese medienpsychologische Entwicklung zum Anlass, um Echtzeit-Daten eines Smartphones zu nutzen und in einer Installation auf die Dauerpräsenz des Handys hinzuweisen sowie eine Sensibilisierung für die eigene Nutzung anzuregen.. Die Visualisierung und Sonifikation von Daten gewinnen zunehmend an Bedeutung, da sie neue Möglichkeiten bieten, abstrakte oder unsichtbare Prozesse wahrnehmbar zu machen. Daten, insbesondere in großen Mengen, sind für den Menschen in ihrer rohen Form oft schwer zu erfassen und zu interpretieren. Durch die Umwandlung in visuelle oder akustische Formen werden Daten greifbar gemacht und können besser analysiert, interpretiert und kommuniziert werden. Daten-Visualisierungen und Sonifikationen werden jedoch nicht nur zum Zwecke der Informationsvermittlung eingesetzt, sondern sie bieten darüber hinaus auch das Potenzial, durch kreative und explorative Techniken neue und spannende Muster aus Datensätzen sichtbar zu machen. Dadurch entsteht die Chance, Daten emotional spürbar werden zu lassen und sie auf einer (medien-)künstlerischen Ebene zu präsentieren. Von datenbasierten immersiven Installationen, über generative Soundscapes bis hin zu interaktiven Daten-Anwendungen entstehen weltweit Projekte, in denen Menschen mit der Welt der Daten konfrontiert werden. Dieses Projekt will Echtzeit Netzwerkprotokoll-Daten eines Smartphones verwenden, um dessen Datenflüsse für Nutzer:innen spürbar zu machen.

## **1 . 2 FORSCHUNGSFRAGE & ZIELSETZUNG**

Diese Arbeit soll untersuchen, inwiefern Daten-Sonifikationen und Daten-Visualisierungen das Potenzial bieten, Auseinandersetzungen mit Datensätzen und deren Bedeutung anzuregen. Dabei stellen sich die Fragen, wie deren Umsetzung gelingen kann, welche Mittel dafür zur Verfügung stehen und auf welche Kriterien dabei geachtet werden muss.

Ziel dieser Arbeit ist es, ein generatives System zu erstellen, das es ermöglicht Handydaten in Realtime abzugreifen, um diese im kreativen Kontext weiter nutzen zu können. Speziell sollen Netzwerkverkehr-Daten des Smartphones so in Klang verwandelt werden, dass eine Reflektion über diese Daten und die Omnipräsenz des Handys angeregt werden kann. Dafür soll eine datenbasierte Installation konzipiert und umgesetzt werden. Die Forschungsfrage lautet:

**WIE KANN EINE DATEN-  
SONIFIKATION GENUTZT  
WERDEN, UM UNSICHTBARE  
NETZWERKDATEN  
EINES SMARTPHONES IN  
ECHTZEIT ERFAHRBAR  
ZU MACHEN?**

## 1.3 METHODE

Um die Forschungsfrage zu beantworten, soll eine Installation konzipiert und umgesetzt werden, die Daten bestmöglich erfahrbar macht. Die theoretische Arbeit bildet dabei die Grundlage für die praktische Ausarbeitung. Im Rahmen dieser Arbeit werden verschiedene inhaltliche Schwerpunkte gesetzt, um eine Grundlage für die praktische Umsetzung zu schaffen. Zunächst gilt es, den Themenkomplex der Daten-Sonifikationen und Visualisierungen umfassend zu verstehen, um daraus wertvolle Erkenntnisse für die eigene praktische Arbeit abzuleiten. Ein weiterer Fokus liegt auf der Untersuchung relevanter Datenquellen sowie dem Vergleich unterschiedlicher Motivationen für die visuelle und auditive Aufbereitung von Daten. Darüber hinaus wird analysiert, wie die Methodik der Sonifikation und Visualisierung – das sogenannte Data-Mapping – funktioniert und welche spezifischen Prozesse dabei ablaufen. Letztlich werden die Anforderungen an künstlerische Daten-Visualisierungen, die verschiedenen Mapping-Möglichkeiten bei der Sonifikation sowie die Bedeutung der Interaktivität in diesen Prozessen beleuchtet.

Auf Grundlage dieser Untersuchungen soll ein Konzept entwickelt werden, das die Erkenntnisse integriert und den Designprozess bei der Umsetzung unterstützt. Für diese Umsetzung ist zunächst die Schaffung einer Schnittstelle zwischen Smartphone und Computer nötig, um Netzwerkdaten in Echtzeit vom Handy abgreifen zu können. Schließlich soll die Installation umgesetzt und ausgestellt werden. Ein künstlerisch-explorativer Ansatz ermöglicht es dabei, verschiedene Muster und Auffälligkeiten eines Datensatzes zu erkunden und diese abstrakt oder metaphorisch darzustellen.

“Art has always revealed aspects of our lives, whether it is political structures that we are involved in or things we like or do not like (...). Art making is about revealing something, what is hidden” – David Worrall (NetSon, 2015, 10:56 – 11:14).

Am Schluss sollen das Projekt und die Forschungsfrage, inwieweit Daten-Sonifikation genutzt werden können, um unsichtbare Netzwerkdaten eines Smartphones in Echtzeit erfahrbar zu machen, evaluiert werden.

## 1 . 4 VERWANDTE ARBEITEN

Es existieren ähnliche Arbeiten, in denen Netzwerkprotokolle sonifiziert wurden. Debsahi und Vickers (2018) entwickelten mit "SoNSTAR" (Sonification of Networks for Situational Awareness), ein System zur Echtzeit-Sonifizierung von Traffic- und IP-Verkehr. SoNSTAR erzeugte Klanglandschaften, die den aktuellen Zustand des Netzwerks widerspiegeln. Ziel dabei war es, Netzwerkadministrator:innen ein besseres Situationsbewusstsein zu ermöglichen und die Überwachung von Sicherheitsbedrohungen zu verbessern. Während SoNSTAR einen sehr pragmatischen und funktionalen Nutzen für Network-Security bietet, gibt es auch Arbeiten, die sich durch einen künstlerisch-explorativen Ansatz auszeichnen.

David Worrall (2016) entwickelte in einem kleinen Team das Projekt "Corpo Real". Darin wurden die gebündelten Netzwerkdaten des gesamten Fraunhofer Instituts sonifiziert und visualisiert. Netzwerkdaten wurden hierbei visuellen und akustischen Parametern zugeordnet, deren Ausprägungen komplexen Regeln folgten. Ziel des Projekts war es, den Zustand eines vernetzten Systems in einer großen Organisation spielerisch und kreativ darzustellen. Die Sequenz „Sam chill“ der „Corpo Real“-Reihe (siehe Abb. 2) zeigt beispielsweise, wie die Server „in sanftem Gleichgewicht vor sich hin brummen“ (Worrall, 2019, S. 261). Auch Giot und Courbe (2012) übersetzten in "InteNtion" Netzwerkaktivitäten zu MIDI-Nachrichten, die verschiedene Synthesizer ansteuerten, um eine interaktive Soundscape erschaffen.

Während diese Arbeiten Netzwerkstrukturen von Rechnern und größeren IT-Systemen abrufen, soll dieses Projekt das Smartphone als Datenquelle verwenden. Ähnlich wie „Corpo Real“ verfolgt es einen experimentell-explorativen Ansatz und steuert – vergleichbar mit „InteNtion“ – einen interaktiven Synthesizer in Echtzeit. Trotz der funktionalen Ähnlichkeiten grenzt sich dieses Projekt durch den spezifischen Fokus auf das Smartphone als Datenquelle ab. Zudem unterscheidet sich die praktische Umsetzung darin, dass sie nicht nur technisch funktioniert, sondern auch gezielt für eine Ausstellung konzipiert wird.

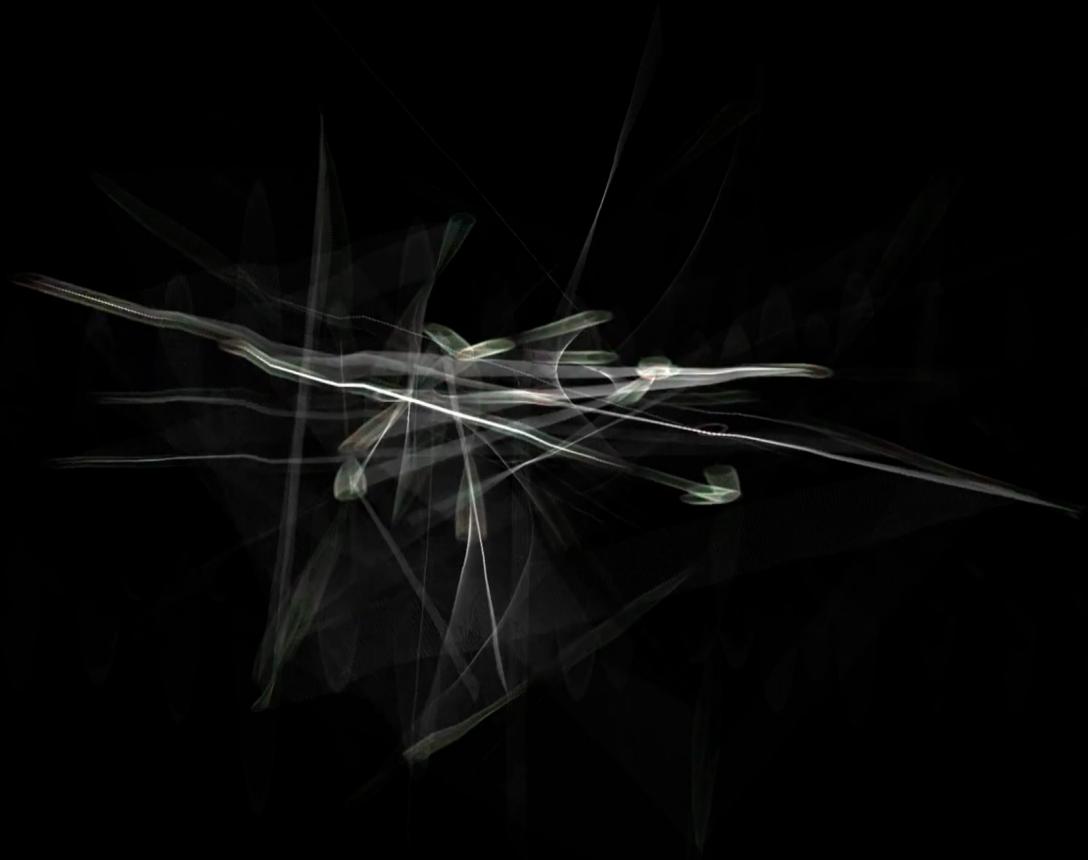


Abbildung 1: „net path flow“ // CORPO REAL

Quelle: NetSon (2015, 30. März). YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=Abb\\_OmxGf3E&ab\\_channel=NetSon](https://www.youtube.com/watch?v=Abb_OmxGf3E&ab_channel=NetSon)

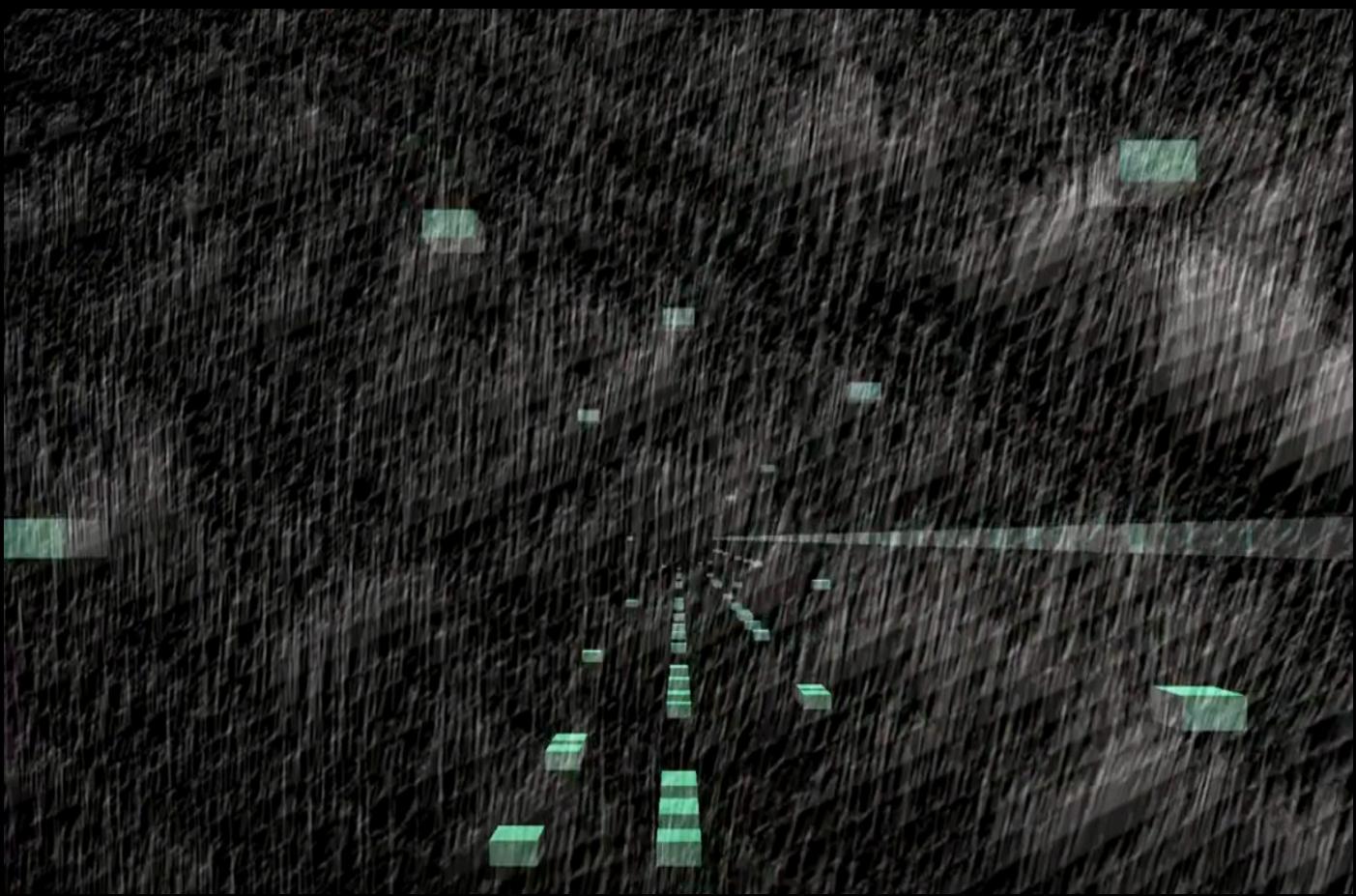


Abbildung 2: „3am. chill“ // CORPO REAL

Quelle: NetSon (2015, 30. März). YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=Vzd\\_E17bCKg&ab\\_channel=NetSon](https://www.youtube.com/watch?v=Vzd_E17bCKg&ab_channel=NetSon)

# 2. DEFINITIONEN & GRUNDLAGEN

Um ein umfassenderes Verständnis von Daten-Visualisierung und Daten-Sonifikation zu entwickeln, sollen zunächst die Definitionen und Grundlagen erläutert werden.

## 2.1 DATEN-SONIFIKATION

Die Daten-Sonifikation hat ihren Ursprung Ende des 20. Jahrhunderts. Mit der Entwicklung der Computertechnologie und durch Fortschritte in der Rechenleistung wurde die Umwandlung von Daten in Klang zunehmend erforscht. Besonders ab den 1990er Jahren etablierte sich die Sonifikation als eigenständiges Forschungsfeld, das sich verschiedene Techniken und Ideen beispielsweise aus der Musikkomposition, Wahrnehmungspsychologie, Informatik, Akustik und Philosophie zu Nutze macht (vgl. Worrall, 2019, S. 47, S. 23).

Kramer et al. (2010) definieren Daten-Sonifikation als den Einsatz nicht-sprachlichen Tons zur Vermittlung von Informationen. Scaletti (1994) versteht diesen Prozess als die Abbildung numerisch dargestellter Beziehungen auf akustische Parameter, um Zusammenhänge in den Daten zu verstehen und zu kommunizieren. Worrall (2019) präzisiert dies mit seiner Definition: „Data sonification is the acoustic representation of informational data for relational non-linguistic interpretation by listeners, in order that they might increase their knowledge of the source from which the data was acquired.“ (S. 25). Hierbei geht es darum, Daten akustisch so zu repräsentieren, dass ein Publikum ein tieferes Verständnis für die Datenquelle entwickelt.

Wenn untersucht werden soll, was der Gegenstand, das Ziel und die Methode von Sonifikationen sind, liefern diese Definitionen die ersten Antworten. Der Gegenstand jeder Sonifikation sind die Daten. Das Ziel ist es, das menschliche Verständnis über den Datensatz zu erhöhen, und die Methode beschreibt den Prozess, durch den Daten in akustische Signale umgewandelt werden – das sogenannte „Data-Mapping“. Auf dieser Basis soll in den folgenden Kapiteln genauer analysiert und unterschieden werden, welche Arten von Daten es gibt, welche verschiedenen Motivationen Sonifikationen haben können und welche Möglichkeiten in der Umsetzung existieren.

Um die Sonifikation einzuschränken, schlägt Hermann (2008) vier Kriterien vor, die eine Sonifikation erfüllen muss, um als solche zu gelten:

1. Der entstandene Klang spiegelt objektive Eigenschaften oder Beziehungen der Eingabedaten wider.
2. Es ist genau definiert, wie die Daten eine Veränderung des Klangs bewirken.
3. Die Sonifikation ist reproduzierbar.
4. Das System kann auch mit unterschiedlichen Daten verwendet werden.

Diese Kriterien verdeutlichen, dass eine Sonifikation mehr ist als eine zufällige Klangumwandlung. Sie soll systematisch, objektiv und wiederholbar sein. Vor allem in funktionalen Arbeiten, wie der Netzwerküberwachung (z. B. SoNSTAR), ist diese Struktur wichtig, um genaue Ergebnisse zu erzielen. Doch auch in künstlerisch-explorativen Projekten bieten die Kriterien einen Anhaltspunkt, um Entscheidungen im Data-Mapping zu treffen.

Die vorgestellten Definitionen und Hermanns Kriterien legen eine Grundlage, um die Sonifikation als Methode zur akustischen Darstellung von Daten zu verstehen. Sie verdeutlichen, dass es bei einer Sonifikation nicht nur um die bloße Umwandlung von Daten in Klang geht, sondern um eine strukturierte und zielgerichtete Methode, die das Verständnis von Daten fördert. In den Kapitel 4 wird darauf aufbauend genauer untersucht, welche Arten von Daten genutzt werden, welche Sonifikationen existieren und wie ein gelungenes Data-Mapping praktisch umgesetzt werden kann.

## 2.2 DATEN-VISUALISIERUNG

Die Definitionen der Daten-Sonifikation und der Daten-Visualisierung decken sich in ihrer Essenz, mit dem Unterschied, dass nicht der akustische Kanal des Menschen, sondern das Auge adressiert wird.

Eine Daten-Visualisierung ist „die Abbildung digitaler Daten auf visuelle Bilder“ (Wright 2008 S. 79). Wie die Sonifikation ist sie ein Prozess, bei dem abstrakte Daten in visuelle Darstellungen umgewandelt werden, um die Daten verständlicher zu machen und neue Erkenntnisse zu gewinnen. Chen (2010) beschreibt, dass Daten-Visualisierungen sich mit dem Design, der Entwicklung und der Anwendung von computergenerierten, interaktiven grafischen Darstellungen von Informationen befassen (S. 387). Card et al. (1999) definieren Daten-Visualisierungen als „den Einsatz von computerunterstützten, interaktiven, visuellen Darstellungen abstrakter Daten zur Erweiterung der Kognition“ (S. 7).

Laut Wright (2008) begann der Bedarf an Daten-Visualisierungen in den späten 1980er Jahren. Grund dafür war die rapide Zunahme der Datenmenge und -Komplexität, die durch Fortschritte in der Rechenleistung und sinkende Speicher Kosten ermöglicht wurde. Diese Entwicklung machte es notwendig, neue Werkzeuge zu entwickeln, die Menschen bei der Interpretation dieser Datenflut unterstützen.

Daten-Visualisierungen zielen also darauf ab, die menschliche Wahrnehmung und kognitive Fähigkeiten zu nutzen, um Muster zu erkennen und aus visuellen Formen Schlüsse aus Datensätzen zu ziehen. Die Daten-Visualisierung ist daher im Kern zur Sonifikation sehr ähnlich und verfolgt den gleichen Ansatz: Informationen durch eine Repräsentation von Daten vermitteln.

# 3. VERBINDUNG VON SONIFIKATION UND VISUALISIERUNG

Daten-Visualisierungen und Daten-Sonifikationen verfolgen dasselbe Ziel und beschreiben einen sehr ähnlichen Prozess. Die Verbindung beider Techniken liegt daher sehr nahe, da durch ein audiovisuelles Erlebnis gleich mehrere Sinneskanäle des Menschen angesprochen werden können. Beide Techniken, sowohl die Sonifikation und die Visualisierung nutzen dabei die Fähigkeiten des menschlichen Gehirns zur Informationsverarbeitung. "Such visualization experiences or non-visual visualizations can even be used in addition to the visual sense, and explore novel ways of conveying and interacting with information" (Moere, 2007, S. 11).

