



Bachelorarbeit

Im Studiengang Audiovisuelle Medien

**Das Sound-Design und die Aurale Architektur immersiver Räume:
Eine Analyse der Gestaltungswirkung am Beispiel von Ex-Libris**

Vorgelegt von

Philine-Marie Strücker

Matrikelnummer 43296

an der Hochschule der Medien am 25.02.2026

zur Erlangung des akademischen Grades eines Bachelor of Engineering (B. ENG.)

Erst Prüfer: Prof. Oliver Curdt

Zweit Prüfer: Moritz Stuhlfauth


Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Philine-Marie Strücker, ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel: „Das Sound-Design und die Aurale Architektur immersiver Räume: Eine Analyse der Gestaltungswirkung am Beispiel von Ex-Libris“ selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Ebenso sind alle Stellen, die mit Hilfe eines KI-basierten Schreibwerkzeugs erstellt oder überarbeitet wurden, kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.“

Ich habe die Bedeutung der ehrenwörtlichen Versicherung und die prüfungsrechtlichen Folgen

(§ 24 Abs. 2 Bachelor-SPO, § 23 Abs. 2 Master-SPO (Vollzeit)) einer unrichtigen oder unvollständigen ehrenwörtlichen Versicherung zur Kenntnis genommen.

Kornwestheim, 25.02.2026
Ort, Datum


Unterschrift

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Frage, welchen Einfluss die auditive Gestaltung und die aurale Architektur in immersiven Räumen auf das Besuchererlebnis und die Nutzerinteraktion haben. Am Beispiel der Installation „Ex-Libris“ wird analysiert, wie durch den gezielten Einsatz von Punktquellen eine narrative Umgebung geschaffen wurde.

Ein zentraler Fokus der Arbeit liegt auf der technischen Realisierung dieser immersiven Umgebung. Mit Hilfe von einem Dante-System, das wie ein digitales Nervensystem funktioniert, konnte jeder der Lautsprecher als präzise Punktquelle angesteuert werden. In Kombination mit der Moltonauskleidung des Raums konnte das gesamte menschliche Hörspektrum von 16 Hz bis 20 kHz genutzt werden. Durch Methoden wie die Sonifikation wurden Inhalte in Klänge übersetzt und über Triggerpunkte im Raum gesteuert. Die akustische Gestaltung basiert auf dem Einsatz von Auditory Icons und Earcons, um die Umgebung gleichzeitig real und magisch wirken zu lassen.

Da die Installation zu dem Zeitpunkt der Untersuchung physisch nicht mehr existierte, basiert diese Analyse auf einer retrospektiven Auswertung. Anhand von Plänen, Bildern sowie Beobachtungen und Erinnerungen aus der Zeit der Ausstellung konnte die Wirksamkeit des Designs und das Zusammenspiel der technischen Details im Nachhinein bewertet werden.

Die Arbeit macht deutlich, dass Immersion kein Zufall ist. Sie ist das Ergebnis aus präziser Planung und perfekt an den Raum angepassten Sounds. Dabei zeigt sich, dass der Sound nicht nur als Hintergrundkulisse dient, sondern die eigentliche Grundlage des Raums bildet. So verschmelzen Technik und Gestaltung zu einem für die Besucher:innen physisch greifbaren, immersiven Gesamterlebnis.

Abstract

This thesis examines the influence of auditory design and aural architecture in immersive spaces on visitor experience and user interaction. Using the installation „Ex-Libris“ as a case study, it analyzes how the targeted use of point sources creates a narrative environment.

A central focus of this work lies in the technical implementation of the immersive setting. With the help of a Dante system, each of the speakers could be controlled as a separate point source. In combination with the molton lining of the room, the entire human hearing spectrum, from 16 Hz to 20 kHz, could be used. Methods such as sonification, were used to translate content into sounds and control it via trigger points in the room. The acoustic design is based on the use of auditory icons and earcons to make the environment appear both realistic and magical at the same time.

Since the installation no longer existed at the time of writing this thesis, the analysis is based on a retrospective evaluation. Using plans, images, observations and memories from the time of the exhibition, this thesis can evaluate the effectiveness of the design and the interplay of technical details in retrospect.

The analysis makes it clear that immersion is no coincidence. It is the result of precise planning and sounds that are adapted to the space. It shows that sound not only serves as background music but builds up the whole atmosphere of the space. Technology and design thus merge into an overall immersive experience that is physically tangible for visitors.

Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung	2
Kurzfassung	3
Abstract	4
Abbildungsverzeichnis	7
1. Einleitung	8
1.1 <i>Motivation und Problemstellung</i>	8
1.2 <i>Zielsetzung und Forschungsfrage</i>	9
1.3 <i>Aufbau der Arbeit</i>	10
2. Theoretische Fundamente der auditiven Wahrnehmung	11
2.1 <i>Grundlagen der Akustik und Psychoakustik</i>	11
2.1.1 Die physikalische Natur des Schalls	12
2.1.2 Das menschliche Hören und psychoakustische Größen	13
2.2 <i>Aurale Architektur und Soundscape</i>	17
2.2.1 Die aurale Architektur und die akustische Atmosphäre	18
2.2.2 Soundscape: Die Gestaltung der akustischen Landschaft.....	20
2.2.3. Synthese und die Bildung der auditiven Atmosphäre	22
2.3 <i>Sonic Interaction Design und die methodische Umsetzung durch Sonifikation</i>	24
2.3.1 Auditory Icons und Earcons	29
3. Projektdarstellung und Entwurfskonzept von Ex-Libris	31
3.1 <i>Die Schleuse</i>	33
3.2 <i>Die antike Bibliothek</i>	34
3.3. <i>Der magische Wald</i>	37
4. Umsetzung von Ex-Libris	48
4.1 <i>Praktische Anwendung des Soundscapes-Modells</i>	48
4.1.1 Räumliche Inszenierung. Die objektbasierte Klangwelt.....	48
4.1.2 Psychoakustisches Mapping: Fokus und Sprachverständlichkeit.....	53
4.1.3 Interaktive Trigger-Steuerung und Besucherführung	56
5. Methodische Verankerung und Analyse	58

5.1 Emotionen durch Interaktionen.....	58
5.2 Gestalterische Analyse - Sound als narratives Leitsystem	59
5.3 Kritische Reflexion der Untersuchungsmethode	61
6. Fazit und Ausblick.....	64
6.1 Beantwortung der Forschungsfrage.....	64
6.2 Gestalterische Erkenntnisse und Ausblick.....	65
Quellenverzeichnis.....	67

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1 Grundriss der Spielwiese</i>	31
<i>Abbildung 2 Molton Verkleidung der Wände im Hintergrund</i>	32
<i>Abbildung 3 Molton Verkleidung der Wände im Hintergrund</i>	32
<i>Abbildung 4 Abhängung der Schleuße</i>	34
<i>Abbildung 5 magische Porträts</i>	35
<i>Abbildung 6 Das Buch in welches Billy gefallen ist</i>	35
<i>Abbildung 7 Podest mit Buch und Bücherwand</i>	36
<i>Abbildung 8 Die alte Holztüre</i>	36
<i>Abbildung 9 Kunstrasen</i>	37
<i>Abbildung 10 Kakubaz der Hüter des Waldes</i>	38
<i>Abbildung 11 Zusammengesetzter Kristall</i>	39
<i>Abbildung 12 belebter Baum nah</i>	39
<i>Abbildung 13 belebter Baum</i>	40
<i>Abbildung 14 Brunnenwesen</i>	40
<i>Abbildung 15 Brunnen</i>	41
<i>Abbildung 16 Kurbel am Brunnen</i>	42
<i>Abbildung 17 Die singenden Pilze nah</i>	43
<i>Abbildung 18 Die singenden Pilze</i>	43
<i>Abbildung 19 Der Spiegelbaum</i>	44
<i>Abbildung 20 Spiegelbaum, Mond, Blumen</i>	45
<i>Abbildung 21 belebter Baum im Raum</i>	45
<i>Abbildung 22 Hauptbaum in der Mitte des Raums</i>	46
<i>Abbildung 23 Lichtstrahl am Hauptbaum</i>	46
<i>Abbildung 24 Hauptbaum mit Lichtstrahlen und dem Kakubaz</i>	47
<i>Abbildung 25 Skizze der Kanalbelegung</i>	49
<i>Abbildung 26 Das Rig samt Lautsprecher</i>	52
<i>Abbildung 27 Sub am Boden</i>	53