## 3.1 PERCEPTUALIZATION

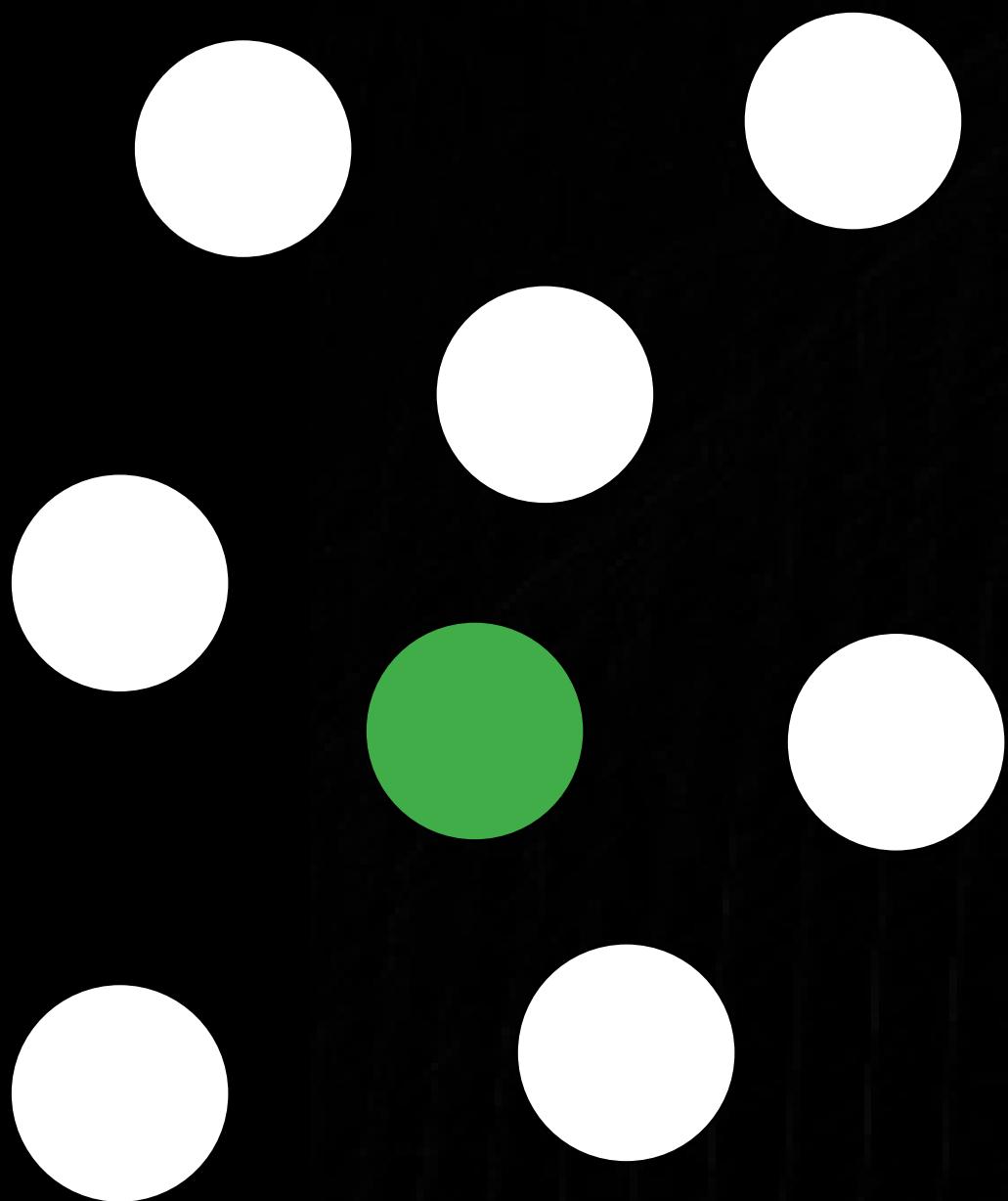
In den letzten Jahren hat sich der Begriff der „Perceptualization“ etabliert, um die bewusste Nutzung mehrerer Sinne zur Darstellung und Interpretation von Daten zu beschreiben (Hermann et al., 2011). Dieser Ansatz zielt darauf ab, die besonderen Stärken jeder Sinnesmodalität zu nutzen, um kognitive Prozesse zu erleichtern. Perceptualization nutzt die menschliche Wahrnehmung, um die Verbindungen zwischen dem Gehirn und den Sinnesorganen zu nutzen, damit die Nutzer große Mengen an Informationen in möglichst kurzer Zeit und mit möglichst geringer kognitiver Belastung hören, sehen, erkunden und intuitiv verstehen können (Worrall, 2019, S. 255).

Ähnlich wie bei einer reinen Sonifikation oder Visualisierung, ist es das Ziel die Beziehungen innerhalb von Daten oder Objekten so darzustellen, dass diese in der Wahrnehmung der Beobachter:innen erkennbar werden (Bovermann et al., 2011, S. 251). Dabei können die Vorteile der multisensorischen Wahrnehmung genutzt werden.

## 3.2 MULTISENSORISCHE WAHRNEHMUNG

„Visuelle, auditive und taktile Informationskanäle liefern ergänzende Informationen, die oft eng mit unseren eigenen Handlungen verknüpft sind“ (Hermann et al., 2011, S.3). Dabei kann in der Konzeption von Perceptualizations auf die Stärken der verschiedenen Sinne gesetzt werden. Das Auge und das Ohr haben unterschiedliche Funktionen und reagieren unterschiedlich auf Reize. Der Sehsinn kann beispielsweise mehr Informationen aufnehmen, als alle anderen Sinne zusammen (vgl. Ware, 2004, S. 2). Etwa 20 Milliarden Neuronen des Gehirns sind für die Analyse visueller Informationen zuständig und bieten daher einen Musterfindungsmechanismus, der eine grundlegende Komponente für einen Großteil unserer kognitiven Aktivitäten darstellt. Durch präattentive Prozesse<sup>1</sup> werden Kapazitäten für bewusstes Denken und komplexere Aufgaben freigegeben (Ferguson et al., 2011, S. 176). Dies kann ein großer Vorteil in der Wahrnehmung sein, da somit die bewusste Kognition entlastet wird. Das visuelle System ist darüber hinaus der menschliche Sinn, der die größte Bandbreite hat: 100 Mb können pro Sekunde aufgenommen werden. Der Hörsinn dagegen hat nur eine Bandbreite von 100 b/s (Fekete et al., 2008, S. 7). Dieser Kapazitätsunterschied wird auch als „bandwidth problem“ bezeichnet (Edwards 2011, S. 433). Dabei ist es nicht nur die Bandbreite, die das Sehen so leistungsfähig macht, sondern es ist auch die Fähigkeit, sich auf die Informationen konzentrieren zu können, die zum Zeitpunkt einer Visualisierung von Bedeutung sind. Eine Sonifikation jedoch, erleichtert das Verständnis von zeitbasierten Phänomenen und Strukturen (Grond & Schubert-Minski, 2010). Der Gehörsinn ist besonders sensitiv für rhythmische und zeitliche Muster, was ihn zu einem idealen Werkzeug macht, um dynamische Daten zu interpretieren (Neuhoff, 2011, S. 74). Da das auditive System dem visuellen System bei der zeitlichen Verarbeitung überlegen ist, können unterschiedliche Tempi genutzt werden, um Informationen wie Dringlichkeit oder Richtungsänderungen zu übermitteln (Edworthy et al. 1991; Langlois et al. 2008). Außerdem ist die visuelle Wahrnehmung auf ein Sichtfeld von etwa 120 Grad begrenzt, während das auditive System Reize aus einem 360-Grad-Raum um den Kopf wahrnehmen kann und es dem Menschen ermöglicht die Umgebung aus allen Winkeln wahrzunehmen (Neuhoff, 2011; Zelada & Çamci, 2024, S. 745).

1) Wahrnehmungsaufgaben, die in weniger als 200 ms erledigt werden können, werden als „präattentiv“ bezeichnet. Diese Aufgaben sollen für uns mühe los zu erledigen sein (Chen 2006, S. 182).



*Abbildung 3: Präattentive Erkennung eines farbigen Objekts*  
Quelle: Eigene Darstellung

Daher hat speziell Sound die Möglichkeit, eine Form von Präsenz und Immersion zu erzeugen, da man durch Klang in verschiedene Umgebungen versetzt werden kann (vgl. Poeschl et al., 2013, S. 129). Hermann et al. (2011) erklären auch, dass der Mensch mit einem komplexen und leistungsfähigen Hörsystem ausgestattet ist. Die Identifizierung von Schallquellen, gesprochenen Wörtern und Melodien sei eine überragende Aufgabe der Mustererkennung, die die meisten modernen Computer nicht reproduzieren können. Die Mustererkennung sei für die menschlichen Ohren intuitiv offensichtlicher als für unsere Augen. Ton kann, ähnlich wie die visuelle prätentative Mustererkennung, vom Gehirn passiv verarbeitet werden, d. h. wir können Töne wahrnehmen, ohne sie hören zu müssen (Vickers 2011, S. 462 f.). Da diese Verarbeitung ohne die Anwendung bewusster Aufmerksamkeit erfolgt, wird die Kapazität des bewussten Denkens für die Betrachtung der Bedeutung der Daten und nicht für die Erkennung ihrer Struktur frei (Ferguson et al. 2011, S. 176).

Sowohl der visuelle als auch der akustische Kanal des Menschen hat gegenüber dem anderen entscheidende Vorteile. Zusammen treffen diesem im Gehirn – am „Ort“ der Sinneswahrnehmung. Im Gehirn treffen Licht- und Schallwellen aufeinander und werden zu einer audiovisuellen Erfahrung verknüpft (Daniels & Naumann, 2015, S. 7). Diese Komplexität unseres Systems der Sinneswahrnehmung sei aber noch nicht vollständig verstanden. Huber (2007, S. 121) beschreibt, dass Hören und Sehen zusammen eine raumzeitbezogene Wahrnehmungssynthese konstruieren. Diese Synthese ermöglicht es, Beziehungen zwischen Reizen intuitiv zu erkennen, was besonders bei simultaner Präsentation von Bild und Ton relevant wird. „Das Bild liefert also dem Vorgang des Begreifens und Verstehens oder seinem Resultat, dem Begriff, Fülle und Gehalt. Der Sound gibt dem Bild eine zeitliche und rhythmische Struktur“ (ebd.).

Dabei können in der multisensorischen Wahrnehmung verschiedene Effekte auftreten. Wenn beispielsweise zwei Medien gleichzeitig präsentiert werden, geht der Betrachter davon aus, dass Beziehungen zwischen den beiden Medien bestehen, und sucht daher nach diesen (Afanador et al. 2008, S. 236 f.). Die Sinne konkurrieren nicht gegeneinander, sondern arbeiten zusammen, um die Wahrnehmung zu bereichern. Eine andere Studie zeigt aber auch, dass die gleichzeitige Nutzung beider Sinne zu einer Redundanz von Informationen führen kann (Tzelgov et al. 1987, S. 88f.). Die Kombination von visuellen und auditiven Informationen kann sich also auch unter bestimmten Umständen als weniger effektiv erweisen, als Informationen, die nur in einer Sinnesmodalität präsentiert werden (vgl. Kramer et al. 2010, S. 8).

In der aktuellen Medienkultur ist die Kombination von Bild und Ton jedoch längst eine Selbstverständlichkeit. Die technischen und ästhetischen Grenzen zwischen beiden sind fließend (Daniels & Naumann 2015). Diese gegenseitige Beeinflussung bietet auch das Potenzial, ein intensiveres und emotionales Erlebnis für das Publikum zu schaffen. Wenn also Visualisierung und Sonifikation zu einer Perceptualization verschmelzen und auf die Stärken der jeweiligen Sinnesmodalitäten geachtet wird, bietet dies die Chance, eine verständliche und gleichzeitig immersive Daten-Repräsentation zu schaffen.

# 4. UMSETZUNG VON SONIFIKATIONEN UND VISUALISIERUNGEN

In diesem Kapitel soll konkret erklärt werden, wie Sonifikationen und Visualisierungen umgesetzt werden. Dabei wird erst der Gegenstand, dann die Motivation und schließlich die Methodik von Daten-Sonifikationen und Daten-Visualisierungen analysiert. Im ersten Schritt sollen die Daten näher betrachtet werden: Was unterscheidet Daten von Informationen? Welche Arten von Datenquellen sind für Visualisierungen und Sonifikationen relevant? Was sind Netzwerkdaten? Im zweiten Schritt wird erörtert, warum Daten überhaupt visuell oder auditiv aufbereitet werden. Welche verschiedenen Motivationen können dahinter stecken? Und in welchen interdisziplinären Kontexten finden diese Techniken Anwendung? Drittens wird dann die praktische Methodik beleuchtet, also wie das Data Mapping – der Prozess der Übertragung von Daten auf visuelle oder auditive Parameter – funktioniert und welche Schwierigkeiten es dabei geben kann.

## 4.1 GEGENSTAND: DATEN

„Data visualization is concerned about specific patterns hidden in abstract datasets“

(Moere, 2007, S. 8).

Der Gegenstand und die Basis von allen Visualisierungen und Sonifikationen sind Daten. Laut Moere (2007), befassen sich Daten-Visualisierungen mit spezifischen Mustern, die in sogenannten „abstrakten Datensätzen“ verborgen sind. Dies gilt ebenfalls für Daten-Sonifikationen.

„Daten“ werden im Duden als durch Beobachtungen oder Messungen gewonnene Werte definiert, die häufig in Form von Zahlen angegeben werden. Sie können technische Angaben, persönliche Merkmale oder Ergebnisse statistischer Erhebungen umfassen (Duden, o. D.). Der Begriff selbst hat seine Wurzeln aus dem Latein und ist ursprünglich die Mehrzahl von „datum“, was „das Gegebene“ bedeutet. Aus der Pluralform des Begriffs lässt sich ableiten, dass Daten in der Regel in Sammlungen oder Datensätzen auftreten und selten isoliert betrachtet werden. Im alltäglichen Sprachgebrauch werden die Begriffe „Daten“ und „Informationen“ häufig synonym verwendet. Hermann (2008) argumentiert, dass eine Unterscheidung zwischen den Begriffen „Daten“ und „Informationen“ im Kontext von Daten-Sonifikationen irrelevant und nachrangig zu betrachten sei. Für ihn ist es wichtig, die zugrunde liegenden Datenstrukturen zu verstehen, aber die semantische Interpretation liegt nicht im primären Fokus.

Diese Synonymität kann jedoch zu Missverständnissen führen, insbesondere im Kontext von Daten-Visualisierungen und Daten-Sonifikationen. Whitelaw (2008a) betont, es sei wichtig, zwischen diesen beiden Begriffen zu unterscheiden, um die Inhalte von Visualisierungen besser verstehen und interpretieren zu können.

Daten, so Whitelaw (2008a), sind die „rohen Messungen“ der Realität. Sie bestehen aus isolierten, unorganisierten Werten, die zunächst keine Bedeutung haben. Diese Werte sind oft nur Nullen und Einsen, die über digitale Schnittstellen übertragen werden. Erst durch die Organisation und Kontextualisierung dieser Messungen durch einen Beobachtenden entstehen aus den Daten Informationen. Informationen sind demnach das, was wir aus den Daten ableiten. Sie sind „Daten mit Bedeutung“, die Antworten auf Fragen wie „Wer?“, „Was?“, „Wo?“, „Warum?“ oder „Wann?“ liefern können (Meyer, 2010, S. 23). Durch diese Unterscheidung lässt sich festhalten, dass Daten-Sonifikationen und Visualisierungen versuchen Daten in Informationen zu übersetzen.

#### 4.1.1 ABSTRAKTE DATEN

Eine spezielle Unterkategorie der Daten sind die bereits erwähnten „abstrakten Daten“. Der Begriff wird häufig für Messungen verwendet, die nicht unmittelbar an ein physisches Objekt gebunden sind und in ihrer Rohform keine erkennbare Aussagekraft besitzen. Beispiele hierfür können Daten aus Sensorprotokollen, aus sozialen Netzwerken oder aus Statistiken sein (Moere, 2007, S. 3).

Also zeichnen sich abstrakte Daten speziell dadurch aus, dass ihnen nicht nur die Bedeutung, sondern auch die physische Präsenz fehlt. Auch Card et al. (1999, S. 7) definieren abstrakte Daten als den Ausgangspunkt von Daten-Visualisierungen. Diese bedürfen einer Kontextualisierung und Organisation, damit Informationen entstehen und sie für Betrachter:innen zugänglich gemacht werden.

#### 4.1.2 ECHTZEIT-DATEN

Echtzeit-Daten bzw. kontinuierliche Daten beschreiben einen Strom von Informationen, der in gleichmäßigen Abständen oder in einem dichten zeitlichen Verlauf vorliegt. Im Gegensatz zu Stichproben oder aufgenommenen Datensätzen, ermöglichen Echtzeit-Datenströme eine direkte Darstellung, da einzelne Datenpunkte sofort in auditive oder visuelle Merkmale übersetzt werden können (Worrall, 2019; Grond & Berger, 2011). Dies ist besonders relevant für Anwendungen, die eine konstante Überwachung und schnelle Reaktionsfähigkeit erfordern, wie etwa die Analyse von Netzwerkaktivitäten (Worrall 2019, S. 36).

Echtzeit-Daten können gut für Sonifikationen genutzt werden, da sie eine durchgängige akustische Darstellung erlauben und Zeit, Dynamik und Veränderungen innerhalb eines Datenstroms darstellen können. Wenn die Echtzeitdaten aber unregelmäßig eintreffen und nicht alle Daten in gleichen Abständen, kann dies eine Herausforderung darstellen. In solchen Fällen gilt es die Daten weitgehend so vorzubereiten, dass auch diese Ereignisse interpretiert und extrahiert werden können (Grond & Berger, 2011, S. 366).

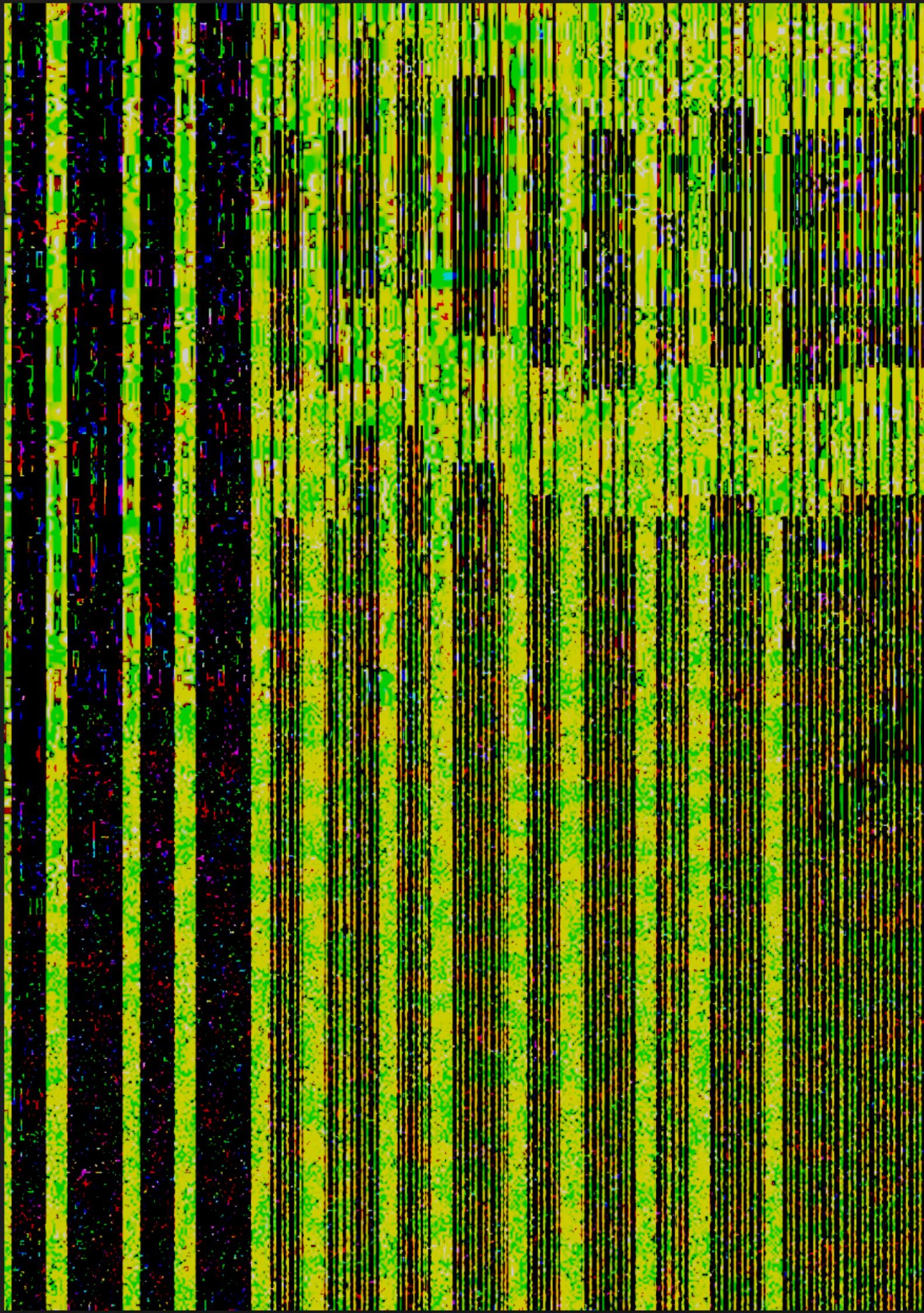
#### 4 . 1 . 3 NETZWERK-DATEN

In diesem Projekt werden Echtzeit-Daten von Netzwerkaktivitäten eines Smartphone extrahiert. Netzwerkdaten sind abstrakte Daten, da sie keine physische Präsenz aufweisen können. Netzwerkverkehr beschreibt den kontinuierlichen Austausch von Daten zwischen verschiedenen Geräten innerhalb eines digitalen Netzwerks. Dank ihrer Kontinuität eignen sie sich gut dafür, die Basis einer Realtime-Sonifikation darzustellen. Um eine Datenanalyse, Sonifikation oder Visualisierung von Netzwerkdaten durchzuführen, ist es essenziell, zunächst die grundlegenden Mechanismen des Datenflusses zu verstehen (Worrall, 2019, S. 256).

Ein zentraler Bestandteil des Internetverkehrs ist das Transmission Control Protocol (TCP). TCP ist ein bidirektionales, verbindungsorientiertes Protokoll, das die Übertragung von Datenpaketen gewährleistet (Worrall, 2019, S. 256). Es sorgt dafür, dass Daten in kleinere Pakete aufgeteilt, adressiert, über verschiedene Routen versendet und am Ziel wieder korrekt zusammengesetzt werden. Zudem bietet TCP die Möglichkeit zur Fehlerkontrolle und stellt sicher, dass fehlende oder beschädigte Pakete erneut gesendet werden, bis alle Daten erfolgreich empfangen wurden (Debashi & Vickers, 2018, S. 4). Im Gegensatz dazu ist das User Datagram Protocol (UDP) ein unidirektionales, verbindungsloses Protokoll, das eine schnellere, aber weniger zuverlässige Datenübertragung ermöglicht (Worrall 2019, S. 257). UDP-Pakete sind kleiner als TCP-Pakete und enthalten keine Mechanismen zur Fehlerkorrektur. Die Unterscheidung der Protokolle ist in der Datenextraktion hilfreich für die Umsetzung der praktischen Arbeit.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil des Internetverkehrs ist das Domain Name System (DNS). DNS dient der Umwandlung von Domainnamen (z. B. "www.davideichler.de") in numerische IP-Adressen, die für die Kommunikation zwischen Rechnern benötigt werden. Man kann sich das Domain Name System als das „Telefonbuch des Internets“ vorstellen. Sobald eine Website aufgerufen wird, sendet das Gerät eine DNS-Anfrage, um die IP-Adresse herauszufinden. DNS-Anfragen werden in der Regel über den UDP-Port abgewickelt, während größere Anfragen, welche Standardgröße von 512 Bytes überschreiten, auf den TCP-Port umgeleitet werden können (Mandl 2019, S. 105, 131). Die Datenbanken der DNS-Servers sind extrem ausgelastet, weil sie Milliarden von Anfragen von Milliarden von Geräten und Personen bearbeitet (Contributor, 2020). Dabei werden DNS-Anfragen nicht nur beim gezielten Aufrufen von Online-Diensten gesendet, sondern auch bei Inaktivität im Hintergrund. Ein Experiment von Cybernews hat gezeigt, dass ungenutzte Smartphones im Hintergrund tausende DNS-Anfragen pro Tag stellen (Your Phone's Secret Network Activity, 2024). Ein iPhone erzeugte durchschnittlich 3.308 DNS-Anfragen täglich. Die hohe Anzahl an DNS-Anfragen im Hintergrund kann ein Indikator dafür sein, dass viele Apps kontinuierlich Daten senden und empfangen – oft ohne das Wissen der Nutzer:innen. Dies wirft Fragen zum Datenschutz, zur Privatsphäre und zur Sicherheit auf. Dabei ist problematisch, dass nicht immer klar ist, welche Daten übermittelt werden und welche Dritten darauf Zugriff haben könnten (vgl. ebd.).

Diese Arbeit möchte sowohl den Netzwerkverkehrverkehr von TCP- und UDP-Protokollen, als auch unsichtbare DNS-Anfragen als Gegenstand nutzen, um den permanenten Datenfluss in akustischer Form hörbar machen zu können. Dabei werden aus einem abstrakten Echtzeit-Netzwerkverkehr konkrete Bedeutungen abgeleitet und somit Informationen über die Dauerpräsenz von Hintergrundaktivitäten für Hörer:innen spürbar.



## 4.2 MOTIVATION: WARUM DATEN SICHTBAR UND HÖRBAR MACHEN?

Wie in Kapitel 2.1 bereits aufgedeckt, liegt der Hauptzweck von Daten-Visualisierungen und Sonifikationen darin, den menschlichen Zugang zu komplexen und oft abstrakten Daten zu erleichtern und ein besseres Verständnis zu fördern. Moere (2007) betont: „data visualization has a single purpose: to increase the human understanding of data“ (S. 4). Der Nutzen von Visualisierungen liegt darin, dass sie als Bezugsrahmen oder als temporärer Speicher für menschliche kognitive Prozesse dienen (Fekete et al. 2008, S. 6). Daten in ihrer rohen Form sind für Menschen schwer greifbar und oft unverständlich. Visualisierungen übersetzen diese abstrakten Zahlenreihen in verständliche und interpretierbare Formen. Wright (2008) unterstreicht: „Visualizations are created for people rather than for machines“ (S. 79). Sie dienen also dazu, Daten in einen Kontext zu bringen, der intuitiv erfassbar ist.

Die Einsatzmöglichkeiten von Sonifikationen und Visualisierungen sind vielseitig und können in zahlreichen Disziplinen Einsatz finden. Dabei lassen sich die Anwendungsbereiche grob in zwei Kategorien unterteilen:

1. Wissenschaftliche Daten-Visualisierungen und Daten-Sonifikationen (oft auch als Scientific Data Visualization oder Traditional Data Visualizations bezeichnet)
2. Künstlerische Daten-Visualisierungen und Daten-Sonifikationen (Artistic Data Visualization, Aesthetic Data Visualization oder Datenkunst).

### 4.2.1 WISSENSCHAFTLICHE VISUALISIERUNGEN & SONIFIKATIONEN

Moere (2007) stellt fest, dass diese traditionellen Daten-Visualisierungen vor allem darauf abzielen, spezifische Muster innerhalb eines Datensatzes zu identifizieren, um neue Erkenntnisse zu gewinnen (S. 7). Der primäre Zweck von wissenschaftlichen Daten-Visualisierungen und -Sonifikationen ist also zunächst die Analyse von Daten zur Erkenntnisgewinnung. In der Forschung können Visualisierung und Sonifikation eingesetzt werden, um Hypothesen zu überprüfen. Dabei können Daten untersucht werden, indem die menschliche Wahrnehmungsfähigkeit zu Nutze gemacht wird. Wissenschaftliche Sonifikationen und Visualisierungen sollen nach wissenschaftlichen Ansprüchen Daten und damit verbundene Muster rigoros, genau und wahrheitsgetreu darstellen (vgl. Chen, 2010, S. 387).

Ein Beispiel hierfür ist die Arbeit der Forscherin Lily Asquith, die 2010, nach der Entdeckung des Higgs-Bosons, Daten aus dem Teilchenbeschleuniger in CERN sonifizierte. Durch die Übersetzung atomarer Prozesse in Klänge konnten neue Einsichten in die komplexen Datensätze auf Teilchenebene ermöglicht werden (TEDx Talks, 2013). Wright (2008) ordnet ein, dass es sich bei wissenschaftlichen Daten-Visualisierungen und Daten-Sonifikationen um eine experimentelle Forschungstechnik handelt.

## 4.2.2 KREATIV-KÜNSTLERISCHE VISUALISIERUNGEN & SONIFIKATIONEN

Visualisierungen und Sonifikationen finden auch in der Kunst Anwendung, um neue Ausdrucksformen zu schaffen und ästhetische Erlebnisse zu ermöglichen. Im Gegensatz zu wissenschaftlichen Visualisierungen, die primär auf Präzision und analytische Genauigkeit abzielen, liegt der Fokus künstlerischer Datenvisualisierungen auf einer subjektiven Interpretation und der Auslösung emotionaler Reaktionen. Chen (2010, S. 388) betont, dass das Ziel solcher Werke darin besteht, einen einzigartigen Eindruck eines Datensatzes zu vermitteln, der die Betrachter:innen auf einer emotionalen Ebene anspricht. Moere (2007, S. 7) hebt hervor, dass diese Werke oft weniger an detaillierten fachlichen Informationen interessiert sind. Stattdessen laden sie Betrachter:innen dazu ein, sich auf die zugrunde liegende Bedeutung der Darstellung einzulassen und eine individuelle Beziehung zum Datensatz oder der Datenabbildung selbst aufzubauen. Konkret plädieren Barrass & Vickers (2011) dafür, dass Daten-Sonifikation weniger als ein Instrument für exklusiv wissenschaftliche Forschung angesehen wird, sondern ein Massenmedium für ein Publikum darstellen kann, das einen funktionale und ästhetisch befriedigende Erfahrung erwartet. „A design-centered approach (...) moves sonification on from engineering theories of information transmission to social theories of cultural communication“ (S. 165). Manovich (2002) sieht den künstlerischen Visualisierungsprozess als eine Form von abstrakter Arbeit. Hierbei werden chaotischen oder scheinbar zufälligen Daten klare und eindeutige Muster zugeordnet, um Strukturen und Beziehungen sichtbar zu machen. Diese Technik erlaubt es, „verborgene Eigenschaften“ in den Daten zu entdecken und durch visuelle und auditive Darstellungen neue Perspektiven zu eröffnen. Moere (2007, S. 7) ergänzt, dass künstlerische Datenvisualisierungen oft metaphorische Darstellungen verwenden, um den Kern des Datensatzes zu erfassen, ohne dabei eine wörtliche Übersetzung der Informationen anzustreben. Das Ziel ist weniger, konkrete Antworten zu finden, als vielmehr die Betrachter:innen dazu anregen, neue Interpretationen und Zusammenhänge zu entdecken. Künstler:innen und Designer:innen nutzen Datenvisualisierung deshalb als Werkzeug, um neue Formen des Ausdrucks zu finden. „The task of artistic information visualization is not to resolve but to question or restructure issues pertaining to a topic in a manner that is not possible through any other means, medium or cultural artifact“ (Ramirez Gaviria, 2008, zitiert nach Lang, 2010, S. 10).

Ein Beispiel für solch künstlerische Ansätze, die dennoch auf wissenschaftlichen Prinzipien basiert, ist das Projekt „Unnatural Nature“ von Zelada und Çamci (2024), in der Umweltdaten interaktiv sonifiziert und visualisiert wurden, um auf die Folgen des menschengemachten Klimawandels hinzuweisen. Solche Projekte können es schaffen, sowohl eine Botschaft an ein Publikum zu richten, als auch wissenschaftliche Arbeitsweisen mit künstlerischen Prinzipien zu verbinden. Die Grenzen zwischen wissenschaftlichen-traditionellen und künstlerischen-explorativen Anwendungen sind oft auch fließend. Barrass und Vickers (2011) beispielsweise vertreten die Meinung, dass die Chance der Sonifikationen darin liegt, einen interdisziplinären Ansatz zu wählen und die Funktionen des Informationsdesigns mit den ästhetischen Eigenschaften der Kunst zu verbinden (S. 152). Sowohl die Visualisierung als auch die Sonifikation von Daten sind aus der Motivation entstanden sind, komplexe Informationen auf eine zugängliche Weise zu präsentieren. Eine Verbindung von wissenschaftlichen und künstlerischen Ansätzen ist sinnvoll, da die Grenzen der Disziplinen fließend sind. So können traditionelle Datenvisualisierungen auch ästhetische Qualitäten aufweisen und emotionale Reaktionen hervorrufen. Umgekehrt können

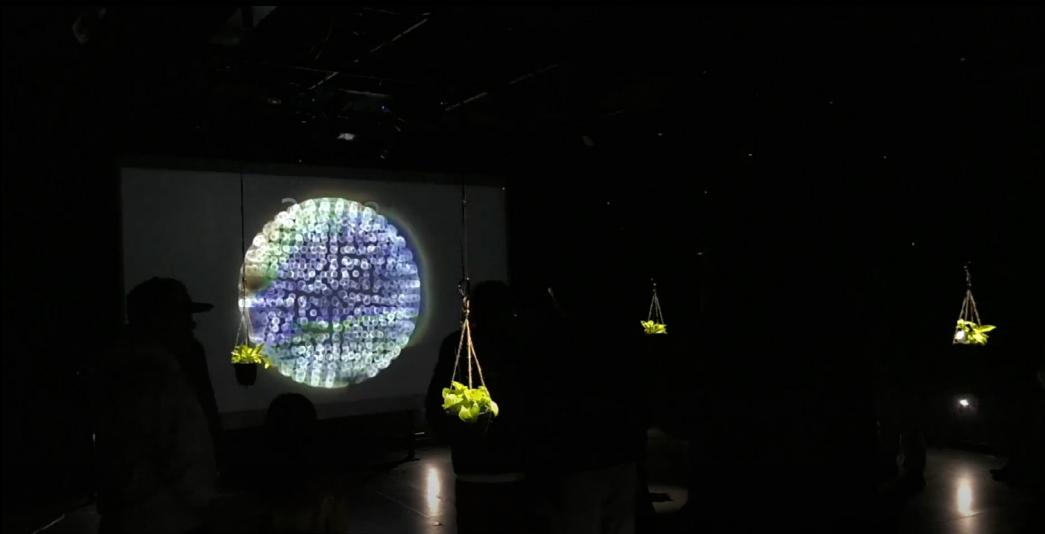


Abbildung 4: „Unnatural Nature“: an immersive and interactive installation about climate change by Eloisa Zelada  
Quelle: Eloise (2023, 14. Dezember). YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=HltGt\\_fYPU8&ab\\_channel=Elois](https://www.youtube.com/watch?v=HltGt_fYPU8&ab_channel=Elois)

künstlerische Datenvisualisierungen auch dazu dienen, komplexe wissenschaftliche Daten zu kommunizieren. Diese Arbeit nimmt sich Barass' und Vickers' Idee zum Beispiel und wählt einen künstlerisch-explorativen Ansatz, bei dem Funktionalität und wahrheitsgetreue Darstellung mit Ausdruck und Ästhetik verbunden wird. Die Faktoren Ausdruck, Ästhetik und Verständlichkeit und deren Bedeutung in Sonifikationen und Visualisierungen sollen daher zur Schaffung einer bestmöglichen Darstellung in Kapitel 5 genauer untersucht werden.

## 4.3 METHODIK: DATA-MAPPING

Data-Mapping beschreibt den Prozess, bei dem eine User:in Dateneinheiten einer visuellen oder auditiven Form zuordnet. Wie Whitelaw (2008b, S. 273) feststellt, ist die Transformation von Daten in visuelle oder akustische Formen untrennbar mit sogenannten Mapping-Regeln verbunden. Diese beschreiben ähnlich wie Hermann (2008), dass bei Sonifikationen genau definiert wird, wie die Daten eine Veränderung des Klangs bewirken. Data-Mapping-Rules legen fest, wie bestimmte Datenwerte transformiert und skaliert werden. Einzelne Parameter eines Datensatzes werden dabei so übersetzt, dass sie für den Menschen als visuelle Darstellung oder akustische Ausgabe wahrnehmbar werden. Dieser Zuordnungsprozess – welcher Datensatz welche visuelle oder auditive Einheit steuert – bildet den Kern des Data-Mappings.

Jede Dateneinheit wird entsprechend den spezifischen Datenwerten, die sie repräsentiert, manipuliert (Moere, 2007, S. 6). Visuell können Eigenschaften wie Position, Richtung, Farbe, Größe oder Form durch Daten gesteuert werden, während in der Sonifikation Parameter wie Frequenz, Lautstärke, Pitch oder Panning manipulierbar gemacht werden. Um Data-Mapping zu realisieren, stehen verschiedene Softwaretools zur Verfügung. Echtzeit-Audioverarbeitungsprogramme wie Max/MSP und PureData oder visuelle Entwicklungsplattformen wie TouchDesigner oder Unity ermöglichen es, Daten-Inputs in audiovisuelle Outputs zu verwandeln. Diese Programme bieten in der Gestaltung und Realisierung des Data-Mappings immense Freiheiten, da durch eine Vielzahl an Tools endlose Ergebnisse geschaffen werden können. Data-Mapping kann insofern als ein kreativer Prozess verstanden werden, da es Designer:innen obliegt, die Zuordnungen zu bestimmen, Modelle zu entwickeln und diese nach ihren Belieben in verschiedene Formen zu bringen. Dabei können Prozesse und Abläufe auf einer metaphorischen Ebene sichtbar gemacht werden, die eigentlich nicht sichtbar sind. Aber es sei beachtet, dass das Publikum üblicherweise nur das Ergebnis der Umwandlung wahrnimmt, nicht jedoch die ursprünglichen Daten oder deren Transformation.

### 4.3.1 METAPHERN & ASSOZIATIONEN

*“But even if we are able to show everything we may still not know how to show it – how do we order the variables into an image in a way that expresses their interrelationships?”*

(Wright 2008 S. 80)

Da abstrakte Daten keine direkte visuelle oder auditive Form besitzen, spielen Metaphern eine zentrale Rolle im Data Mapping. Sie ermöglichen es, Datenwerte in leicht verständliche Formen zu übertragen (Moere, 2007, S. 6). Metaphern und Analogien stellen Zuordnungen zwischen einem Quell- und einem Zielbereich her, um eine Verbindung zwischen ihnen zu schaffen. Beispielsweise kann die Höhe eines Wertes mit der Tonhöhe oder die Dicke einer Linie mit der Lautstärke in Beziehung gesetzt werden. Diese analogen Mappings helfen, Beziehungen innerhalb eines Datensatzes nachvollziehbar zu machen (vgl. Worrall, 2019, S. 125 f.) und beim Publikum ein intuitives Verständnis zu erzeugen. Im Data-Mapping bei Sonifikationen ist es beispielsweise wichtig zu entscheiden, wie man Metaphern schafft, die für Nutzer:innen überzeugend sind, wenig Erklärungen benötigen und mit den Erwartungen der Nutzer:innen übereinstimmen (vgl. Serafin et al. 2011, S. 106).

Daher ist es auch wichtig, beim Mapping zu berücksichtigen, wie visuelle oder auditive Repräsentationen von verschiedenen User:innen aufgefasst und interpretiert werden können (Chen 2006, S. 187).

Durch die Arbeit mit Metaphern können Daten auch in soziale oder emotionale Kontexte eingebettet werden und narrative Strukturen entstehen. Sack (2010) ist der Meinung, dass sich Daten-Visualisierungen für eine umfassende Ästhetik nicht nur mit psychologischen Zuständen befassen sollten, sondern auch mit sozialen oder politischen Aspekten. Dafür können entweder passende Bild- oder Klangwelten ausgewählt werden. „In the end, the most fascinating element is the cultural narrative and associative resonances that emerges out of the stream of data itself, so it's best to let it speak for itself“, so Simanowski (2005, S. 6).

#### 4 . 3 . 2 WILLKÜR

Die Freiheit, die sich im Designprozess ergibt, birgt auch Herausforderungen. Daten können so stark manipuliert und metaphorisch verzerrt werden, dass der ursprüngliche Bezug zu den Daten nicht mehr erkennbar scheint und das Resultat willkürlich wirkt. Whitelaw (2008a) beschreibt: „Der Prozess nimmt die Daten, als was auch immer er will (...), unabhängig davon, was sie einmal waren“, „Alles ist alles“. Wright (2008) bringt unter der Bezeichnung „noncognitive visualization“ zum Ausdruck, dass sich Visualisierungen so sehr von den Daten entfernen können, dass die eigentlichen Daten an Relevanz verlieren (vgl. S. 87). Es sei ein Leichtes, beliebige Daten zu nehmen und mit Visualisierungstools ein reichhaltiges Muster daraus zu konstruieren. In der Sonifikationspraxis haben Barras und Vickers (2011) beispielsweise die „Indexikalität“ als eine Maßeinheit eingeführt, welche die Willkürlichkeit verschiedener Mapping Methoden messen soll. Ein System mit hoher Indexikalität sei eines, bei dem der Klang direkt aus den Daten abgeleitet wird (z. B. durch die Verwendung direkter Daten-zu-Klang-Zuordnungen). Geringe Indexikalität hingegen ergibt sich aus eher symbolischen oder interpretativen Zuordnungen. Lev Manovich (2002), der als einer der einflussreichsten Medientheoretikern des 21. Jahrhunderts im Bereich digitaler Kunst und Kultur gilt, reflektiert auch diese potenzielle Problematik die im Data Mapping steckt und stellt fest:

„By allowing us to map anything into anything else, to construct infinite number of different interfaces to a media object, to follow infinite trajectories through the object, and so on, computer media simultaneously makes all these choices appear arbitrary – unless the artist uses special strategies to motivate her or his choices“ (S. 10).

Damit nimmt er Künstler:innen in die Pflicht, die Entscheidungen, die im Mapping-Prozess stattfinden, inhaltlich zu begründen und den klaren inhaltlichen Bezug zu den zugrunde liegenden Daten zu wahren. So kann einer Beliebigkeit von Sonifikations- und Visualisierungskunstwerken entgegengesetzt werden. Er verweist auch auf surrealistische Prinzipien des 20. Jahrhunderts und argumentiert, dass Datenkunst nicht immer zwangsläufig rational sein müsse: „Rather than try to always being rational, data art can instead make the method out of irrationality“ (Manovich, 2002, S. 10).

Es lässt sich festhalten, dass ein Daten-Visualisierung oder Sonifikation, trotz ihrer Austauschbarkeit von Inputs, gewollt wirkt, wenn im Data-Mapping inhaltlich motiviert gearbeitet wird. Die Auswahl der Zuordnung im Mapping sollte darauf abzielen, die Kernaussage des Werks bestmöglich zu vermitteln. „Obwohl unendlich viele Mappings möglich sind, ist es die Vielzahl der Entscheidungen, die bei der Erstellung spezifischer Mappings getroffen werden, die von Bedeutung sind“ (Whitelaw, 2008a). Auch wenn keine direkte Verbindung zwischen Input und Output besteht, soll die Beziehung durch die Designentscheidung erkennbar sein. Wenn Designer:innen sich tiefergehend mit den Eigenschaften der Daten und den Zielen der Darstellung auseinandersetzen, kann eine Daten-Visualisierung oder Sonifikation sich akustisch und visuell auch weit vom eigentlichen Datensatz weg bewegen. Dennoch sollte das Mapping eine aussagekräftige Verbindung zwischen den Daten und ihrer Repräsentation schaffen.