1. Einleitung

In einer Welt, welche zunehmend von visuellen Reizen dominiert wird, rückt die akustische Ebene oft in den Hintergrund (Blessner und Salter 2007, 6). Sobald ein Raum betreten wird, entscheiden die ersten Sekunden darüber, wie man sich in diesem fühlt (Blessner und Salter 2007, 2). Während das Auge das Offensichtliche erfasst, ist es das Gehör, das Besucher:innen tief in eine Atmosphäre hineinzieht (Havik und De Beer 2022, 229). Während sich die Augen schließen lassen, bleiben die Ohren stets offen und nehmen die Umgebung wahr, selbst beim Zuhalten der Ohren umgibt uns Schall immer und überall (Murray Schafer 1994, 207). In der Umsetzung und der Gestaltung von immersiven Räumen, wird das jedoch gerne unterschätzt. Vor allem für die Besucher:innen wirkt Sound oft als eine Ergänzung, welche im Hintergrund läuft (Lensing 2018, 20–30).

Die Arbeit thematisiert genau diesen entscheidenden Punkt. Sie ist aus der Erkenntnis entstanden, dass selbst ein aufwendig gestalteter Raum ohne die akustische Ebene am Ende nur ein „leerer“ Raum bleiben würde. Erst durch den Einsatz von Klang gewinnt dieser an Tiefe und wird für die Besucher:innen greifbar. Am Beispiel von Ex-Libris kann man erkennen, dass das Sounddesign wie eine nicht sichtbare Architektur funktioniert. Diese Architektur nutzt sowohl vertraute Klänge als auch künstlich gestaltete Signale, um eine lebendige Welt zu erschaffen. Echte Tiefe entsteht genau dann, wenn die akustische und die gestalterische Umgebung perfekt zusammenarbeiten und dadurch die reale Umgebung in den Hintergrund rückt (Blessner und Salter 2007, 147). Dieser Zustand des Eintauchens in eine künstlich erschaffene Welt wird als Immersion bezeichnet (Grau, zit. n. De Jong 2018, 89).

Diese tiefgreifende Immersion umschließt die Besucher:innen vollständig und bindet sich in das Narrativ der Installation ein.

1.1 Motivation und Problemstellung

Die Motivation dieser Arbeit liegt darin zu analysieren, welchen Einfluss die auditive Gestaltung auf das Gefühl der Immersion bei Besucher:innen von immersiven Räumen hat. Das Projekt Ex-Libris wird dabei als Beispiel eines gelungenen immersiven Raums

analysiert. Bei Ex-Libris war das Ziel eine Welt zu erschaffen, die sich so magisch anfühlt wie ein klassisches Märchen. Inspiriert von Erzählungen wie Simsala Grimm sollte eine Welt entstehen, an dem Besucher:innen buchstäblich in die Geschichte hineinfliegen und sich wie ein Teil dieser fühlen. Innerhalb des Projekts lag der Fokus darauf, diese Illusion so realistisch wie möglich zu gestalten und sicher zu gehen, dass alle Ebenen des Raumes perfekt ineinandergreifen. Dabei wurde deutlich, dass die visuelle Gestaltung allein nicht reicht, um eine solche Immersion zu erzeugen. Ein Raum kann noch so detailreich gebaut sein, ohne die passende akustische Ebene wirkt er leer und unbelebt. Die Herausforderung lag also darin, den Sound so einzusetzen, dass er die visuelle Welt nicht nur begleitet, sondern vervollständigt und untermauert. Der Sound wurde so designt, dass er die Besucher:innen durch das Märchen leitet.

1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Das Ziel dieser Arbeit ist es zu untersuchen welche Ebenen wichtig sind, um einen hohen Immersionsgrad zu ermöglichen. Es soll gezeigt werden, wie die aurale Architektur neben dem reinen Sounddesign eingesetzt wurde, um nicht nur den klanglichen Inhalt zu liefern, sondern den Raum greifbar zu machen und ihm eine glaubwürdige Tiefe zu verleihen. Unter auraler Architektur wird hierbei die Eigenschaft eines Raums verstanden, welche erst durch das Hören und der eigenen Wahrnehmung erlebbar wird (Blessner und Salter 2007, 5). Während das Sounddesign die erzählerischen Akzente setzt, schafft die aurale Architektur das Fundament, auf dem die Besucher:innen durch die Geschichte geleitet werden. Ein wesentlicher Teil dieser Arbeit widmet sich der menschlichen Wahrnehmung als Basis für die Gestaltung. Es soll gezeigt werden, wie die gezielte Nutzung des gesamten hör- und spürbaren Frequenzspektrums dazu beiträgt, den physischen Raum akustisch zu gestalten. Eine lückenlose Immersion kann nur unter Berücksichtigung dieser biologischen Grundlage entstehen.