#### 4 . 3 . 3 DATA-PREPARATION

Um diese aussagekräftige Verbindung zu gewährleisten, ist für das Data-Mapping eine Auseinandersetzung mit dem zugrunde liegenden Datensatz nötig. Bevor Daten für eine Sonifikation oder Visualisierung genutzt werden, sollten sie zunächst auf mögliche Inkonsistenzen oder Fehler überprüft werden. Worrall (2019, S. 141) hebt hervor, dass eine Auseinandersetzung mit einem Datensatz dabei helfen kann, Besonderheiten oder Probleme frühzeitig zu erkennen. Besonders bei Echtzeit-Sonifikationen empfiehlt Worrall, Daten im ersten Schritt zu analysieren. So können Probleme frühzeitig erkannt werden und das Mapping kann besser an die Charakteristiken der Daten angepasst werden. Rohdaten sind oft nicht direkt für eine Umsetzung geeignet, da sie zu komplex oder unstrukturiert sein können. Eine Vorbereitung der Daten trägt dazu bei, Daten verständlicher zu machen und die klangliche oder visuelle Repräsentation zu optimieren. Walker & Nees (2011, S. 18) betonen, dass fortgeschrittene Sonifikationen eine Vorverarbeitung der Daten erfordern, um die Menge zu verringern und Schwankungen zu reduzieren. In komplexen Datensätzen sind oft zahlreiche Variablen vorhanden, die nicht alle für die gewünschte Sonifikation von Bedeutung sind. Daher ist es häufig notwendig, die Daten vor der Sonifikation zu filtern, zu reduzieren oder zu transformieren. Durch gezieltes Filtern können die wichtigsten Informationen heraukristallisiert werden, ohne dass der Datensatz seine innere Struktur verliert (Brazil & Fernström 2011, S. 514). Dabei ist auch die Auswahl der geeigneten Variablen wichtig, die die Informationen über die Daten bestmöglich vermitteln: “it is important to know not only the relationships between various variables but also which variables are predominant in carrying the information about that data” (Bly, 1994). Darüber hinaus kann es auch sinnvoll sein, zusätzliche abgeleitete Parameter zu berechnen. Grond & Berger (2011, S. 367) schlagen beispielsweise vor, für zeitabhängige Daten zusätzliche Werte wie z.B. Veränderungsraten oder Geschwindigkeiten zu berechnen. Diese Variablen können genutzt werden, um Ereignisse in einem Datensatz akustisch abzubilden. Auch die Berechnung bestimmter Ereignisse, wie Maximal-, Minimal- oder Mittelwerte kann sinnvoll sein. Dies ermöglicht, sich auf besonders signifikante Veränderungen im Datensatz zu konzentrieren, anstatt jede einzelne numerische Schwankung einzugehen (Grond & Berger 2011, S. 367). Diese Prozesse sollen auch in dieser Arbeit bei der Extrahierung von Netzwerkaktivitäten miteinfließen. Sobald die Daten soweit vorbereitet sind, können verschiedene Data-Mapping-Methoden genutzt werden, um Daten zu visualisieren oder zu sonifizieren. Eine gängige Methode in der Sonifikationspraxis ist die Parameter Mapping Sonification.

#### 4.3.4 PARAMETER MAPPING SONIFICATION

Bei der Umwandlung von Daten in Klang gibt es keine universell „richtige“ Mapping-Methode. Die Wahl des geeigneten Mappings hängt immer vom Kontext, den Daten und der beabsichtigten Wahrnehmung ab. Walker & Nees (2011, S. 24) betonen, dass nicht alle Mapping-Strategien gleichermaßen effektiv sind.

Eine der weitverbreitetsten Methoden zur auditiven Darstellung von Daten ist die sogenannte Parameter Mapping Sonification (Worrall 2019, S. 38). Dabei werden numerische Werte eines Datensatzes bestimmten Klangparametern zugeordnet, sodass sich die akustischen Eigenschaften direkt aus den Daten ergeben (Hermann et al., 2011, S. 5). In anderen Worten, die Daten spielen ein Instrument.

“Since sound is inherently multidimensional, Parameter Mapping Sonification is – at least in principle – particularly well suited for displaying multivariate data” (Grond & Berger 2011, S. 363). Der Mensch ist in der Lage, mehrere gleichzeitig erklingende Signale wahrzunehmen und zu interpretieren, was Parameter Mapping Sonification zu einer effektiven Methode für die gleichzeitige Darstellung mehrerer Datenströme macht (Grond & Berger, 2011, S. 380). Daten können gleichzeitig auf verschiedene akustische Parameter wie Tonhöhe, Lautstärke, Klangfarbe oder räumliche Position abgebildet werden, wodurch ein komplexes, aber kohärentes Klangbild entsteht (Worrall, 2019, S. 38). Dadurch ergeben sich dynamische Klangveränderungen, die Muster oder Trends in den Daten hörbar machen. Besonders für kontinuierliche Datenströme eignet sich die Parameter Mapping Sonification, da durch gezieltes Mapping von Amplitude und Hüllkurven eine deutliche klangliche Struktur entstehen kann (Grond & Berger, 2011, S. 368). Diese Mapping-Technik bietet eine hohe Flexibilität. Zudem können verschiedene moderne Werkzeuge aus der digitalen Musikproduktion genutzt werden, um komplexe Echtzeit-Sonifikationen zu erzeugen. Für Parameter Mapping Sonification eignen sich beispielsweise verschiedene Formen von Synthesizern, wie beispielsweise bei der Arbeit von Giot und Courbe (2012). Auch manipulierbare Filter- und Effektgeräte können zur Beeinflussung des Klangbilds genutzt werden.

Parameter Mapping Sonification bringt auch Herausforderungen mit sich. Eine der größten Schwierigkeiten liegt in den psychophysischen Wechselwirkungen zwischen akustischen Parametern. Beispielsweise kann Lautstärke die Wahrnehmung von Tonhöhe beeinflussen, wodurch Datenbeziehungen unklar oder verzerrt erscheinen können (vgl. Neuhoff 2011, S. 67). Da auditive Parameter oft nicht linear wahrgenommen werden, können kleine Veränderungen in den Daten große klangliche Unterschiede erzeugen, was die Interpretation erschweren kann (Worrall, 2019, S. 38). Zu den wichtigsten Parametern zählen Tonhöhe (Pitch), Lautstärke und Klangfarbe (Timbre). Jeder dieser Parameter bietet spezifische Vorteile und Herausforderungen und deren Wechselwirkungen sollten bei der Gestaltung von Sonifikationen berücksichtigt werden.

## PITCH (TONHÖHE)

Die Tonhöhe ist einer der am häufigsten genutzten akustischen Parameter in Sonifikationen. Laut Neuhoff (2011) verwendet nahezu jede Sonifikation Veränderungen in der Tonhöhe, da sie leicht zu manipulieren und intuitiv auf numerische Daten zu übertragen ist (vgl. S. 65). Das menschliche Gehör ist äußerst empfindlich für Frequenzunterschiede. Bei einer Frequenz von 100 Hz können Veränderungen von weniger als 1 Hz wahrgenommen werden (Neuhoff, 2011, S. 65). Häufig wird der Parameter so genutzt, dass steigende Werte in einem Datensatz durch eine Erhöhung der Tonhöhe dargestellt werden. Die geeignete Richtung der Tonhöhenänderung hängt aber vom jeweiligen Kontext und den Erwartungen der Nutzer ab (Neuhoff, 2011, S. 65). Es gibt jedoch auch Einschränkungen bei der Verwendung von Pitch als Parameter. Höhere Frequenzen sind schwieriger zu unterscheiden als tiefere, und eine zu hohe Redundanz der Tonhöhenveränderung kann die Informationsvermittlung erschweren (Coop, 2016).

## LAUTSTÄRKE

Lautstärke ist eine weitere häufig verwendete Ebene der auditiven Darstellung, da sie einfach zu manipulieren und von den meisten Menschen intuitiv verstanden wird (Neuhoff, 2011, S. 66). Sie kann durch die Verbindung eines Datenwerts mit der Amplitude eines akustischen Signals leicht in Sonifikationen integriert werden. Lautstärke kann beispielsweise verwendet werden, um die Stärke oder Wichtigkeit von Datenpunkten darzustellen. Allerdings ist Lautstärke als Parameter für kontinuierliche Datensätze nur bedingt geeignet. Das Erinnerungsvermögen für Lautstärke ist im Vergleich zur Tonhöhe relativ schlecht (Neuhoff, 2011, S. 66). Zudem kann die Wahrnehmung durch Umgebungsgeräusche oder die Qualität der Wiedergabegeräte stark beeinflusst werden, wodurch eine Dateninterpretation erschwert wird (Neuhoff, 2011, S. 66). Aus diesen Gründen sollte die Lautstärke eher nur zur Unterstützung verwendet werden.

## TIMBRE ( KLANGFARBE )

Klangfarbe beschreibt die Eigenschaften eines Klangs, die es ermöglichen, Instrumente oder Klangquellen voneinander zu unterscheiden, selbst wenn sie die gleiche Tonhöhe und Lautstärke haben (Neuhoff, 2011, S. 67). Sie umfasst viele Aspekte der Wahrnehmung, die nicht allein durch Tonhöhe oder Lautstärke erfasst werden können (McAdams & Giordano, 2012, S. 72). In der Sonifikation kann Klangfarbe zur Unterscheidung verschiedener Datendimensionen genutzt werden. Beispielsweise können unterschiedliche Instrumentenklänge bestimmten Datenwerten oder Zuständen zugeordnet werden (Neuhoff, 2011, S. 67). Dadurch entsteht eine zusätzliche Differenzierungsmöglichkeit, die insbesondere bei mehrdimensionalen Datensätzen hilfreich sein kann. Allerdings ist die Skalierung von Klangfarben komplex. Die Wahrnehmung vom Timbre hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, darunter dem Frequenzspektrum, der spektrale Zusammensetzung und psychoakustischen Eigenschaften (Sethares, 2005; Worrall, 2019, S. 137). Zudem kann eine unbedachte Kombination von Klangfarben dazu führen, dass sich bestimmte Klänge gegenseitig maskieren und dadurch die Informationsvermittlung erschwert wird (Vickers & Hogg, 2006).

Die Stärke von parameter-basierter Sonifikation liegt in der hohen Anpassungsfähigkeit und der Möglichkeit, mehrere Datendimensionen gleichzeitig darzustellen. Dabei ist ein Verständnis von psychoakustischen Aspekten nötig, um Verzerrungen in der Datenwahrnehmung zu vermeiden. Um eine gute Balance zwischen den verschiedenen Parametern zu finden, können Kenntnisse aus der Musik-Produktion oder dem Mix- und Mastering zu Gute kommen.

### 4.3.5 WEITERE MAPPING-METHODEN

Neben der parameterbasierten Herangehensweise, existieren auch andere Mapping-Ansätze. Beim sogenannten Model-Based Mapping oder objektbasierten Mapping werden die Daten nicht direkt auf Klangparameter abgebildet, sondern Daten werden verwendet, um ein virtuelles Objekt oder Modell zu erstellen (Hermann 2008). Model Based Sonification erstellt dynamische Modelle, die in der Lage sind, selbst Klänge zu erzeugen, während Parameter Based Mapping Datenwerte auf Klangattribute abbildet und die Klänge aktiv synthetisiert. Bei der modell-basierten Sonifikationen "spielen" die Daten kein Instrument, sondern werden selbst zum Instrument, das von Usern gespielt werden kann, um dessen Eigenschaften zu untersuchen (Hermann 2011, S. 424 f., Vickers 2011, S. 459).

Darüber hinaus können Daten auch event-basiert gemappt werden. Das heißt, dass Klänge gezielt durch bestimmte Ereignisse in den Daten ausgelöst werden, anstatt kontinuierlich Informationen abzubilden. Diese Form wird häufig im Interaktionsdesign oder im UI-Sound genutzt, z.B. für Warnsignale oder Benachrichtigungen (Serafin et al. 2011, S. 104). Auch Daten in Sonifikationen können akustische Events triggern, die dann über den Datensatz Aufschlüsse geben können. Insgesamt gibt es nicht die eine richtige Mapping-Methode, oder einen bestimmten Regelsatz. Da der Data-Mapping-Prozess Kreativität und exploratives Handeln zulässt, sind auch Mischformen aus verschiedenen Mapping Methoden oder Herangehensweisen im Parameter Mapping denkbar.

# 5 ANFORDERUNGEN AN KÜNSTLERISCHE SONIFIKATIONEN UND VISUALISIERUNGEN

Ein gelungenes Data-Mapping legt den Grundstein für eine gute Visualisierung oder Sonifikation. Darüber hinaus stellt sich die Frage, welche Entscheidungen konkret dafür verantwortlich sind, dass Daten-Visualisierungen und Daten-Sonifikationen die bestmögliche Wirkung erzielen können. Bei Sonifikationen und Visualisierungen spielt der Mensch immer eine zentrale Rolle. Dieser kann als Gestalter:in zunächst entschieden, wie die Visualisierung oder die Sonifikation umgesetzt wird. Das umfasst die Auswahl der Mapping-Methode, die Gestaltung des (Klang-)Bildes, die Bestimmung des Zwecks, die Aufbereitung der Daten und die Gestaltung von Interaktionsmöglichkeiten. Dabei sollte bestimmt sein, wie die Verbindungen zwischen den abstrakten Daten und ihrer neuen Form hergestellt werden kann und wie das visualisierte oder sonifizierte Ergebnis wahrgenommen werden soll. Als Nutzer:in besteht die Aufgabe des Menschen darin, die Daten zu erkunden und Bedeutungen abzuleiten, aber auch aktiv teilnehmen zu können und eigene Perspektiven einzubringen. Die Wirkung bei Nutzer:innen sollte im Designprozess berücksichtigt werden. Dabei können verschiedene Kriterien oder Anforderungen festgelegt werden, die für ein gutes Resultat entscheidend sind. Hier sollen drei verschiedene Faktoren und deren Einfluss auf Visualisierungen und Sonifikationen vor allem im künstlerischen Bereich untersucht werden: der Ausdruck, die Verständlichkeit und die Ästhetik.

## 5.1 AUSDRUCK

Wright (2008) ist der Auffassung, dass die zentrale Anforderung an Daten-Visualisierungen ist, aus den in den digitalen Daten impliziten Strukturen algorithmisch einen sinnlichen Ausdruck abzuleiten (S. 84).

Im Data-Mapping kann durch die Arbeit mit Metaphern und Assoziationen ein Narrativ oder eine Bedeutung entwickelt werden. Chen (2003) beschreibt die größte Herausforderung von Daten-Visualisierungen darin, etwas Abstraktes und Unsichtbares mit etwas Konkretem und Bedeutungsvollem zu erfassen (S. 91). Diese Bedeutung kann sich aus einer abgeleiteten Ausdruck ableiten, der in den Daten versteckt liegt, oder mit dem Datensatz einhergeht. Der Ausdruck kann durch die Arbeit mit Metaphern oder ähnlichen Repräsentationsformen gelingen. Designer:innen können dabei Semiotik, also die „Wissenschaft der Zeichen (und Signale)“ (Cuddon, 1991, S. 804) nutzen, um beispielsweise mit Klängen oder Bildern Assoziationen beim Publikum zu schaffen. Dabei ist es wichtig, dass der konkrete Kontext der Daten beibehalten wird und zur Aussage des Ergebnisses passt. „It must be possible to maintain data's critical and aesthetic underdetermination while maintaining a sense of its concrete properties (...) and context“ (Whitelaw, 2008a). Für Simanowski (2005) besteht die Herausforderung darin, die perfekte Balance zwischen Information und Poesie zu schaffen. Hierbei ist ein kreatives und künstlerisches Handeln erforderlich. Gershon & Page (2001) vergleichen die Arbeit an Visualisierungen deshalb auch mit der von Filmregisseur:innen. Es werden ähnliche Skills benötigt, um ein ausdrucksstarkes Endprodukt zu schaffen. Sie beschreiben in ihrem Artikel „What Storytelling Can Do for Information Visualization“, dass gelungenes Storytelling Daten-Visualisierungen positiv beeinflussen kann.

Manovich (2002) geht es bei guten Daten-Visualisierungen auch weniger darum, konkrete Strukturen in Datensätzen zu finden, sondern „uns andere Realitäten zu zeigen, die in unsere eigene eingebettet sind (...) um uns zu zeigen, was wir normalerweise nicht bemerken oder nicht beachten“ (S. 11). Er erinnert Visualisierungs-Künstler:innen daran, dass die Form der Kunst die Möglichkeit bietet, die menschliche Subjektivität abzubilden. Und Visualisierungen und Sonifikationen können zu einem Sprachrohr werden, um Aussagen oder Gefühle vermitteln zu können oder Denkanstöße zu liefern.

“It is its ability to put cognitive and affective modes of perception into creative tension with data structures and with each other, and to articulate the gap between the processing of data, social life, and sensory experience, that will allow visualization to reach its full potential”  
(Wright, 2008, S. 84).

In dieser Arbeit soll der künstlerische Ausdruck zunächst darin liegen, Netzwerkverkehr sichtbar zu machen, um dann Denkanstöße zur Beziehung zwischen Smartphone und Mensch anzustoßen.

## 5.2 VERSTÄNDLICHKEIT

Damit die Botschaft der Visualisierung oder Sonifikation ihre volle Bedeutung entfalten kann, sollte das Ergebnis für Betrachter:innen verständlich sein. "The critical question is how best to transform the data into something that people can understand" (Ware, 2004 S. 5). Skog et al. (2003) haben zur Überprüfung zur Verständlichkeit von Daten-Visualisierungen folgende drei Stufen festgelegt. Es soll erkannt werden, ...

1. dass etwas visualisiert wird. Personen erkennen, dass es sich um eine Daten-Visualisierung handelt.
2. was visualisiert wird. Ist erkennbar, welche Daten die Visualisierung benutzt?
3. wie etwas visualisiert wird. Können Personen die Visualisierungen richtig deuten und interpretieren?

Dabei hängt die Verständlichkeit von Daten-Visualisierungen und Sonifikationen zunächst von der Intention und Motivation des Ergebnisses ab. Wenn die Arbeit einen traditionellen oder wissenschaftlichen Kern hat, sollte darauf geachtet werden, dass alle drei Ebenen erfüllt sind. Im Falle von Skog et al. wurde eine funktionale Daten-Visualisierung untersucht, bei der Busabfahrtszeiten im öffentlichen Raum dargestellt wurden. Hierbei war es wichtig, dass alle drei Stufen verständlich für User:innen sind, damit die Anwendung richtig "benutzt" werden kann. Inwiefern diese dreistufige Verständlichkeit bei kreativen-künstlerischen Werken eine Rolle spielt, kann gerade in der Frage des Mappings unterschiedlich diskutiert werden. Durch die Arbeit mit Metaphern und Freiheiten in Designentscheidungen stellt sich die Frage, wie sehr die Zusammenhänge zwischen dem zugrunde liegenden Datensatz und dem Endergebnisses für User:innen verständlich oder einsehbar sein sollen.

Zunächst lässt sich bejahen, dass auch künstlerisch-explorative Visualisierungen und Sonifikationen als solche erkannt werden sollen. Wenn dies nicht erfüllt ist, kann auch kein weiteres Verständnis bei User:innen erzielt werden – was ohne diese Erkenntnis übrig bliebe, wäre lediglich die Wahrnehmung eines ästhetisch oder klanglich interessanten Werkes ohne Kontext. Auch das zweite Kriterium ("Ist erkennbar, welche Daten die Visualisierung nutzt?") ist von Bedeutung, um die Botschaft der Sonifikation oder Visualisierung erfassen zu können. Wie in 5.1 beschrieben, können kreative Visualisierungen ein Anliegen kommunizieren, indem sie die Daten so anzeigen, dass eine bestimmte Botschaft klar im Fokus steht. Wenn erkannt wird, welche Daten benutzt werden, ist das auch für die Vermittlung der Botschaft von Vorteil. „Trotz einer künstlerischen Ausrichtung sollte eine effektive Visualisierung dazu beitragen, Daten intuitiv verständlich zu machen, Muster schnell erkennbar zu machen und die Wahrnehmung von Zusammenhängen zu erleichtern“ (Manovich 2002). Bei der Frage, ob verständlich sein soll, wie diese Daten visualisiert werden (also wie das Data-Mapping funktioniert), gibt es unterschiedliche Meinungen. Laut Moere (2007) sei ein vollständiges Verständnis der Daten nicht immer notwendig. "Wenn das Data Mapping jedoch zu komplex oder undurchsichtig ist, wird die Interpretation erschwert" (S. 7). Auch Manovich hält fest, dass die Balance zwischen Abstraktion und Zugänglichkeit dabei eine entscheidende Rolle spielt. Andererseits kann die Mehrdeutigkeit der Daten ein zentrales Element sein, das die Interpretationsfähigkeit der Betrachter:innen fordert. Für das Publikum sei es dann wichtiger, das Anliegen der Visualisierung zu verstehen, als die Ausgangsdaten verstehen zu können (Lang 2010).

Bei allen drei Stufen spielen Semiotik und das Hintergrundwissen des Publikums immer eine Rolle. „To be able to understand the message, the viewer needs to have prior knowledge of conventions on what a sign means and what a signifier connects to a particular domain“ (Chen 2006). Um die Bedeutung von Zeichen zu verstehen, benötigen Betrachter:innen und Zuhörer:innen Vorwissen über Konventionen, die bestimmen, was ein Zeichen bedeutet und wie es mit einer bestimmten Bedeutung verbunden ist. Inwiefern das Publikum aber konkretes Verständnis von Data-Mapping Regeln haben soll, hängt vom jeweiligen Kontext, dem Ziel der Darstellung und der Rolle des Publikums ab. In dieser Arbeit ist es auch wichtig, dass die ersten beiden Stufen verständlich sind. Die Einsicht in das Data-Mapping kann gegeben werden, jedoch sollte auch ohne diese, die Botschaft vermittelt werden können.

## 5.3 ÄSTHETIK

In künstlerischen und experimentellen Kontexten spielt die Ästhetik bei der Gestaltung von Daten-Visualisierungen und Sonifikationen eine entscheidende Rolle. Der Philosoph Baumgarten (1750) definiert den Begriff der Ästhetik als die „Wissenschaft der sinnlichen Erkenntnis“. Generell wird der Begriff im Allgemeinen mit dem Konzept der Schönheit in Verbindung gebracht und beschreibt die Fähigkeit, Freude und Vergnügen hervorzurufen (Salem & Rautenberg 2005, S. 86). Im Bereich von Daten-Visualisierungen haben Cawthon & Moere (2007) in einer Studie belegt, dass ästhetisch gestaltete Visualisierungen, die Geduld der Benutzer:innen und deren Bereitschaft, mit einer Visualisierung zu interagieren, positiv beeinflusst. Eine höhere wahrgenommene Ästhetik führt demnach zu einer längeren Interaktionszeit, was die Bedeutung von Ästhetik im Designprozesses unterstreicht. Durch ästhetische Gestaltungen steigt das Interesse von Zuschauer:innen (vgl. Tateosian et al. 2007). Auch Lang (2010) pflichtet dem bei: „Je ästhetischer eine Grafik wahrgenommen wird, desto länger wird der Betrachter versuchen, die Bedeutung der Grafik zu entschlüsseln oder eine bestimmte Information zu entnehmen“ (S. 9 f.). Im Fokus von künstlerischen Visualisierungen steht jedoch immer die Absicht der Künstler:innen, ein Kunstwerk zu schaffen. Die künstlerische Visualisierung muss auch nicht schön sein, um künstlerisch zu sein (Viégas & Wattenberg 2007). Auch Roads (2001) verdeutlicht, dass eine ästhetische Philosophie nichts anderes ist, als eine Reihe von Ideen und Vorlieben, die die Entscheidungsfindung der Künstler:innen bestimmen (vgl. S. 386).

Eine Versteifung auf Ästhetik kann auch Gefahren mit sich bringen. Carroll (2015) warnt davor, dass der Fokus auf visuelle Schönheit die narrative Kraft der Daten überlagern kann und zum Selbstzweck wird: „It's possible that the translation of data, networks and relationships into visual beauty becomes an end in itself (...). But as a strategist one wants not just to see data, but to hear its story.“

Zusammengefasst ist eine Visualisierung oder Sonifikation künstlerisch, wenn sie aus der Intention der Künstler:innen entsprungen ist, Kunst zu erschaffen. Ästhetik kann einen Teil dazu beitragen, bei Zuschauer:innen mehr Aufmerksamkeit zu erregen. Die Versteifung auf eine ästhetische Visualisierung sollte jedoch im Gleichgewicht zur Botschaft und Geschichte der Daten stehen. Sack (2010) plädiert aus diesen Gründen auch deshalb dafür, dass in diesem Bereich verstärkt Ideen und Methoden aus der Konzeptkunst statt der bildenden Kunst genutzt werden sollen. Die Anforderung an eine Balance zwischen Ausdruck und Ästhetik, soll bei der Ausarbeitung dieses Projekts berücksichtigt werden.

Wie im visuellen Bereich auch, lässt sich in der Klanggestaltung von Sonifikationen ebenfalls die Frage nach Ästhetik und Musikalität stellen (Barrass & Vickers 2011, S. 165.). Sonifikationen gibt es in vielen verschiedenen Stilen mit unterschiedlichen Klangtechniken, die jeweils ihre eigene spezifische Ästhetik haben können (Barrass & Vickers 2011, S. 162). Wie auch bei Visualisierungen, ist es ratsam, so weit wie möglich ästhetisch ansprechende (musikalische) Klanglandschaften zu entwerfen und gleichzeitig die beabsichtigte Botschaft zu vermitteln (Walker & Nees 2011, S. 27). Musikalische Klänge die von einem Synthesizer erzeugt werden, haben zum einen ein komplexeres Spektrum als reine Sinuswellen, wodurch sie auch für Hörer:innen angenehmer und leichter wahrzunehmen sind (Ramloll et al. 2001, S. 3, Brown et al. 2003, S. 1). Das führt dann wieder zu einer besseren Zugänglichkeit und einer höheren Interaktionsbereitschaft eines Publikums. Für Vickers & Hogg (2006) ist es für die Entwickler:innen von Sonifikationen nicht wichtig, wie „musikalisch“ ihr Werk klingt, sondern wie einfach sie es dem Publikum machen, aufmerksam zuzuhören.

Dabei ist wichtig zu beachten, dass das Gehör gemäß Leplâtre & McGregor (2002) ästhetische und funktionale Eigenschaften nicht voneinander trennen kann (S. 1). Das heißt, dass im akustischen Bereich Ästhetik- und Informationsempfinden sehr eng miteinander verwoben sind, was bei der Erstellung von Sonifikationen beachtet werden sollte. Gerade in Situationen, in denen die akustische Ausgabe länger andauert, ist es wichtig zu vermeiden, dass sich Hörer:innen nicht genervt oder ermüdet fühlen (Vickers 2011, S. 482).

Insgesamt kommt es bei den Anforderungen an Sonifikationen auf eine Mehrschichtigkeit im Schaffensprozess an. Barrass & Vickers schlagen vor, dass in Sonifikationen die Funktionalität von Informationsdesign mit dem ästhetischen Empfinden der Klangkunst verbunden wird (S. 162). Denn Sonifikationen können nicht nur als Datenrepräsentationen betrachtet werden, sondern auch als ästhetische und wahrnehmungsorientierte Klangkunst (Vickers 2011). Vickers ist der Meinung, dass eine Unterscheidung zwischen Musik und Sonifikation nicht zielführend sei und mit Design Thinking und interdisziplinären Ansätzen bestehe viel Spielraum, um wirksame und überzeugende Sonifikationen zu entwerfen (S. 165).

Insgesamt sind die Herausforderungen an die Gestaltung künstlerischer Daten-Visualisierungen vielschichtig. Sie bestehen darin, ein Gleichgewicht zwischen Ästhetik, Zugänglichkeit und Botschaft/Narrativ zu finden und diese Faktoren entsprechend auch in ihrer Wechselwirkung zu berücksichtigen. So können Daten in einem neuen Licht erscheinen und zum Nachdenken anregen, ohne ihre Botschaft oder ihre Funktionalität zu verlieren und dabei noch eine ästhetische Erfahrung bieten. Eine Daten-Visualisierung oder Sonifikation, die nicht verständlich ist, beinhaltet für ein Publikum keine Botschaft oder Funktionalität. Dabei kann ein klares Narrativ oder eine Botschaft, die aus den Daten hervorgeht, die Essenz einer ansprechenden Visualisierung oder Sonifikation sein. Eine unästhetische oder unbefriedigende Darstellung sorgt dafür, dass der Inhalt zwar verständlich sein kann, aber die Hürde, sich darauf einzulassen, weitaus höher als bei ästhetischen Werken ist.



# 6. INTERAKTIVITÄT IN SONDERKATIONEN & VISUALISIERUNGEN

Sonifikationen und Visualisierungen interaktiv zu gestalten, eröffnet die Chance, Daten gleichzeitig erlebbar und verständlich zu machen. Nutzer:innen können nicht nur statische Darstellungen betrachten, sondern aktiv mit dem Datensatz interagieren, verschiedene Parameter anpassen oder unterschiedliche Perspektiven einnehmen (Moere 2007, S. 4).

Diese Interaktivität kann auf mehreren Ebenen erfolgen. Hunt & Hermann (2011, S. 289) unterscheiden dabei in zwei zentrale Interaktionsformen: die interaktive Datenauswahl, bei der Nutzer:innen bestimmen, welche Teile des Datensatzes sonifiziert werden, und die Mapping-Interaktion, bei der Anpassungen an den Zuordnungen oder Mapping-Parametern vorgenommen werden. In beiden Fällen ermöglicht Interaktivität eine tiefere und individuellere Datenexploration. Beim interaktiven Parameter Mapping, z.B. durch Anpassung von Skalierungsfaktoren oder Zuordnungen, können Nutzer:innen direkt Einfluss auf die Sonifikation nehmen (Hermann 2008). Ein großer Vorteil von interaktiver Sonifikation ist es, dass sie es Nutzer:innen erlaubt, Daten sofort verkörpert zu erleben. Der Klang entsteht als direkte Reaktion auf ihre Aktionen, wodurch die Sonifikation als kausales, also als zusammenhängendes Ereignis wahrgenommen wird (Vickers et al. 2017, S. 17). Diese Form der Interaktion mit Klang ist intuitiv und bietet eine Möglichkeit für explorative Datenanalyse. Zudem zeigen Zalada & Çamci (2024), dass interaktive Datenrepräsentationen den Zugang zu komplexen Datensätzen erleichtern und insbesondere für Laien neue Perspektiven auf Daten ermöglichen. Indem Nutzer:innen direkt in die Gestaltung akustischer oder visueller Datenrepräsentationen eingebunden werden, wird die Analyse nicht nur zugänglicher, sondern auch erfahrbarer. Interaktive Systeme können jedoch auch Herausforderungen bergen, da Zuhörer:innen nicht immer erkennen können, ob eine Klangveränderung durch die Daten oder durch Nutzerinteraktionen ausgelöst wurde, kann die Nachvollziehbarkeit der Sonifikation eingeschränkt sein (Hunt & Hermann 2011, S. 289).

Dies wirft die Frage auf, inwiefern diese Form der Interaktivität auch in der Sonifikation und Visualisierung von Handy-Daten sinnvoll genutzt werden kann. Menschen interagieren mit kaum einem Gerät so häufig wie mit ihrem Smartphone. Ständig werden Nachrichten verschickt, Apps geöffnet und unbewusst Daten generiert. Gerade im Kontext dieses Projekts, das sich mit den Daten von Smartphones beschäftigt, könnte eine interaktive Gestaltung dazu beitragen, Nutzer:innen die Allgegenwärtigkeit dieser Daten erfahrbar zu machen und dabei eine aktive Erforschung zu ermöglichen. Dies könnte sich die Reflexion über digitale Überlastung und die Allgegenwärtigkeit des Handys verstärken.



*Abbildung 5: Omnipräsentes Smartphone*  
*Quelle: Eigene Darstellung*

# Z. PRAXISTEL: KONZEPTION UND UMSETZUNG DIGITAL OVERLOAD

Das Projekt trägt den Namen „DIGITAL ØVERLOAD“, da das Ziel ist, abstrakte Netzwerkdaten des Smartphones - die weder sichtbar noch greifbar sind - erfahrbar zu machen und die Beziehung des Menschen zu Smartphones reflektieren, indem sie ein ambivalentes Gefühl zwischen Faszination und Überforderung erzeugen.

## 2.1 AUSSTELLUNGSKONTEXT

Der künstlerische Rahmen, der für diese Arbeit gewählt wurde, ist die Umsetzung einer Sonifikation in Form einer Sound-Installation. Da verschiedene Präsentationsformen für die Vermittlung des Themas denkbar waren, soll kurz erläutert werden, warum die Entscheidung auf eine Sound-Installation fiel und nicht etwa auf eine Live-Performance. Eine Sound-Installation ermöglicht es, den Fokus gezielt auf das Smartphone zu lenken. Wird dieses in einem Raum mit Lautsprechern ausgestellt, können Zuschauer:innen eine direkte Verbindung zwischen Klang und Smartphone herstellen. Ein Smartphone im Sperrzustand, das über mehrere Stunden beispielsweise an der Wand angebracht ist, verdeutlicht die Dauerpräsenz des Geräts und übersetzt sie in ein akustisches Signal. Da die Daten und das Smartphone selbst die zentralen Protagonisten des erzeugten Klangs sind, wurde bewusst gegen eine Performance entschieden. Diese hätte den Fokus zu stark auf die performative Handlung gelegt – die Installation kann die Autonomie der Daten besser transportieren. Die Sound-Installation bietet zudem das Potenzial, in Folgearbeiten durch eine Visualisierung erweitert zu werden und eine immersive Perceptualization zu schaffen. Eine Möglichkeit der Interaktion ist dabei jedoch eingeschränkt.

## 2.2 ZIELSETZUNG AN DIE UMSETZUNG

### AUSDRUCK:

Das Ziel des Projekts ist es, die Allgegenwärtigkeit des Smartphones erlebbar zu machen, um die Beziehung zwischen Mensch und Handy auf eine neue Weise zu reflektieren. Hierfür war das Ziel, eine Perceptualization zu erstellen, bei der das Handy klar im Fokus steht und eigenständig ein audiovisuelles Erlebnis steuert. Dabei steht im Vordergrund, ein System zu schaffen, das selbstständig die Klänge erzeugt. Diese Autonomie, die das Handy in dem geschaffenen Werk einnimmt, soll die Realität widerspiegeln, in der Smartphones oft eine Art Eigenleben entwickeln scheinbar Kontrolle über Menschen gewinnen können. Das künstlerische Ziel ist es, das Smartphone als Protagonisten zu inszenieren, welcher ständige Präsenz im Raum zeigt und scheinbar nie still ist. Dabei soll eine Installation entstehen, bei der Menschen ein Gefühl zwischen Faszination, Unruhe und Begeisterung empfinden können.

### ÄSTHETIK:

Um dieses Gefühl vermitteln zu können, soll ein Ergebnis geschaffen werden, das nicht nur auf klanglicher Ebene, sondern auch als Gesamtkunstwerk, das Thema eindrücklich transportiert. Es soll eine Balance geschaffen werden, bei der die Dauerpräsenz des Smartphones einerseits für Zuhörer:innen verständlich ist, während der Sound gleichzeitig die Gefühle, die mit der Thematik einhergehen, bestmöglich überträgt. Dabei soll Klang entstehen, der klar auf das Handy zurückzuführen ist und die Daten wahrheitsgetreu wiedergibt sowie Informationen über den aktuellen Datenverkehr preisgibt. Da funktionale und ästhetische Eigenschaften jedoch nicht getrennt voneinander wahrgenommen werden (Leplâtre & McGregor 2002), muss auch auf eine ästhetische Darstellungsform geachtet werden, um den Hörer:innen die Auseinandersetzung mit der Installation zu vereinfachen und eine Form von Anziehungskraft zu erzeugen.

Der Sound soll trotzdem passend zum Thema sein. Ziel ist es deshalb, einen dynamischen, elektronisch-technischen Sound zu erzeugen, der es schafft, immer wieder die Aufmerksamkeit der Zuhörer:innen auf sich zu ziehen.

In der Konzeptionsphase war es wichtig, sich mit der Frage auseinanderzusetzen, wie digitale Überlastung klingen könnte. Die Beantwortung der Frage half dabei, die Charakteristik des Sounds zu bestimmen und erste Vorstellungen von einem möglichen Endprodukt zu entwickeln. Die Open-AI ChatGPT assoziert den Klang digitaler Überlastung beispielsweise mit ständigem Pingen, anhaltendem Rauschen, nervösen Ticken, Verzerrungen, zu vielen Effekten und hoher BPM. (OpenAI, ChatGPT, 2025, „Wie klingt digitale Überlastung“, Anhang).

Da digitale Überlastung vielschichtig ist, bestand die Idee, den Sound auch mehrdimensional zu gestalten. Das Gefühl der digitalen Überlastung kann verschiedene Auswirkungen haben, wie Müdigkeit, Unkonzentriertheit, Fear of Missing Out (FOMO) und Schlaflmangel. Diese Empfindungen sind jedoch sehr subjektiv und unterschiedlich. Darüber hinaus sind auch die Einflüsse von Klang auf Stimmungen sind sowohl persönlich als auch kulturell geprägt. Was in einer Kultur als harmonisch empfunden wird, kann in einer anderen unangenehm wirken (vgl. Huron, 2016, S. 235).

Sollte digitale Überlastung eher laut und stressig klingen oder entspricht sie eher einem andauernden Grundrauschen? Eine elektronische Klangcharakteristik kann eine direkte Analogie zwischen Sound und den digitalen Daten bilden. Da Smartphones digitale Datenträger sind, ist es naheliegend, dass die Vertonung ebenfalls einen elektronischen-synthetisierten Charakter hat und auf natürliche Klänge verzichtet. Die Allgegenwärtigkeit des Handy kann gut durch einen stetigen, unnatürlichen, elektronischen Sound übersetzt werden, der immer in Bewegung ist. Hierbei kann die Arbeit mit verschiedenen Tempi entscheidend sein, mal fließt der Datensatz schneller, mal langsamer. Das Thema Reizüberflutung kann akustisch so übersetzt werden, dass eine spürbare Veränderung wahrgenommen wird. Dazu könnte der Sound etwa hochfrequenter, dynamischer sein oder sich in der Klangfarbe verändern. Das Ziel der klanglichen Ästhetik in dieser Arbeit ist es, vielschichtige Sounds elektronischen Charakters zu erschaffen, die dynamisch und dauerhaft präsent sind, jedoch nicht sofort abschreckend wirken, sondern eher mysteriös und faszinierend klingen. Dabei soll der Sound Assoziationen erzeugen, die zum einen mit der technischen Natur digitaler Daten verbunden werden können und zum anderen interessante Klangentwicklungen bieten, die in den Datenflüssen verborgen liegen.

## VERSTÄNDLICHKEIT:

Um sicherzustellen, dass die Sonifikation von Betrachter:innen als solche erkannt und verstanden wird, sollte der Aufbau der Installation sorgfältig geplant werden. Hierfür kann ein Erklärungstext hilfreich sein, der die Funktionsweise der Installation verständlich erläutert. Dieser Text sollte den Besucher:innen bereits vorab vermitteln, dass es sich um eine Echtzeit-Vertonung der Handydaten handelt, die direkt vor Ihnen präsentiert wird. Nach dem Lesen sollte die Sonifikation idealerweise selbsterklärend sein und die Botschaft klar transportieren.

Dieser Erklärungstext lautet:

„D1GITAL ØVERLØAD verwandelt in Echtzeit Hintergrunddaten eines Smartphones in Klang. Die Basis dafür schaffen Netzwerkdaten, die generativ einen Wavetable-Synthesizer steuern. Die Installation lädt dazu ein, die ständige Präsenz und den Einfluss von Smartphones zu reflektieren. Sie macht hörbar, wie unsere hypervernetzte Welt die Stille verdrängt und ständig Bewegung erzeugt. Diese Installation präsentiert den Klang einer Realität, in der Daten niemals ruhen.“

Zudem kann die Installation im persönlichen Austausch mit Interessierten tiefgehender diskutiert werden. Mit der Installation sollen Menschen angesprochen werden, die sich für Kunst, Wissenschaft und Technologie interessieren. Gleichzeitig kann D1GITAL ØVERLØAD auch eine breite Öffentlichkeit ansprechen, da das Smartphone als Massenmedium nahezu von der gesamten Bevölkerung genutzt wird und dessen Präsenz uns alle im Alltag beeinflusst.

Zusammengefasst sind die Ziele an die Umsetzung:

- Netzwerkaktivitäten des Smartphones hörbar und spürbar machen und dadurch eine Auseinandersetzung mit der Beziehung zwischen Mensch und Maschine anregen
- Ein generatives und autonomes Systems erschaffen, das vollständig datengesteuert ist
- Ein präzises Echtzeit-Data-Mapping entwickeln, das den Datenverkehr auditiv und informativ wiedergibt

## 7.3 SETUP & SCHNITTSTELLE

In diesem Kapitel soll erklärt werden, wie die Schnittstelle zwischen Smartphone und Rechner eingerichtet wurde und wie sich diese reproduzieren lässt. Im Rahmen der Arbeit wurde ein System entwickelt, das es ermöglicht, Netzwerkdaten eines Smartphones abzugreifen und weiterzuverarbeiten. Hierfür kamen zwei Geräte des Herstellers Apple zum Einsatz: ein iPhone 11 sowie ein MacBook Air (M1, 2020). Da iOS-Geräte standardmäßig keine direkten Netzwerk-Tools unterstützen, sind spezielle Software-Tools erforderlich, um die Netzwerkdaten auf dem Rechner zu tracken. Dafür müssen deshalb die MacOS Developer Tools und Xcode installiert werden. Diese enthalten den „PacketLogger“, der es erlaubt, iPhones oder iPads über USB zu spiegeln und die Netzwerkpakete über virtuelle Schnittstellen abzugreifen. Voraussetzung dafür ist ein macOS-Rechner, da dieses Setup leider nicht unter Windows oder Linux funktioniert. Außerdem muss das verbundene iPhone im Entwicklermodus aktiviert sein, was über die Einstellungen unter „Datenschutz & Sicherheit“ im Gerät möglich ist. Gegebenenfalls ist ein Neustart des Geräts erforderlich, um den Entwicklermodus vollständig zu aktivieren. Nach erfolgreicher Aktivierung, kann das iPhone via USB-Kabel mit dem Mac verbunden werden. Sobald die Verbindung hergestellt ist, kann die virtuelle Netzwerkschnittstelle über das Terminal des Macs eingerichtet werden. Dazu wird das Tool `rfctl` verwendet, das Teil der macOS Developer Tools ist.