Daraus ergibt sich die Forschungsfrage, welche diese Arbeit begleitet:

Wie beeinflusst die auditive Gestaltung und die aurale Architektur immersiver Räume das Besuchererlebnis und die Nutzerinteraktion und mit welchen analytischen Methoden lässt sich die Wirksamkeit des Designs am Beispiel von Ex-Libris bewerten?

1.3 Aufbau der Arbeit

Um die Forschungsfrage zu beantworten, gliedert sich die vorliegende Arbeit in 6 Kapitel. Zunächst wird im Kapitel zwei, dem theoretischen Teil, die notwendige Grundlage und das Verständnis festgelegt. Dabei werden die Grundlagen der auralen Architektur und der Psychoakustik beleuchtet. Es wird untersucht, wie das menschliche Gehör Klang und Schall im Raum orten kann und warum die Abdeckung des gesamten Frequenzbereichs des Menschen für eine richtige Immersion wichtig ist.

Darüber hinaus wird untersucht, wie durch das Zusammenspiel von Raum und Klang eine akustische Atmosphäre entsteht und welche biologischen Faktoren die menschliche Wahrnehmung dabei beeinflussen. In diesen Kontext erfolgt zudem eine Abgrenzung von Auditory Icons und Earcons.

Das darauffolgende Kapitel drei widmet sich rein der detaillierten Raumbeschreibung sowie dem Aufbau der Ausstellung. Ziel ist es, eine anschauliche Grundlage zu schaffen, um die darauffolgende praktische Umsetzung in Kapitel vier nachvollziehbar darzustellen. Hierbei wird gezeigt, wie die theoretischen Grundlagen gestalterisch in der Praxis umgesetzt werden.

Nachdem in Kapitel vier die Realisierung des Projekts dokumentiert wird, bildet das fünfte Kapitel „Methodische Verankerung und Analyse“ die inhaltliche kritische Analyse. Hierbei wird reflektiert, inwiefern die Umsetzung den theoretischen Erwartungen entspricht. Ein zentraler Fokus liegt auf der emotionalen Wirkung der Installation. Es wird analysiert, wie die einzelnen Elemente die Emotionen gesteuert haben. So zeigt die Analyse, dass das Projekt „Ex-Libris“ darauf baut, Sound als unsichtbares Leitsystem zu nutzen. Darüber hinaus werden auch Herausforderungen bei der Umsetzung des Konzepts betrachtet.

Abschließend wird im Fazit die Forschungsfrage beantwortet. Außerdem werden die Erkenntnisse zusammengeführt und gezeigt, wie das Zusammenspiel aus Technik und Atmosphäre eine Immersion ermöglicht. Der Abschluss zeigt auf, welche Aspekte bei zukünftigen Projekten optimiert werden könnten.

2. Theoretische Fundamente der auditiven Wahrnehmung

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen erarbeitet, um die Wirksamkeit auraler Architektur im Kontext immersiver Ausstellungen untersuchen zu können. Der Fokus liegt dabei auf der Verbindung zwischen technischer Präzision und menschlichem Erleben. Hierzu werden zunächst die physikalischen Eigenschaften und psychoakustischen Aspekte von Schall definiert und hinsichtlich ihrer Relevanz für die Wahrnehmung der Besucher:innen erläutert. Die Psychoakustik erklärt dabei, wie messbarer Schall zu einem individuellen Hörempfinden wird (Zwicker und Fastl 2007, o.S). Darauf aufbauend werden diese Grundlagen dem Bereich des Sonic Interaction Designs zugeordnet und um Konzepte der atmosphärischen Gestaltung sowie des Soundscapes (dt. Klanglandschaft) ergänzt. Ein Soundscape definiert dabei die akustische Umgebung so, wie sie von Menschen in einem bestimmten Kontext wahrgenommen und erlebt wird (Kang 2023, 4). Ziel ist es den klanglichen Raum nicht nur als physikalisches Phänomen, sondern als ein Werkzeug zur Erzeugung emotionaler Resonanz und immersiver Erfahrungen zu begreifen.