Um die Schnittstelle zu erstellen, muss im Terminal der folgende Befehl eingegeben werden:  
`rvictl -s <UDID>`

Die UDID ist die eindeutige Geräte-ID eines iPhones. Diese kann entweder in Xcode oder das Terminal mit folgendem Befehl gefunden werden:

```
system_profiler SPUSBDataType | grep „Serial Number“
```

Wenn der Befehl erfolgreich ausgeführt wird, erscheint eine virtuelle Schnittstelle namens `rvi0`. Diese Schnittstelle spiegelt den gesamten Netzwerkverkehr des iPhones wider und kann entweder mit externen Tools wie Wireshark oder einem Python-Skript genutzt werden. Wireshark ist ein Open-Source Programm, das zur Analyse und grafischen Aufbereitung von Datenprotokollen dient. Es bereitet die Daten übersichtlich auf und ermöglicht die Nutzung spezifischer Filter, die auf die jeweiligen Protokolle angepasst sind. Python ist eine universelle Programmiersprache. Zu Beginn der Entwicklung wurde mit Wireshark als Tool gearbeitet, um den Netzwerkverkehr zu überwachen und zu analysieren. Dabei wurde zunächst versucht, die Protokolle aus Wireshark in Live-CSV-Dateien zu speichern und anschließend in ein Python-Skript zu übertragen. Allerdings erwies es sich als besser und einfacher, direkt in Python auf die virtuelle Schnittstelle `rvi0` zuzugreifen und diese weiterzuverarbeiten.

Für das weitere Vorgehen ist ein Kommandozeilenwerkzeug namens TShark nötig. Dieses Tool ist Teil der Wireshark-Software und dient zur Analyse von Netzwerkpaketen. Während Wireshark eine grafische Benutzeroberfläche bietet, ist TShark auf die Arbeit im Terminal ausgelegt, weshalb es ideal mit Python-Skripten verwendet werden kann. Python-Bibliotheken wie PyShark nutzen TShark im Hintergrund, um Datenpakete in einer für Python verständlichen Form bereitzustellen. TShark ist also die Schnittstelle zwischen der Netzwerkschnittstelle `rvi0` und dem Python-Skript. Es decodiert und analysiert die Netzwerkpakete und stellt sie in einem strukturierten Format bereit. TShark ist in der Wireshark-Installation enthalten und kann auf der offiziellen Website heruntergeladen werden. Um die Schnittstelle zu TShark bereitzustellen, muss PyShark separat installiert werden:

```
pip3 install pyshark
```

Mit diesen Schritten ist die Umgebung für die Nutzung von Python und TShark zur Netzwerkdatenanalyse vollständig eingerichtet. Ab diesem Zeitpunkt können Skripte live in Python ausgeführt werden, während die virtuelle Netzwerkschnittstelle `rvi0` aktiv ist.

Wenn die virtuelle Schnittstelle nicht mehr benötigt wird, kann sie mit folgendem Befehl im Terminal wieder entfernt und somit die Aufzeichnung gestoppt werden:

```
rvictl -x <UDID>
```

## 7.4 DATENEXTRAKTION

Wenn diese Schritte abgeschlossen wurden, lassen sich die Echtzeit-Smartphonedata auf dem Rechner in Wireshark beobachten. Bei der Erstellung des Skripts zur Netzwerkverkehrsanalyse sowie bei Debugging-Schritten kam ChatGPT als unterstützendes Tool zum Einsatz.<sup>2)</sup> Wie in Kapitel 4.3.3 beschrieben, müssen die Daten zunächst analysiert und vorbereitet werden. Weil die Datenmengen, die es zu analysieren gilt, sehr groß sind, ist es notwendig, Datenpakete und Werte zu filtern sowie zu versuchen sinnvolle Beziehungen aus den Daten abzuleiten. Für die Sonifikation aus dem Netzwerkprotokoll wurden die folgenden Daten im Python-Skript gefiltert und ausgewählt.

### DNS-ANFRAGEN:

Wie in Kapitel 4.1.3 bereits erläutert, ist DNS (Domain Name System) das „Telefonbuch des Internets“. Jedes Mal, wenn eine Website oder ein Online-Dienst aufgerufen wird, sendet das Gerät eine DNS-Anfrage, um die zugehörige IP-Adresse zu ermitteln. DNS-Anfragen werden im Netzwerk über UDP gesendet, weshalb das Skript genau diesen Verkehr überwacht. Beispielsweise wird beim Öffnen von [instagram.com](https://www.instagram.com) eine DNS-Anfrage an einen Server gesendet, der die Domain in eine IP-Adresse übersetzt. Diese Variable wurde gewählt, weil sich DNS-Anfragen gut eignen, um zu zeigen, wie viel Online-Interaktion insgesamt stattfindet – beim Wechseln zwischen Apps oder bei automatisierten Hintergrundprozessen. Dies kann eine Überflutung durch digitale Reize veranschaulichen.

Dabei wird zunächst die Anzahl aller DNS-Anfrage im erfassten Zeitraum durch die Variable `dns_requests_count` gezählt. Darüber hinaus wird die Anzahl der DNS-Anfragen zu bestimmten sozialen Medien wie Meta, Google, etc. in `dns_requests_social_media` gespeichert. Dadurch kann analysiert werden, welche Plattformen aktiv genutzt werden. Ein hoher Anteil an Anfragen zu Social-Media-Plattformen könnte darauf hinweisen, dass das Gerät (und damit der Nutzer) stark in soziale Netzwerke eingebunden ist. Plötzliche Anstiege an DNS-Anfragen deuten darauf hin, dass in kurzer Zeit viele Dienste angefragt werden und symbolisieren die digitale Reizüberflutung.

### Datenverkehr und Übertragungsraten:

Um den Datenverkehr und die Übertragungsraten zu bestimmen, analysiert das Skript auch TCP-Datenflüsse. Die Variable `payload_size` speichert die Größe der erfassten Datenpakete in Byte. Dieser Wert wird genutzt, um das durchschnittliche Datenaufkommen zu berechnen. Die Variable `data_rate` berechnet die Datenrate basierend auf den erfassten Paketen innerhalb einer Zeitspanne. Sie gibt also an, wie viel Datenverkehr in einem bestimmten Zeitraum übertragen wird. Dieser Zeitraum kann beliebig definiert werden. Hohe Datenraten zeigen eine intensive Datennutzung beispielsweise durch automatische Hintergrundsynchrone oder datenintensive Apps. Dies zeigt, dass das Gerät konstant mit digitalen Inhalten beschäftigt ist. Auch wenn scheinbar keine aktive Nutzung stattfindet, zeigen niedrige, konstante Datenraten, dass das Gerät dauerhaft mit Servern kommuniziert.

2) Das gesamte Python-Skript, sowie alle anderen Dateien (Max/MSP), etc. befinden sich auf [https://github.com/davideichlerr/THESIS\\_Abgabe.git](https://github.com/davideichlerr/THESIS_Abgabe.git) sowie dem lokalen Datenträger.

Da diese Daten in Echtzeit unvorhersehbar schwanken können, waren zunächst eine Auseinandersetzung und Beobachtungen des Netzwerkverkehrs und der speziellen Daten nötig. Dabei traten immer wieder Schwierigkeiten auf, da die Übertragungsraten stetig variieren und sehr schwankende Ergebnisse lieferten. Um dem entgegenzuwirken, hat es sich bewährt die Daten im Skript in einem Zeitraum von 60 Sekunden zu normalisieren. Das heißt, dass die `data_rate` und `payload_size` auf eine Skala von 0 bis 1 umgerechnet werden, um Änderungen in der Netznutzung später leichter mappen zu können und unberechenbare Werte einzuschränken und besser nutzbar zu machen.

#### Zeitbasierte Variablen:

Abschließend beobachtet das Skript das durchschnittliche Zeitintervall zwischen zwei empfangenen Paketen `inter_packet_interval`. Wenn Pakete in schneller Folge eintreffen, bedeutet das eine intensive Datenkommunikation – etwa durch schnelle App-Interaktionen oder Hinter-

## 7.5 DATENÜBERMITTLUNG VIA OSC

Um die extrahierten Daten weiterverarbeiten zu können, wurde für dieses Projekt Open Sound Control (OSC) genutzt. OSC ist ein Kommunikationsprotokoll, das für die Übertragung von Informationen über ein Computernetzwerk genutzt wird (<https://opensoundcontrol.stanford.edu/>). Es ermöglicht die Kommunikation zwischen verschiedenen Geräten und Softwareanwendungen. Ursprünglich wurde es für die Steuerung von Musik- und Multimedia-Anwendungen entwickelt, OSC findet aber auch Anwendung in interaktiven Installationen, Sensor-Systemen und Performances. Dabei ist es nicht auf ein bestimmtes Übertragungsmedium beschränkt und kann Daten in verschiedenen Formaten wie Fließkommazahlen, Zeichenketten oder ganzen Zahlen angeben (vgl. Malloch et al. 2008, S. 408). OSC basiert auf einem Client-Server-Modell und arbeitet über das UDP-Protokoll (User Datagram Protocol). Der Sender (Client) verschickt Nachrichten mit bestimmten Adressen und Werten. Der Empfänger (Receiver) wartet auf einen definierten Port und verarbeitet die eingehenden Daten. In diesem Skript werden die Variablen aus dem Kapitel 7.3.1. – 7.3.3. über OSC an einen Empfänger (in dem Fall Max/MSP). Eine OSC-Nachricht besteht aus:

- Einer Route: Diese definiert, welcher Parameter übertragen wird (z. B. `/dns_requests/total`).
- Einem Argument: der eigentliche aktuelle Datenwert (z. B. 23 für 23 DNS-Anfragen).

Für die Einrichtung von OSC muss zunächst die IP-Adresse und der Port des Empfängers definiert werden, damit die Daten dorthin gesendet werden. Dann können die Variablen über folgenden Befehl gesendet werden:

```
client.send_message(../"dns_requests/total", dns_requests_count)
```

Damit alle OSC-Nachrichten in der richtigen Reihenfolge beim Empfänger ankommen, werden diese in `send_osc_messages()` gebündelt und dann übertragen.

## 7.6 SONIFIKATION IN MAX/MSP

Damit ist die Basis für die Sonifikation soweit geschaffen und die einzelnen Variablen können nun gemappt und schließlich in Klang verwandelt werden. Für die Sonifikation wurde das Programm Max/MSP genutzt. Max/MSP ist eine objektorientierte, visuelle Programmierumgebung, die von „Cycling 74“ entwickelt wurde. Diese Umgebung dient der Erstellung interaktiver Medien, mit Tools für Audio und Video. Dabei nutzt Max ein grafisches User Interface, statt einfacher Texteingabe. Daher ist diese Software besonders für User:innen geeignet, die keine Programmiererfahrung haben, da sie nicht durch das Schreiben von Code – sondern durch das visuelle Verknüpfen von Objekten funktioniert. Das Programm ist einem modularen Synthesizer nachempfunden, das heißt, dass Patchkabel genutzt werden, um Signale zwischen Objekten zu übertragen. Max/MSP eignet sich gut für Echtzeit-Datenverarbeitung, da es eingehende Daten direkt umwandeln und verarbeiten kann. Die eingehenden Netzwerksdaten können dynamisch in Klänge oder auch visuelle Elemente übersetzt werden.

Die extrahierten Netzwerksdaten aus Python werden über OSC an Max/MSP gesendet. Dort empfängt ein sogenanntes [udpreceive]-Objekt die Datenpakete, während ein [route]-Objekt die einzelnen Parameter ausfiltert und weiterverarbeitet. Diese Werte werden dann als Number gespeichert, um schließlich Klangparameter damit steuern zu können.

### 7.6.1 SOUND SYNTHESIS

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Begriff der Klangsynthese so verstanden, dass ein Klang „von Grund auf“ entworfen wird (Norowi 2021, S. 618). Dabei gibt es viele Möglichkeiten, Klänge zu synthetisieren: von der Kombination grundlegender Wellenformen bis hin zur Formulierung komplexer mathematischer Algorithmen, um die physikalischen Eigenschaften eines Klangs zu rekonstruieren (ebd).

#### Wavetable-Synthese:

Ein Wavetable-Synthesizer erzeugt Klänge, indem er auf vorgefertigte Wellenformen zurückgreift, die in einer Art Sound-Library gespeichert sind. Diese Wellenformen, sogenannte Wave-tables, bestehen aus kurzen, sich wiederholenden Schwingungen, die unterschiedliche Klangfarben enthalten. Statt den Klang wie bei einem klassischen Synthesizer durch das Mischen einfacher Schwingungen (z. B. Sinus- oder Rechteckwellen) zu erzeugen, liest der Wavetable-Synthesizer diese gespeicherten Wellenformen aus und spielt sie ab. Dabei kann er zwischen verschiedenen Wellenformen überblenden, was zu dynamischen, sich verändernden Klängen führt. Diese Technik wurde ursprünglich entwickelt, um mit wenig Rechenleistung eine große Vielfalt an Klängen zu erzeugen, und wird bis heute in vielen digitalen Synthesizern genutzt, da sie vielseitig und effizient ist (vgl. Shan et al. 2022; Horner & Beauchamp 2008).

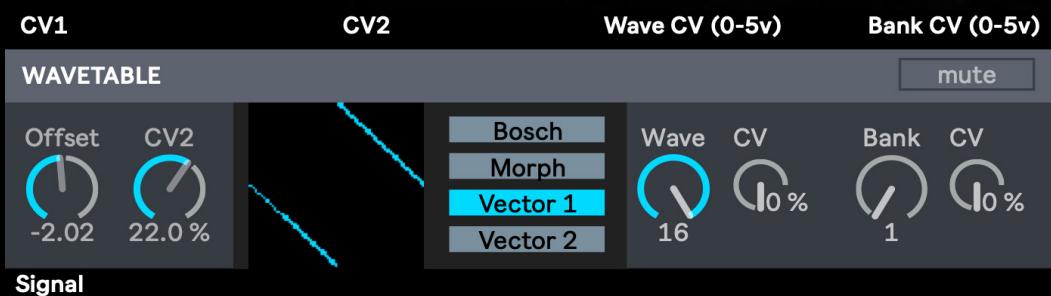


Abbildung 6: Wavetable-Synthesizer BEAP  
Quelle: Cycling 74, Max/MSP

## 7.6.2 BEAP

BEAP (Berklee Electronic Audio Prototype) ist eine Sammlung von modularen Synthesizer-Elementen und Effektgeräten innerhalb von Max/MSP (BEAP – Powerful Modules for Max for Live | Ableton. o. J.). Die Module simulieren das Verhalten von analogen Synthesizern mit digitalen Patchcords. BEAP-Objekte sind bereits in Max integriert, was die Arbeitsweise sehr vereinfacht. BEAP bietet eine Reihe von verschiedenen Objekten, von Oszillatoren, Sequencer, über Filter- und Effektgeräten, bis hin zu Audio-Mixern und LFO's. Ein Vorteil ist, dass Parameter von BEAP-Objekten leicht durch das sogenannte [pattrforward]-Objekt manipuliert werden können. Parameter und Drehregler, die üblicherweise händisch bedient werden, können durch eine Zuweisung durch [pattrforward] automatisiert von den Daten gesteuert werden. Die Nutzung und Integration von externen Plug-ins, z.B. von VST-Synthesizern oder Equalizern, ist in Max/MSP jedoch auch möglich.

## 7.6.3 UMSETZUNG DES DATA-MAPPING

In diesem Abschnitt soll erklärt werden, wie das Mapping in diesem Projekt funktioniert und wie sich der Klang auswirkt und welche Intention damit verbunden ist. Für das Mapping in diesem Projekt wurden überwiegend parameter-basierte Methoden verwendet.

### **payload\_size -> Pitch**

Dieser Wert gibt das durchschnittliche Datenaufkommen wieder. Die Payload-Size bestimmt in der Sonifikation den sogenannten „Offset“ des Wavetable-Synthesizers. Dieser beeinflusst direkt den Pitch des Klangs (siehe Kapitel 4.3.4). Je größer das durchschnittliche Datenaufkommen ist, desto höher ist die Frequenz des erzeugten Klangs. Dadurch können Hörer:innen direkt identifizieren, wie sich der Datenverkehr des Handys verändert. Hohe Frequenz wird mit mehr Aktivität assoziiert und schafft ein klares Abbild zwischen Daten und Sound.

### **data\_rate -> Timbre**

Die Data-Rate gibt an, wie viel Datenverkehr in einer bestimmten Zeitspanne übertragen wird. Dieser Wert wird im Mapping auf eine Range zwischen 1 und 16 skaliert. Sobald sich der Wert um eine Einheit erhöht oder verringert, wird die Wellenform des Wavetable-Synthesizers verändert. Daraufhin verändert sich die Klangcharakteristik (siehe Kapitel 4.3.4) des erzeugten Sounds. Dies sorgt dafür, dass wenn der Datenverkehr sehr schwankend ist, sich auch das Timbre öfter ändert. Plötzliche Änderungen im Datenverkehr

werden so direkt und hörbar gemacht, da sich die verschiedenen Klänge der Wellenformen des Synthesizers einfach und schnell differenzieren lassen.

### **inter\_packet\_interval -> Rhythmis**

Dieser Parameter, der das Zeitintervall zwischen zwei empfangenen Paketen misst, steuert die Rhythmis und Dynamik des Wavetable-Synthesizers. Die Zeit zwischen zweier Datenpakete wird direkt an die Frequenz eines Low Frequency Oscillator (LFO) gekoppelt. Ein LFO erzeugt typischerweise periodische Modulationssignale (Sinuswelle, Triangle, etc.) im nicht hörbaren Bereich unter 20 Hz. LFO's werden deshalb in der Klangsynthese dafür verwendet, verschiedene Parameter dynamisch zu verändern. Sie wirken sich zum einen auf die Gesamtklangfarbe, als auch das zeitliche Verhalten aus (Mitcheltree et al., 2024). Daraus resultiert, dass die Geschwindigkeit der Daten sich direkt klanglich abbilden lässt. User:innen können in Echtzeit das Tempo des Netzwerkverkehrs wahrnehmen. In langsameren und ruhigeren Phasen des Datenflusses verringert sich auch die Geschwindigkeit der Sonifikation, wohingegen bei höherem Datenfluss ein höheres Tempo herrscht.

Durch diese drei Parameter kann der Wavetable-Synthesizer generativ gesteuert werden. Die Daten „spielen“ sozusagen das Instrument. Dabei entsteht eine stetige Klangfläche, die in ihrem Pitch, Timbre und Tempo variiert. Dadurch, dass die Variablen selten dieselben Werte besitzen, entsteht ein Sound, der sich stetig verändert. Durch diese definierten Mapping-Rules wurden außerdem die Kriterien von Hermann (2008) an eine Daten-Sonifikation (Kapitel 2.1) erfüllt. Der entstandene Klang spiegelt objektive Eigenschaften oder Beziehungen in den Eingabedaten wider. Es ist genau definiert, wie die Daten eine Veränderung des Klangs bewirken. Die Sonifikation ist reproduzierbar, also bei gleichem Input der Variablen entsteht der gleiche Klang und das System könnte auch mit unterschiedlichen Daten verwendet werden, wenn diese entsprechend geroutet sind. Dabei wurde zudem darauf geachtet, dass Timbre, Pitch und Rhythmis sich nicht überdecken und eine deutliche klangliche Struktur entsteht (vgl. Kapitel 4.3.4).

### **dns\_requests**

Die Sonifikation der DNS-Anfragen unterscheidet sich vom parameter-basierten Mapping Ansatz. Während die Variablen der Datengröße und Datenrate sich kontinuierlich verändern, erhöhen sich die Variable dns\_request lediglich wenn eine solche im Netzwerk gestellt wurde. Um die verschiedenen Anfragen an verschiedene Server hörbar zu machen, triggern die Anfragen kurze Impulsgeräusche. Hierbei wurden zunächst beispielhaft Anfragen an Instagram und Apple getrackt und folgende 1-zu-1 Übersetzungen gewählt:

- **Pink Noise Generator:** Die Erhöhung des Werts der gesamten DNS-Anfragen löst für kurze Zeit Pink Noise aus. Pink Noise ist ein Zufallssignal mit einer spektralen Leistungsdichte, bei der jede Oktave den gleichen Anteil an Rauschleistung enthält. Pink Noise soll dem Geräusch eines Wasserfalls ähneln (Glossary: Pink Noise (o.D.) – wodurch der Datenfluss metaphorisch sonifiziert wird.
- **click~:** Durch Anfragen an Apple-Server, wird ein kurzes Impulsklicken getriggert.
- **Kammfilter:** Hier wurde der Parameter eines Kammfilters automatisiert, um durch dessen Bewegung einen Tweak-Sound beim Eintreffen einer Anfrage auf Instagram-Server zu erzeugen.

Diese Unterscheidung nach verschiedenen Servern dient im ersten Augenblick dazu beim Hören der Sonifikation, die Anfragen klanglich auseinanderhalten zu können. Darüber hinaus erweitert sie den Sound des Wavetable-Synthesizers und sorgt für eine zusätzliche Ebene im gesamten Klang. Ähnlich wie "Push-Benachrichtungen" oder kurze Reize des Smartphones, triggern sie die Nutzer:innen und erregen eine schnell Aufmerksamkeit.

Über das Mapping hinaus wurden zusätzlich Justierungen und Entscheidungen zu Gunsten der Ästhetik im Sinne von Kapitel 5.3 getroffen. Beispielsweise wird der Sound des Wavetable-Synthesizer in Max durch verschiedene Effektgeräte bearbeitet. Durch einen separaten Spur wurden ein Hall und mehrere Filter hinzugefügt, um dem Klang mehr Räumlichkeit zu geben und den Sound angenehmer zu machen, indem Störfrequenzen abgesenkt wurden. Diese Anpassung verändert die Funktionsweisen des Mappings nicht, sondern sollen zu einer ästhetischen Klang-erfahrung beitragen.

Variable	Beschreibung	gemappt auf:	Auswirkung Sound
payload_size	Größe des durchschnittlichen Datenaufkommen	Offset des Wavetable-Synthesizers	Frequenz steigt und sinkt mit Variable
data_rate	Erfasste Datenpakete in Zeitabschnitt	Bank des Wavetable-Synthesizers	Timbre ändert sich
inter_packet_interval	Zeitabstand zwischen zwei Datenpaketen	LFO-Frequenz-> Wavetable-Synthesizers	Rhythmus ändert sich
dns requests total	Alle DNS-Anfragen	White Noise Generator	kurzes Rauschen
dns_request_instagram	DNS-Anfragen an Instagram	Kammfilter-Automation	kurzer Sweep
dns_request_apple	DNS-Anfragen an Apple	Impuls Klicken	kurzes Klicken

Tabelle 1: Ausgearbeitetes Data-Mapping in der Übersicht

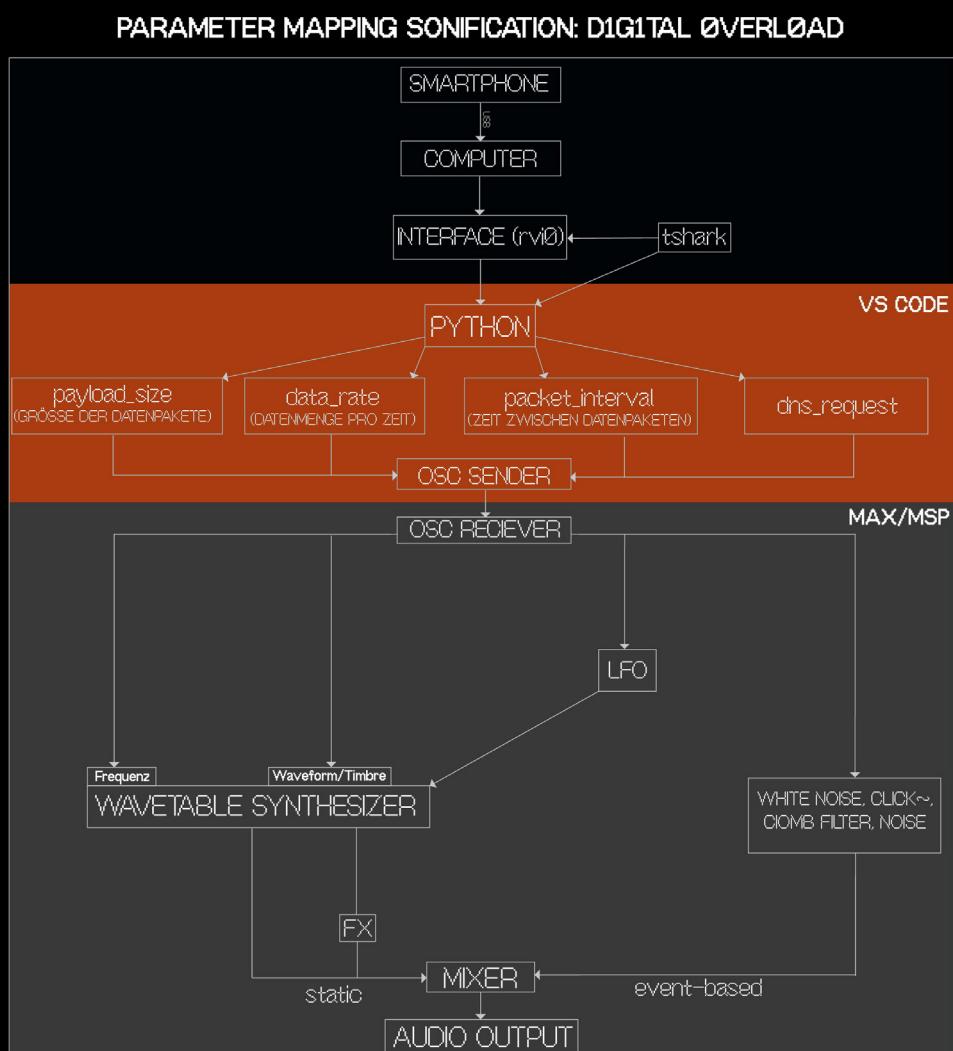


Abbildung 7: Übersicht Parameter Mapping Sonification - D1G1TAL ØVERLOAD  
Quelle: Eigene Darstellung

## 7.7 ENDPRODUKT

Ein Anwendungsvideo und ein Trailer können auf dem lokalen Datenträger und unter folgenden Links abgerufen werden:

Trailer: <https://youtu.be/qjVlcFDEy4>

Showcase: <https://youtu.be/OpckFu9SGIw>

Die Sonifikation wurde im Rahmen der Werkschau an der Hochschule Furtwangen ausgestellt. Das Smartphone wurde an einer Wand befestigt, daneben wurden zwei Lautsprecher aufgestellt, die den Echtzeit-Sound ausgeben. Zusätzlich wurden Kopfhörer bereitgestellt, um ein noch näheres Erlebnis zu ermöglichen.



Abbildung 8: Ausstellung Werkschau  
Quelle: Eigene Darstellung

## 7.8 REFLEXION UND EVALUATION

In diesem Kapitel soll die entstandene Arbeit in einen Kontext eingeordnet und kritisch betrachtet werden. Es soll bewertet werden, inwieweit die Ziele erreicht wurden – unter Berücksichtigung der Anforderungen an Ausdruck, Verständlichkeit und Ästhetik der kreativen Daten-Sonifikationen.

Ein Ziel der Arbeit war es, ein generatives und autonomes System aufzusetzen, das ausschließlich datengesteuert ist und das durch präzises Data-Mapping Aufschlüsse über den zugrunde liegenden Datensatz gibt. Diese Repräsentation des Netzwerkverkehrs in Echtzeit insofern gelungen, dass auch ohne Bedienung des Smartphones oder genaues Hinschauen beim Hören der Sonifikation leicht festgestellt werden kann, wie der aktuelle Zustand des Datenflusses ist. Wenn viele Daten fließen, lässt sich dies durch Frequenz, Tempo und Änderungen im Klang erkennen. Bei geringem Datenverkehr ist ein langsameres Tempo und ein tieferer Sound ein passendes akustische Wiedergabe. Die Sonifikation von DNS-Anfragen in kurze akustische Signale ist dazu ein Mechanismus, der hilft zu überprüfen, wann das Smartphone auf andere IP-Adressen zugreift. Obwohl das System in einem installativen Kontext präsentiert wurde, eignet es sich auch in einem funktionalen Rahmen, beispielsweise um bei der Netzwerküberwachung des Smartphones ein besseres Situationsbewusstsein zu ermöglichen.

Ein weiteres Ziel war es auch einen Ausdruck mit der Sonifikation zu schaffen, also die Netzwerkaktivitäten des Smartphones so erfahrbar zu machen, dass eine Auseinandersetzung mit der Beziehung zwischen Mensch und Maschine angeregt werden kann. Damit die Botschaft vermittelt werden kann, muss die Installation verständlich für User:innen sein. Dabei muss nach Skog et al. (2003) zunächst verständlich sein, dass es sich um eine Daten-Sonifikation handelt, was für Daten sonifiziert werden und wie sie sonifiziert werden (siehe Kapitel 5.2.). In der Ausstellung auf der Werkschau konnte überprüft werden, ob Menschen zum einen die Botschaft oder die eigentliche Funktionsweise der Installation verstehen konnten. Da keine Umfrage zur Installation durchgeführt wurde, berufe ich mich auf das direkte Feedback und Reaktionen von Besucher:innen.

Dabei konnte folgende Erkenntnis gewonnen, wie die Installation effizient verbessert werden könnte: Interaktivität. Im Rahmen der Werkschau bediente ich persönlich das Smartphone zur Erläuterung häufig auch performativ an der Wand, um zu demonstrieren, wie sich der Klang der Installation verändert, wenn beispielsweise unterschiedliche Apps geöffnet werden. Dies führte oft zu einer unmittelbaren Form der Faszination bei den Zuschauer:innen. Da es sich um mein persönliches Smartphone handelte, war es den User:innen nicht möglich, selbst zu interagieren – hätten sie jedoch die Möglichkeit gehabt, hätten sie spielerisch und interaktiv erkennen können, dass sich der Klang auch an ihre individuelle Smartphone-Nutzung anpasst. Dies hätte es ermöglicht, die Installation auf eine neue Ebene zu heben und die Datenwelt auf explorative Weise erfahrbar zu machen. Insofern schließt sich dieses Projekt der Auffassung von Vickers et al. (2017) an, dass der große Vorteil interaktiver Sonifikation darin liegt, dass sie den Nutzer:innen die Möglichkeit gibt, Daten unmittelbar und verkörpert zu erleben. Wenn der Klang als direkte Reaktion auf die Handlungen der Nutzer:innen entsteht, kann die Sonifikation als ein kohärentes Ereignis wahrgenommen werden.

Trotz der eingeschränkten Interaktivität der Installation gelang es der Sonifikation, die Beziehung zwischen Mensch und Smartphone abzubilden. Zum einen war das Smartphone über einen Zeitraum von fünf Stunden kontinuierlich im Raum präsent – nicht nur physisch, sondern auch akustisch. Wiederholt ließ sich beobachten, dass, obwohl das Smartphone sich im Sperrzustand befand und die Datenmengen plötzlich anstiegen, die Blicke der Anwesenden direkt zum Sound und zum Smartphone gerichtet waren. Es entstand der Eindruck, dass das Smartphone absichtlich versuchte, die Aufmerksamkeit auf sich zu lenken. Dieses Phänomen war besonders interessant, da es alltäglichen Erfahrungen gleicht, in denen Push-Benachrichtigungen das Potenzial besitzen, unerwartet Ablenkung zu erzeugen. Darüber hinaus rief die Installation unterschiedliche Reaktionen bei den Betrachter:innen hervor. Einige äußerten Interesse und fanden es faszinierend, die Datenflüsse in dieser neuen Form akustisch zu erfahren. Andere beschrieben es als „gruselig“, die kontinuierlichen Datenströme in Smartphones zu hören, und zogen Parallelen zur Digitalisierung sowie ihrem eigenen Smartphone-Konsum oder weiter gefasst zur Verarbeitung personenbezogener Daten. Die Botschaft zu diesem komplexen Thema an der Schnittstelle zwischen Smartphone und Nutzer:in konnte daher auf zufriedenstellende Weise vermittelt werden.

Die Klangästhetik hat es geschafft, die Dynamik der Daten zu transportieren, passend den aktuellen Netzwerkverkehr darzustellen und die Botschaft darzustellen. Das Tempo durch den data-driven LFO schafft es, einen narrativen Spannungsbogen zu schaffen und die Änderungen im Timbre erzeugen Abwechslung. Der Klang des Synthesizers spiegelt die elektronische Charakteristik der Daten gut wider, wobei das Processing durch beispielsweise externe Plug-ins oder einen professionellen Synthesizer verbessert werden können. Auch die Arbeit mit algorithmisch festgelegten Tonleitern oder Obertonstrukturen wäre denkbar, um den Gesamtklang zu optimieren.

## 7.9 WEITERENTWICKLUNG

Das Projekt kann künstlerisch sowohl auf visueller, technischer und auditiver Ebene weiterentwickelt werden. Das geschaffene System bietet die Möglichkeit, Handy-Netzwerksdaten im kreativen Kontext auf verschiedensten Weisen nutzbar zu machen und fortzuentwickeln. Im Rahmen von DIGITAL ØVERLOAD kann zunächst noch eine Visualisierung konzipiert und umgesetzt werden, um die Sonifikation mit Bewegtbild verschmelzen zu lassen, um eine Perceptualization zu schaffen. Dabei können Daten ähnlich wie bei Sonifikation auf visuelle Parameter (R, G, B oder x, y, z) gemappt werden, oder die Visualisierung nutzt den Live-Audio-Input, um den Sound zu visualisieren. Worrall (2015) arbeitet bei Corpo Real mit einem Team zusammen, das für das Bewegtbild die Bildsoftware VVV nutzt. Die Visuals werden dabei durch Tonwiedergabeparameter gesteuert, die sie von der Beschallungssoftware in Echtzeit in einem einfachen UDP-Format erhalten. Wenn ein Audio-Ereignis ausgelöst wird, sendet die Beschallungs-Engine ein UDP-Signal an die Visualisierungs-Engine, die den vom Audio-Renderer erzeugten Audiostream analysiert und dann zur Steuerung von Bilderzeugungsalgorithmen verwendet werden (vgl. Worrall 2019, S. 257). Die Daten können auf Softwareebene auch in Max/MSP durch Jitter erzeugt werden, oder die Übertragung der Daten oder des Audiosignals in visuelle Umgebungen wie Touchdesigner oder Unity ist auch möglich. In Abbildung 7 erkennt man einen ersten Ansatz einer Visualisierung des Realtime-Sounds in Max.

Auch auf der Data-Mapping-Ebene besteht das Potenzial für Verbesserung. Durch eine Kollaboration mit IT-Expert:innen besteht die Möglichkeit, Data Flows noch präziser darstellen zu können oder zusätzliche Bedeutungen aus den Datenflüssen extrahieren zu können.

Auch in der Beschallung lassen sich über Entwicklungsmöglichkeiten in Betracht ziehen. Können 3D-Sound oder mehrere Lautsprecher die Erfahrung optimieren? Wie bereits ausgeführt, kann das Projekt durch Interaktivität erweitert werden, um die Daten auf eine eindringliche Weise transportieren zu können. Alles, was man dafür benötigt, ist ein userloses Smartphone mit einigen vorinstallierten Apps und Netzwerkzugriff, damit es in einer Installation verwendet werden kann. Auch denkbar könnte es sein, gleich mehrere Smartphones zu nutzen, um eine Art "Band" aus verschiedenen Handy-Daten spielen zu lassen.

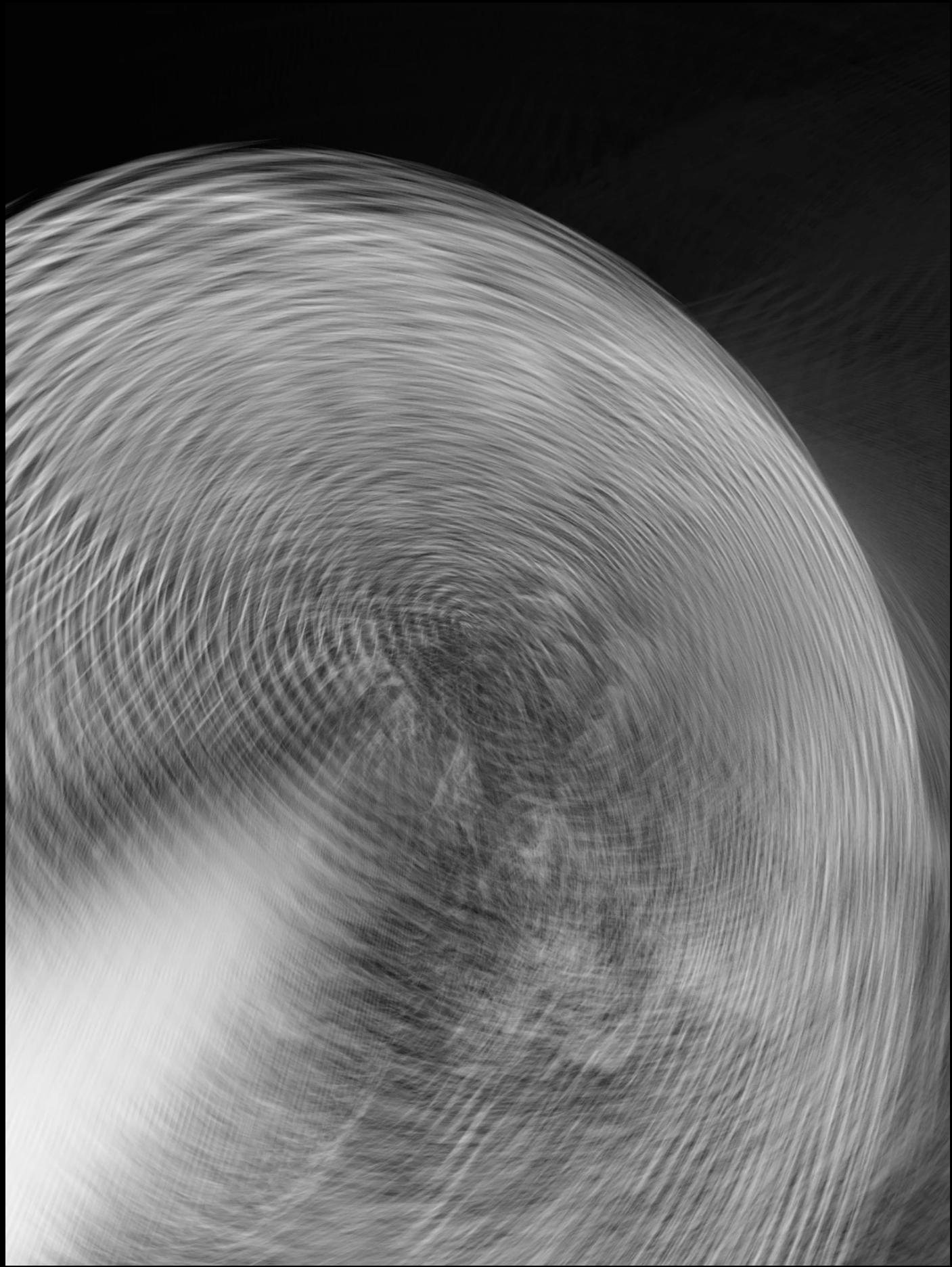


Abbildung 9: Echtzeit-Visualisierung des Realtime Sounds in Max/MSP  
Quelle: Eigene Darstellung

8. SCHLUSS

## **8 . 1 ERGEBNIS**

Diese Arbeit hat die Forschungsfrage untersucht, wie Daten-Sonifikationen genutzt werden können, um Netzwerkaktivitäten von Handys erfahrbar zu machen. Dabei wurde zunächst ein theoretischer Rahmen geschaffen, in dem die Grundlagen von Daten-Sonifikation, Daten-Visualisierung und Perceptualization dargelegt wurden und welche Anforderungen an diese bestehen. Anschließend erfolgte die praktische Umsetzung, in der zunächst eine technische Schnittstelle zwischen Handy und Rechner umgesetzt wurde. Dabei entstand ein mobiles System, das es erlaubt, verschiedene Netzwerksdaten in einem kreativen Kontext nutzbar zu machen. Danach wurden diese Netzwerksdaten mit Hilfe von überwiegend parameter-basierten Data-Mapping-Regeln sonifiziert, wodurch eine kohärente Sound-Daten-Beziehung entstanden ist. Das finale Ergebnis kann den Datensatz in seiner Dynamik in Echtzeit akustisch genau repräsentieren und unsichtbare Daten auf eine neue Weise erlebbar machen. Dabei wurde festgestellt, dass durch interaktive Elemente die Erfahrung von Nutzer:innen verbessert werden kann, da sie so Datenflüsse auch aktiv erkunden können und direktes Feedback erhalten. Die Arbeit zeigt insgesamt, dass eine auditive Präsentation von Echtzeitdaten im Ausstellungskontext eine emotionale und künstlerische Auseinandersetzung mit der Omnipräsenz von Daten ermöglichen kann. Dennoch gibt es bei der Daten-Sonifikation auch immer methodische Herausforderungen. Die subjektive Wahrnehmung von Klang kann beispielsweise die Interpretation oder Zugänglichkeit der Daten erschweren. Daten-Sonifikationen finden in einer Schnittstelle zwischen Kunst und Wissenschaft statt, was bedeutet, dass es bei der Umsetzung auch um die Abwägung der unterschiedlichen Disziplinen und Techniken geht. Dabei besteht die große Herausforderung darin, die Balance zwischen Ästhetik, Ausdruck und Verständlichkeit zu schaffen, um Daten-Sonifikationen für ein Publikum bestmöglich erlebbar zu machen.

## **8 . 2**

## **AUSBLICK & ZUKÜNTIGE FORSCHUNG**

In zukünftigen Forschungen könnte daher auch untersucht werden, inwiefern Botschaft, Ästhetik und Verständlichkeit sich in kreativen Daten-Visualisierungen und Sonifikationen gegenseitig beeinflussen. Dabei kann auch geforscht werden, inwiefern Interaktion die Verständlichkeit einer Daten-Sonifikation oder Visualisierung beeinflussen kann. Durch Studien in diesem Bereich könnte interdisziplinäre Forschung dafür sorgen, dass verschiedene Methoden oder Handlungsempfehlungen ausgearbeitet werden.

Darüber hinaus liefert diese Arbeit ein System, das als Startpunkt von Designer:innen, Kreativschaffende oder Forscher:innen genutzt werden kann. Zum einen kann die bestehende Schnittstelle für Forschungszwecke und Projekte im funktionalen oder kreativen Bereich genutzt werden, beispielsweise bei der Umsetzung neuer Perceptualizations, oder der Forschung im Bereich Cyber-Security. Zum anderen kann die Schnittstelle an sich weiterentwickelt werden, um beispielsweise auch netzwerkunabhängige Daten des Smartphones, wie Push-Mitteilungen oder Auto-Updates nutzbar zu machen. Zukünftige Forschung könnte auch untersuchen, wie unterschiedliche klangliche Darstellungsformen die Wahrnehmung von Daten-Sonifikationen beeinflussen.