2.1 Grundlagen der Akustik und Psychoakustik

Um die gestalterischen Entscheidungen von Ex-Libris hinsichtlich der psychologischen Wirkung fundiert bewerten zu können, muss zwischen der objektiven, physikalischen Seite des Schalls und seiner subjektiven Wahrnehmung durch den Menschen unterschieden werden, was als Fokus auf die erlebte Atmosphäre beschrieben wird (Böhme 2014, 1). Hierbei wird zwischen dem Schallereignis (dem physikalischen Reiz) und dem Hörereignis (der bewussten Wahrnehmung) unterschieden, um auf dieser Basis durch Sounddesign emotionale Erlebnisse zu steuern (Blauert 1997, 2; Lensing 2023, 41). Während die Akustik untersucht, wie sich Schallwellen physikalisch in der Luft ausbreiten, erforscht die Psychoakustik, was davon am Ende als bewusste Wahrnehmung in unserem Kopf ankommt, um so Emotionen zu erzeugen (Blauert 1997, 1; Blesser und Salter 2007, 4; Lensing 2023, 41,42).

Diese Trennung ist sehr wichtig, denn Schallwellen sind der Auslöser für das, was gehört wird. Aber die Reaktion darauf entsteht im Kopf. Wie ein Geräusch erlebt wird, lässt sich nicht allein mit Zahlen messen, es kommt immer eine psychologische Ebene hinzu (Blauert 1997, 2; Blesser und Salter 2007, 4; Rieger 2025, 9). Um diese Ebene für

immersive Räume gestalterisch nutzen zu können, ist es wichtig, zuerst die physikalischen Grundlagen zu verstehen, welche die Wahrnehmung überhaupt beeinflussen (Lensing 2023, 55).

2.1.1 Die physikalische Natur des Schalls

Schall ist im Grunde nichts anderes als Bewegung der Luft. Es kann sich so vorgestellt werden, dass unsichtbare Wellen den normalen Luftdruck ganz leicht zum Schwingen bringen. Diese Schwingungen sind aber so minimal, dass sie nicht sichtbar sind, sondern nur mit den Ohren als Schalldruck wahrnehmbar sind. In der Physik misst man diesen Schalldruck in der Einheit Pascal (Pa) (Zwicker und Fastl 2007, 1).

Die Herausforderung bei dieser Messung ist, dass das Gehör sehr sensibel ist und vom leisesten Ton bis zum lautesten Knall alles verarbeiten kann. Würde also alles nur in Pascal gemessen werden, müsste mit großen, unübersichtlichen Zahlen umgegangen werden. Deshalb wird Dezibel (dB) verwendet, da es die tatsächliche physikalische Kraft in ein Verhältnis setzt, das der menschlichen Lautstärkewahrnehmung eher entspricht, als die reine Messung in Pascal. Dezibel funktioniert also wie eine Art Abkürzung. Es hilft die Reichweite des Gehörs in einfache, handliche Zahlen umzuwandeln, mit denen besser gearbeitet werden kann (Zwicker und Fastl 2007, 1; Moore 2013, 10,53).

Zur Beschreibung dieser Schallwellen sind zwei physikalische Primärparameter von zentraler Bedeutung.

Amplitude und Schalldruckpegel (dB):

Die Intensität der Schallwelle (eines Klangs) wird physikalisch durch die Amplitude definiert, also den maximalen Ausschlag der Druckschwankung ($p(t)$). Da das menschliche Gehör eine weite Spanne von Schalldrücken wahrnehmen kann, ist eine einfache, lineare Skala unpraktisch (Steffens, Wilczek, und Weinzierl 2021, 3; Zwicker und Fastl 2007, 1; Kang 2023, 1).

Aus diesem Grund wird in der Akustik das Dezibel verwendet. Dieser Wert dient als objektives Maß für die physikalische Kraft des Schalls, wobei 0 dB die Grenze ist, ab der Menschen überhaupt etwas hören können. Wichtig ist jedoch, dass das Dezibel die

technische Stärke beschreibt. Wie laut ein Geräusch tatsächlich wahrgenommen wird, misst sich an einer subjektiven Logik des Gehörs (Kurukose Cal, Aletta, und Kang 2025, 1; Kang 2023, 6; Moore 2013, 2,11,137; Steffens, Wilczek, und Weinzierl 2021, 3).

Die Frequenz (Hz):

Die Frequenz ist die physikalische Größe, welche angibt, wie oft sich der Schalldruck pro Zeiteinheit ändert. Sie wird in Hertz (Hz) gemessen und steht in direktem Zusammenhang mit der psychophysischen Empfindung der Tonhöhe (Pitch) (Barron 2010, 11; Grond und Berger 2011, 364). Dabei ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Tonhöhe ein subjektives Merkmal ist, welches im Gegensatz zur physikalischen Frequenz nicht direkt mit einem Gerät gemessen werden kann, sondern als Empfindung im Gehör entsteht (Carlile 2011, 48). Vereinfacht gesagt kann man sagen: Tiefe Bässe entsprechen niedrigen Frequenzen und hohe Töne entsprechen hohen Frequenzen (Gaver 1988, 88). Dieses Wissen über die physikalischen Grundlagen bilden die Basis der Psychoakustik. Nur so lassen sich akustische Phänomene nicht nur fühlen, sondern auch objektiv messen und vergleichen (Moore 2013, 2,3; Zwicker und Fastl 2007, 2,11; Carlile 2011, 42).

Für die Gestaltung immersiver Räume wie Ex-Libris ist dieses Wissen eine notwendige Voraussetzung, um Anforderungen an den Klang genau zu bestimmen und die auditive Szenografie zu steuern (Lensing 2023, 12,41). Dazu ist es unerlässlich für die Beurteilung der Geräuschqualität sowie die gezielte Steuerung potenzieller Störquellen (Lärm), wobei moderne Ansätze Klänge zunehmend als wertvolle Ressourcen betrachten und über reine technische Dezibel-Messungen hinausgehen (Kang 2023, 2,6; Zwicker und Fastl 2007, 61,62).

2.1.2 Das menschliche Hören und psychoakustische Größen

Die Psychoakustik bildet die Brücke zwischen der physikalischen Messbarkeit von Schall und seiner subjektiven, emotionalen sowie kognitiven Wirkung. Sie untersucht, wie das menschliche Gehör und Gehirn physikalische Schallreize verarbeiten und in subjektive Empfindungen übersetzen (Moore 2013, 1,2; Neuhoff 2011, 63,64).

In der Psychoakustik gibt es einen grundlegenden Unterschied zwischen dem physikalisch messbaren Schallereignis, und dem, was tatsächlich gehört werden kann, dem Hörereignis. Während die Akustik Schall als Druckschwankung in einem Medium

definiert, entscheidet erst das menschliche Gehör, wie diese Reize erlebt werden. Unsere akustische Wahrnehmung ist an klare biologische Grenzen gebunden. Ein gesundes menschliches Ohr nimmt Schwingungen in einem Bereich von ca. 16 Hz – 20 kHz wahr. Daher geht man davon aus, dass ein Mensch in der Regel erst dann etwas hört, wenn sich die Frequenz in diesem Fenster bewegt (Barron 2010, 10; Blesser und Salter 2007, 2; Murray Schafer 1994, 115; Carlile 2011, 59).

Für die Gestaltung von Ex-Libris ist dieser Zusammenhang von zentraler Bedeutung, da Design nicht auf objektiven Messwerten, sondern auf der Wahrnehmung der Hörer:innen basiert (Neuhoff 2011, 64,78). Sound dient hier als „Trigger“, welcher über die reine Information hinaus eine emotionale Rückmeldung erzeugt (De Jong 2018, 90). Eine Atmosphäre entsteht dabei als Zusammenspiel zwischen den akustischen Qualitäten des Raums und dem persönlichen Befinden der Besucher:innen (Böhme 2014, 23). Diese Berücksichtigung der Merkmale des menschlichen Hörsystems ist daher notwendig, um Klänge gezielt einzusetzen (Zwicker und Fastl 2007, 8; Carlile 2011, 41).

Am unteren Ende dieses Spektrums verändert sich die Wahrnehmung. Sobald die Frequenz unter 20 Hz fällt, ist kein klarer Ton mehr zu hören. Stattdessen nehmen wir den Klang/Schall als körperliches Gefühl wahr. Etwas wie einen sanften Druck oder ein rhythmisches Beben, welches oft direkt an der Brust spürbar ist, als würde der Schall die Besucher:innen direkt berühren. Und das trotz dessen, dass das Ohr den Klang nicht mehr deutlich auflöst (Alam, Permana, und Indriani 2023, 174,180). In diesem Bereich verschmelzen dann Hör- und Tastsinn miteinander (Murray Schafer 1994, 115). Das Hören wird so zu einer Art Fernberührung, die den Körper der Besucher:innen erreicht (Sioli und Kiourtsoglou 2022, 17). Die hohen Frequenzen jedoch dienen vor allem der feinen Detailwahrnehmung und der räumlichen Orientierung im Raum. Dafür ist die Anatomie des Außenohrs verantwortlich. Die Ohrmuschel (Pinna) kann die Schallwellen richtungsabhängig zuordnen (Carlile 2011, 43; Guillaume 2011, 503). Das kommt vor allem bei Frequenzen oberhalb von 6 kHz vor, da die Wellenlängen ab da kurz genug sind, um mit der Form der Ohrmuschel zu interagieren. Auf diese Weise kann die Position der Schallquellen und der Lokalisation im Raum für das Gehirn ermöglicht werden (Moore 2013, 23,264,265; Carlile 2011, 44).