# LITERATURVERZEICHNIS

- Afanador, K., Campana, E., Ingalls, T., Swaminathan, D., Thornburg, H., James, J., Mumford, J., Qian, G. & Rajko, S. (2008). On Cross–Modal Perception of Musical Tempo and the Speed of Human Movement. In R. Kronland–Martinet, S. Ystad, & K. Jensen (Hrsg.). Computer music modeling and retrieval: Sense of sounds ; 4th international symposium, CMMR 2007, Copenhagen, Denmark, August 27–31, 2007 ; revised papers. (S. 235 – 241) CMMR, Berlin Heidelberg, Springer.
- Barrass, S. & Vickers, P. (2011). Sonification Design and Aesthetics. In T. Hermann, A. Hunt, & J.G. Neuhoff. In The Sonification Handbook (S. 145 – 172). Logos.
- Baumgarten, A. G. (1750/58). Theoretische Ästhetik. Die grundlegenden Abschnitte aus der „Aesthetica“. Übersetzt und herausgegeben von H. R. Schweizer. Meiner, Hamburg 1983.
- BEAP – Powerful Modules for Max for Live | Ableton. (o. J.). Abgerufen 27. Januar 2025, von <https://www.ableton.com/de/blog/beap-powerful-modules-max-live/>
- Bly, S. (1994). Multivariate data mappings. In: Kramer G (Hrsg.) Auditory Display: sonification, audification, and auditory interfaces. Proceedings. Santa Fe Institute studies in the sciences of complexity, vol XVIII. Addison Wesley, Reading MA, S. 405-416.
- Bovermann, T., Rohrhuber, J. & de Campo, A. (2011). Laboratory Methods for Experimental Sonification In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Hrsg.), The Sonification Handbook (S. 237 – 272). Logos.
- Brazil, E. & Fernström, M. (2011). Navigation of Data In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Hrsg.), The Sonification Handbook (S. 509 – 523). Logos.
- Brown, L. M., Brewster, S.A., Ramloll, S.A., Burton, R. and Riedel, B. (2003) Design guidelines for audio presentation of graphs and tables. In: 9th International Conference on Auditory Display (ICAD), Boston, Massachusetts, 6–9 July 2003, S. 284-287. ISBN 0872701336
- Card, S. K., Mackinlay, J. D., & Shneiderman, B. (1999). Readings in information visualization. Using vision to think." Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Carroll, J. (2015, März 27). From Art to Apps: Data Visualisation finds a purpose. Jim Carroll's Blog. <https://www.jimcarrollsblog.com/blog/2015/2/24/from-art-to-apps-data-visualisation-finds-a-purpose>
- Cawthon, N., & Moere, A. V. (2007). The Effect of Aesthetic on the Usability of Data Visualization. 2007 11th International Conference Information Visualization (IV '07), 637-648. <https://doi.org/10.1109/IV.2007.147>
- Chen, C. (2003). Mapping Scientific Frontiers: The Quest for Knowledge Visualization. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5128-9>
- Chen, C. (2006). Information Visualization: Beyond the Horizon (Second Edition). Springer London. <https://doi.org/10.1007/1-84628-579-8>
- Chen, C. (2010). Information visualization. WIREs Comput. Stat. 2(4), 387-403. <https://doi.org/10.1002/wics.89>
- Contributor, S. (2020, Juni 2). 7 Besten DNS Monitoring Tools + So überwachen Sie DNS–Server | DNSstuff. Software Reviews, Opinions, and Tips – DNSstuff. <https://www.dnsstuff.com/de/dns-monitoring-software-ueberwachungstools>
- Coop, A. D. (2016). Sonification, Musification, and Synthesis of Absolute Program Music. Proceedings of the 22nd International Conference on Auditory Display – ICAD 2016, 177-183. <https://doi.org/10.21785/icad2016.030>
- Cuddon, J. A. (1991). Dictionary of Literary Terms and Literary Theory (3rd ed.). New York: Penguin Books.
- Daniels, D. & Naumann, S. (2015). Introduction. In: D. Daniels, S. Naumann & J. Thoben, J. (Hrsg.). See this sound: Audiovisuology compendium and essays (S. 5-16). Verlag Buchhandlung Walther König.

- Debashi, M., & Vickers, P. (2018). Sonification of network traffic flow for monitoring and situational awareness. *PLOS ONE*, 13(4), e0195948. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195948>
- Dudenredaktion. (o. D.). Daten. Duden online. Abgerufen am 04.12.2024, von <https://www.duden.de/node/30506/revision/1219105>
- Edwards, A. D. N. (2011). Auditory Display in Assistive Technology. In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Hrsg.), *The Sonification Handbook* (S. 431 – 453). Logos.
- Edworthy, J., Loxley, S., & Dennis, I. (1991). Improving Auditory Warning Design: Relationship between Warning Sound Parameters and Perceived Urgency. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 33(2), 205-231. <https://doi.org/10.1177/001872089103300206>
- Fekete, J.-D., van Wijk, J.J., Stasko, J.T. & North C. (2008). The Value of Information Visualization. In A. Kerren et al. (Hrsg.): *Information Visualization: Human-Centered Issues and Perspectives*. Springer Verlag.
- Ferguson, S., Martens, W. & Cabrera, D. (2011). Statistical Sonification for Exploratory Data Analysis. In T. Hermann, A. Hunt, & J.G. Neuhoff. In *The Sonification Handbook* (S. 175 – 196). Logos.
- Gershon, N., & Page, W. (2001). What storytelling can do for information visualization. *Communications of the ACM*, 44(8), 31-37. <https://doi.org/10.1145/381641.381653>
- Giot, R., Courbe, Y. (2012). InteNtion-interactive network sonification. In: Nees MA, Walker BN, Freeman J (eds) *Proceedings of the 18th international conference on auditory display (ICAD 2012)*. Georgia, USA, S. 235-236.
- Glossary: Pink Noise. Sound on Sound. Abgerufen 29. Januar 2025 von <https://www.soundonsound.com/glossary/pink-noise>
- Grond, F. & Berger, J. (2011). Parameter Mapping Sonification In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Hrsg.), *The Sonification Handbook* (S. 363 – 397). Logos.
- Grond, F. & Schubert-Minski, T. (2010). Sonification: Scientific Method and Artistic Practice. In D. Daniels, S. Naumann (Hrsg.), *Audiovisuology compendium* (S. 284–295). Verlag der Buchhandlung Walther König.
- Hermann T. (2008). Taxonomy and definitions for sonification and auditory display. In B. Katz (Hrsg.), *Proceedings of the 14th International Conference on Auditory Display*. ICAD.
- Hermann T., Hunt, A. & Neuhoff, J.G. (2011) Introduction. In *The Sonification Handbook* (S. 1 – 6). Logos.
- Horner, A. B., & Beauchamp, J. W. (2008). Instrument Modeling and Synthesis. In D. Havelock, S. Kuwano, & M. Vorländer (Hrsg.), *Handbook of Signal Processing in Acoustics* (S. 375-397). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-30441-0\\_24](https://doi.org/10.1007/978-0-387-30441-0_24)
- Huber, H. D. (2007). Visuelle Musik in der Erlebnisgesellschaft. In H. Belting (Hrsg.), *Bilderfragen* (S. 119–131). Brill | Fink. [https://doi.org/10.30965/9783846744574\\_009](https://doi.org/10.30965/9783846744574_009)
- Hunt, A. & Hermann, T. (2011). Interactive Sonification. In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Hrsg.), *The Sonification Handbook* (S. 273 – 298). Logos.
- Huron, D. (2016). Aesthetics. In: S. Hallam, I. Cross & M. Thaut (Hrsg.) *The Oxford handbook of music psychology* (Second edition, paperback) (S. 233 – 247). Oxford University Press.
- Kramer, G., Walker, B., Bonebright, T., Cook, P., Flowers, J., Miner, N. & Neuhoff, J. (2010). Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda
- Lang, A. (2010). Aesthetics in Information Visualization. In: D. Bauer, M. Sedlmair, R. Wimmer, Y.-X. Chen, S. Streng, S. Boring, A. De Luca, & A. Butz (Hrsg.), *Trends in Information Visualization*. University of Munich Department of Computer Science Media Informatics Group.

- Langlois, S., Suied, C., Lageat, T., & Charbonneau, A. (2008). Cross cultural study of auditory warnings.
- Leplâtre, G., & McGregor, I. (2004). How to Tackle Auditory Interface Aesthetics? Discussion and Case Study. ICAD 2004 - The Tenth Meeting of the International Conference on Auditory Display.
- Li, S., Deng, Y., Cai, L., & Wu, L. (2025). The relationship between smartphone addiction and sleep disorder among college students: Negative emotions as a mediator and gender as a moderator. *Frontiers in Psychiatry*, 16, 1542243. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1542243>
- Malloch, J., Sinclair, S., & Wanderley, M. M. (2008). A Network-Based Framework for Collaborative Development and Performance of Digital Musical Instruments. In R. Kronland-Martinet, S. Ystad, & K. Jensen (Hrsg.), *Computer music modeling and retrieval: Sense of sounds : 4th international symposium, CMMR 2007, Copenhagen, Denmark, August 27-31, 2007 : revised papers*. (S. 235 – 241) CMMR. Berlin Heidelberg. Springer.
- Mandl, P. (2019). *Internet Internals: Vermittlungsschicht, Aufbau und Protokolle*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-23536-9>
- Manovich, L. (2002). Data Visualisation as New Abstraction and Anti-S sublime. <http://manovich.net/index.php/projects/data-visualisation-as-new-abstraction-and-anti-sublime>
- McAdams, S., & Giordano, B. L. (2012). The perception of musical timbre (S. Hallam, I. Cross, & M. Thaut, Hrsg.; Bd. 1). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199298457.013.0007>
- Meyer, R. (2010). Knowledge Visualization. In: D. Bauer, M. Sedlmair, R. Wimmer, Y.-X. Chen, S. Streng, S. Boring, A. De Luca & A. Butz (Hrsg.), *Trends in Information Visualization*. University of Munich Department of Computer Science Media Informatics Group.
- Mitcheltree, C., Steinmetz, C. J., Comunità, M., & Reiss, J. D. (2023). Modulation Extraction for LFO-driven Audio Effects (No. arXiv:2305.13262). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.13262>
- Moore, A. V. (2007). Aesthetic Data Visualization as a Resource for Educating Creative Design. *Computer-Aided Architectural Design Futures*, S. 71-84. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6528-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6528-6_6)
- NetSon (2015, 30. März). Interview with David Worrall 2020!4/06/16 / CORPO REAL. [Video]. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=l-USNbe\\_xAo&ab\\_channel=NetSon](https://www.youtube.com/watch?v=l-USNbe_xAo&ab_channel=NetSon)
- Neuhoff, J. G. (2011). Perception, Cognition and Action in Auditory Displays In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Hrsg.), *The Sonification Handbook* (S. 63 – 85). Logos.
- Norowi, N. M. (2021) Human-Centred Artificial Intelligence in Concatenative Sound Synthesis. In: E.R. Miranda (Hrsg.): *Handbook of Artificial Intelligence for Music: Foundations, Advanced Approaches, and Developments for Creativity*. Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72116-9\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72116-9_26), S. 617 – 638).
- Poeschl, S., Wall, K., & Doering, N. (2013). Integration of spatial sound in immersive virtual environments an experimental study on effects of spatial sound on presence. *2013 IEEE Virtual Reality (VR)*, 129-130. <https://doi.org/10.1109/VR.2013.6549396>
- Ramioll, R., Brewster, S., Yu, W., & Riedel, B. (2001). Using Non-speech Sounds to Improve Access to 2D Tabular Numerical Information for Visually Impaired Users. In A. Blandford, J. Vanderdonckt, & P. Gray (Hrsg.), *People and Computers XV—Interaction without Frontiers* (S. 515–529). Springer London. [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0353-0\\_32](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0353-0_32)
- Roads, C. (2001). *Microsound*. MIT Press.
- Sack, W. (2010). Aesthetic in Information Visualization. In M. Lovejoy, C. Paul, & V. Vesna (Hrsg.), *Context Providers: Conditions of Meaning in Media Arts* (1. Aufl.). Intellect Books. <https://doi.org/10.2307/j.ctv36xvqqx>
- Salem, B., & Rauterberg, M. (2005). Aesthetics as a Key Dimension for Designing Ubiquitous Entertainment Systems. The 2nd International Workshop on Ubiquitous Homeubiquitous Society and Entertainment, S. 85-94.

- Scaletti, C. (1994). Sound synthesis algorithms for auditory data representation. In: Kramer G (ed) Auditory Display: sonification, audification, and auditory interfaces. Proceedings, Santa Fe Institute studies in the sciences of complexity, vol XVIII. Addison Wesley, Reading MA, S. 223-251.
- Serafin, S., Franinović, K., Hermann, T., Lemaitre, G., Rinott, M., Rocchesso, D. (2011). Sonic Interaction Design. In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Hrsg.), The Sonification Handbook (S. 87 – 110). Logos.
- Sethares, W. A. (2005). Tuning, timbre, spectrum, scale (Second edition). Springer.
- Shan, S., Hantrakul, L., Chen, J., Avent, M., & Trevelyan, D. (2022). Differentiable Wavetable Synthesis. ICASSP 2022 – 2022 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 4598-4602. <https://doi.org/10.1109/ICASSP43922.2022.9746940>
- Simanowski, R. (2005). The Art of Mapping Statistics: Interview with George Legrady. <https://doi.org/10.25969/MEDIAREP/17682>
- Skog, T., Ljungblad, S., & Holmquist, L. E. (2003). Between aesthetics and utility: Designing ambient information visualizations. IEEE Symposium on Information Visualization 2003 (IEEE Cat. No.03TH8714), 233-240. <https://doi.org/10.1109/INFVIS.2003.1249031>
- Sohn, S. Y., Rees, P., Wildridge, B., Kalk, N. J., & Carter, B. (2019). Prevalence of problematic smartphone usage and associated mental health outcomes amongst children and young people: A systematic review, meta-analysis and GRADE of the evidence. BMC Psychiatry, 19(1), 356. <https://doi.org/10.1186/s12888-019-2350-x>
- Stirnberg, J., Margraf, J., Precht, L.-M., & Brailovskaya, J. (2024). Problematic smartphone use, depression symptoms, and fear of missing out: Can reasons for smartphone use mediate the relationship? A longitudinal approach. Journal of Social Media Research, 1(1), 3-13. <https://doi.org/10.29329/jsomer.3>
- Tateosian, L. G., Healey, C. G., & Enns, J. T. (2007). Engaging viewers through nonphotorealistic visualizations. Proceedings of the 5th International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, 93-102. <https://doi.org/10.1145/1274871.1274886>
- TEDx Talks. (2013, 09. Dezember). Listening to data from the Large Hadron Collider | Lily Asquith | TEDxZurich [Video]. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=iQIPytKHEwY&ab\\_channel=TEDxTalks](https://www.youtube.com/watch?v=iQIPytKHEwY&ab_channel=TEDxTalks)
- Tzelgov, J., Srebro, R., Henik, A., & Kushelevsky, A. (1987). Radiation Search and Detection by Ear and by Eye. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 29(1), 87-95. <https://doi.org/10.1177/001872088702900110>
- Vickers, P. (2011). Sonification for Process Monitoring In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Hrsg.), The Sonification Handbook (S. 455 – 491). Logos.
- Vickers, P., & Hogg, B. (2006). Sonification abstraite/sonification concrete: An 'aesthetic perspective space' for classifying auditory displays in the ars musica domain. Proceedings of the International Conference on Auditory Display (ICAD2006) (pp. 210-216), London, UK.
- Vickers, P., Hogg, B., & Worrall, D. (2017). Aesthetics of sonification: Taking the subject- position. In C. Wöllner (Hrsg.) Body, Sound and Space in Music and Beyond: Multimodal Explorations (pp. 89-109). Routledge.
- Viégas, F.B., Wattenberg, M. (2007). Artistic Data Visualization: Beyond Visual Analytics. In: Schuler, D. (Hrsg.) Online Communities and Social Computing. OCSC 2007. Lecture Notes in Computer Science, vol 4564. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-73257-0\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-540-73257-0_21)
- Walker, B.N. & Nees, M. A. (2011). Theory of Sonification In T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff (Hrsg.), The Sonification Handbook (S. 8 – 41). Logos.
- Ware, C. (2004). Information visualization: Perception for design. Morgan Kaufman.
- Whitelaw, M. (2008a). Art Against Information: Case Studies in Data Practice. Fibreculture Journal, 11, S. 1-12. <http://eleven.fibreculturejournal.org/fcj-067-art-against-information-case-studies-in-data-practice/>

- Whitelaw, M. (2008b). Synesthesia and Cross-Modality in Contemporary Audiovisuals. *Senses and society*, 3, 3., 259 – 276
- Worrall, D. (2019). Sonification Design: From Data to Intelligible Soundfields. Springer International Publishing.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-01497-1>
- Wright, R. (2008) Data Visualization. Software Studies: A Lexicon. Ed. Matthew Fuller. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2008. S. 78-87.
- Zelada, E., & Çamci, A. (2024). Conveying climate data through immersive sonification and interactive plant art in Unnatural Nature. *Personal and Ubiquitous Computing*, 28(5), 745–761. <https://doi.org/10.1007/s00779-024-01807-7v>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: „net path flow“ // CORPO REAL	6
Abbildung 2: „3am chill“ / CORPO REAL	6
Abbildung 3: Präattentive Erkennung eines farbigen Objekts	12
Abbildung 4: „Unnatural Nature“	21
Abbildung 5: Omnipräsentes Smartphone	35
Abbildung 6: Wavetable-Synthesizer BEAP	44
Abbildung 7: Übersicht Parameter Mapping Sonification – DIGITAL OVERLOAD	47
Abbildung 8: Ausstellung Werkschau	48
Abbildung 9: Echtzeit-Visualisierung des Realtime Sounds in Max/MSP	51

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Ausgearbeitetes Data-Mapping in der Übersicht	47
--	----

## HILFSMITTELVERZEICHNIS

ChatGPT (4.0), Open AI	Erarbeitung des Python Skripts und Debugging
DeepL Übersetzer	Übersetzung von Quellen

# ANHANG

OpenAI. (2025). ChatGPT [Großes Sprachmodell]. <https://chat.openai.com/chat>

Wie klingt digitale Überlastung?

Digitale Überlastung klingt je nach Perspektive ganz unterschiedlich:

- ⌚ **Akustisch:** Ein ständiges Ping von Nachrichten, E-Mail-Benachrichtigungen, Kalendererinnerungen, Social-Media-Alerts und Hintergrundgeräusche aus Videocalls – ein chaotisches, nie endendes Sounddesign des digitalen Alltags.
- 🧠 **Mental:** Ein inneres Rauschen aus unerledigten Aufgaben, parallelen Gedankenströmen und dem Gefühl, nie wirklich abschalten zu können. Wie ein Radio, das auf mehreren Frequenzen gleichzeitig sendet.
- 🔥 **Emotional:** Stress klingt nach einem hohen, unaufhörlichen Summen, vielleicht einem nervösen Ticken. Das Gefühl, dass alles zu viel ist, könnte sich anhören wie ein verzerrtes, übersteuerndes Signal, das irgendwann nur noch rauscht.
- 🎵 **Musikalisch:** Vielleicht wie ein elektronisches Stück mit zu vielen Layern, zu vielen Effekten und einer BPM-Zahl, die das Herz schneller schlagen lässt.

Woran denkst du, wenn du an den Klang digitaler Überlastung denkst?

Konversation nachzulesen unter:

<https://chatgpt.com/share/67ab4943-d9a0-8010-9c5d-ca041ca8ebb9>

# VERSICHERUNG ÜBER REDLICHES WISSENSCHAFTLICHES ARBEITEN

Hiermit versichere ich, David Eichler, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und erstellt habe. Ich versichere, dass ich nur zugelassene Hilfsmittel und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ferner versichere ich, dass ich alle wörtlich oder sinngemäß übernommenen Stellen in der Arbeit gemäß gängiger wissenschaftlicher Zitierregeln korrekt zitiert und als solche gekennzeichnet habe. Darüber hinaus versichere ich, dass alle verwendeten Hilfsmittel, wie KI-basierte Chatbots (bspw. ChatGPT), Übersetzungs- (bspw. DeepL), Paraphrasier- (bspw. Quillbot) oder Programmier-Applikationen (bspw. Github Copilot) vollumfänglich deklariert und ihre Verwendung an den entsprechenden Stellen angegeben und gekennzeichnet habe.

Ich bin mir bewusst, dass die Nutzung maschinell generierter Texte keine Garantie für die Qualität von Inhalten und Text gewährleistet. Ich versichere, dass ich mich textgenerierender KI-Tools lediglich als Hilfsmittel bedient habe und in der vorliegenden Arbeit mein gestalterischer Einfluss überwiegt. Ich verantworte die Übernahme jeglicher von mir verwendeter maschinell generierter Textpassagen vollumfänglich selbst.

Auch versichere ich, die „Satzung der Hochschule Furtwangen (HFU) zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ vom 27. Oktober 2022 zur Kenntnis genommen zu haben und mich an den dortigen Ausführungen zu orientieren.

Mir ist bewusst, dass meine Arbeit auf die Benutzung nicht zugelassener Hilfsmittel oder Plagiate überprüft werden kann. Auch habe ich zur Kenntnis genommen, dass ein Verstoß gegen § 10 bzw. § 11 Absatz 4 und 5 der Allgemeinen Teile der HFU-SPOen zu einer Bewertung der betroffenen Arbeit mit der Note 5 oder mit «nicht ausreichend» und/oder zum Ausschluss von der Erbringung aller weiteren Prüfungsleistungen führen kann.

Furtwangen, 26.02.2025



Ort, Datum

Unterschrift