Lautheit (Loudness):

Die Lautheit beschreibt die subjektive Wahrnehmung der Schallintensität und wird in der Einheit Sone angegeben. Dabei steht sie nicht in einem linearen Verhältnis zum objektiven Schalldruckpegel (Dezibel) (Moore 2013, 137; Carlile 2011, 46; Neuhoff 2011, 66). Die Lautheit wird nach dem international standardisierten Zwicker-Verfahren (ISO 532 B) bestimmt. Dieses Modell basiert auf der Analyse der kritischen Bänder (Frequenzgruppen) und berücksichtigt den Effekt der Verdeckung (Maskierung), bei denen ein Schallereignis die Wahrnehmung eines anderen beeinflusst (Barrass 1997, 126; Moore 2013, 139; Zwicker und Fastl 2007, 205,234; Grond und Berger 2011, 373).

Die frequenzabhängige Empfindlichkeit des Gehörs lässt sich anhand von Isophonen (Equal-Loudness Contours) darstellen. Diese Kurven gleicher Lautstärkepegel erklären, warum das Ohr bei tiefen Frequenzen weniger empfindlich ist und in mittleren bis hohen Frequenzbereichen die maximale Wahrnehmung aufweist (Moore 2013, 134; Zwicker und Fastl 2007, 203; Neuhoff 2011, 70; Grond und Berger 2011, 371,372). Für die Gestaltung akustischer Atmosphären bedeutet das, dass die reine Reduzierung von Dezibel-Werten oft nicht genügt, um den akustischen Komfort zu erhöhen. Die gefühlte Qualität eines Klangs hängt nämlich vor allem davon ab, welche Mischung aus hohen und tiefen Tönen gehört werden kann und welches Gefühl dabei entsteht (Steffens, Wilczek, und Weinzierl 2021, 1).

Tonhöhe (Pitch):

Die Tonhöhe (Pitch) beschreibt die subjektive Wahrnehmung, durch die Klänge auf einer Skala von tief bis hoch eingeordnet werden können (Carlile 2011, 48; Neuhoff 2011, 64). Als physikalische Größe weicht sie von der objektiven, in Hertz (Hz) gemessenen Frequenz ab. Als psychologische Größe unterscheidet sie sich von der physikalischen Frequenz, die einfach nur zählt, wie oft der Luftdruck pro Sekunde gegen unser Ohr drückt (Neuhoff 2011, 64).

In der Psychoakustik wird die Maßeinheit Mel verwendet, um abzubilden, wie das menschliche Gehör Tonhöhen wahrnimmt (Moore 2013, 203,215). Die Mel-Skala basiert auf Experimenten, in denen Teilnehmer:innen Abstände zwischen Tönen subjektiv als „gleich groß“ beurteilen mussten. Dabei dient ein reiner Ton von 1000 Hz als Referenzpunkt, dem per Definition der Wert von 1000 Mel zugeordnet wird (Moore 2013,

2015; Zwicker und Fastl 2007, 111; Neuhoff 2011, 65). Die Abweichung zwischen der physikalischen Frequenz und wahrgenommener Tonhöhe tritt besonders bei hohen Frequenzen deutlich hervor.

Für die Gestaltung von immersiven Installationen ist diese Nichtlinearität insofern von Bedeutung, da das Empfinden von Melodien und musikalischen Intervallen im Wesentlichen auf den Frequenzbereich unterhalb von etwa 5 kHz beschränkt ist. Oberhalb dieser Grenze können Frequenzunterschiede zwar noch sehr fein unterschieden werden, aber nicht mehr sinnvoll in einem musikalischen oder melodischen Kontext eingeordnet werden (Moore 2013, 212,213; Carlile 2011, 48).

Die Räumlichkeit (Spatiality):

Die Fähigkeit des Menschen, Schallquellen hinsichtlich ihrer Position und Entfernung zu lokalisieren wird als Räumlichkeit (Spatiality) bezeichnet (Moore 2013, 245). Im Gegensatz zum Sehen, bei dem der Ort direkt auf der Netzhaut abgebildet wird, ist das Hören eine reine Leistung des Gehirns (Carlile 2011, 52,53). Diese Wahrnehmung wird durch das Zusammenspiel zwei wesentlicher Mechanismen ermöglicht. Dies sind die interaurale Zeitdifferenz (ITD) und die interauralen Pegeldifferenz (ILD).

Vereinfacht gesagt, nutzt das Gehirn für die Richtungsbestimmung unterschiedliche Hinweise, je nachdem, ob ein Ton hoch oder tief ist. Bei tiefen Frequenzen ist die interaurale Zeitdifferenz entscheidend. Sie gibt an, mit welchem minimalen Verzug der Schall bei einem Ohr später ankommt als beim anderen (Carlile 2011, 53; Guillaume 2011, 500). Für hohe Frequenzen hingegen ist die interaurale Pegeldifferenz entscheidend. Sie entsteht, weil der Kopf für Wellenlängen ab ca. 1500 Hz als Hindernis wirkt und einen akustischen Schatten wirft, wodurch der Schall am weiter entfernten Ohr leiser ankommt (Moore 2013, 247, 248; Guillaume 2011, 500).

Diese Mechanismen bilden die Grundlage für die binaurale Technologie und die Auditory Virtual Reality (AVR). Bei der binauralen Technologie geht es darum, Sound so zu reproduzieren, dass kein Unterschied zur Realität wahrgenommen werden kann (Blauert 1997, 373,374). Die AVR erschafft dagegen komplette computergenerierte Soundscapes, in denen sich interaktiv bewegt werden kann. Das bedeutet der Sound reagiert auf Bewegungen (Blauert 1997, 383,384).

Durch die präzise Nachbildung dieser Signale wird eine Externalisierung erreicht. Der Sound wird also nicht im Kopf, sondern als außerhalb des Kopfs bzw. Körpers im Raum wahrgenommen (Carlile 2011, 44). Diese Technologien sind der Schlüssel für eine immersive Erfahrung, da sie durch die Externalisierung der Schallquellen die Voraussetzung für die Wahrnehmung eines dreidimensionalen, belebten Raums schafft (Blauert 1997, 234, Preface to the Revised Edition).

Auf diese Weise wird die sogenannte „Place Illusion“ (PI) ausgelöst (Slater 2009, 3551). Das Gefühl, sich physisch an einem anderen Ort zu befinden, obwohl man weiß, dass man sich nicht dort aufhält (Slater 2009, 3549, 3551). Für Designentscheidungen, die ein wirklich immersives Erlebnis zum Ziel haben, ist es entscheidend, die subjektive Hörwahrnehmung des Menschens zu berücksichtigen. Nur so lässt sich die gewünschte Klangwirkung gezielt steuern und eine angenehme Akustik gewährleisten (Blauert 1997, xii; Moore 2013, 1,2,3,133; Walker und Nees 2011, 15).

2.2 Aurale Architektur und Soundscape

Die Gestaltung immersiver Erlebnisräume erfordert ein erweitertes Verständnis von Klang. Dabei wird Sound nicht länger als rein physikalisch-technische Größe, sondern als ein zentrales Gestaltungselement betrachtet (Lensing 2023, 50).

Dieser Ansatz steht im deutlichen Kontrast zur traditionellen Bauakustik, die primär auf einen defensiven Umgang mit Schall abzielt. Die Minderung von Störgeräuschen und die Optimierung der Schalldämmung stehen dabei im Vordergrund (Murray Schafer 1994, 4; Lensing 2023, 53). Die aurale Architektur verfolgt demgegenüber einen kompositorischen Ansatz.

Das Ziel ist nicht mehr die Reduktion von Lärm, sondern die Komposition von Sound (Murray Schafer 1994, 4,5). Die akustische Umgebung wird bewusst gestaltet, um eine spezifische Atmosphäre zu schaffen. So wird die Wahrnehmung der Anwesenden gezielt gelenkt (Blessner und Salter 2007, 5).

Der Fokus liegt also nicht mehr darauf, Lärm nachträglich zu bekämpfen. Stattdessen wird der Sound von Beginn an als Gestaltungsmittel genutzt, um gezielt eine gewünschte Raumatmosphäre zu schaffen (Blesser und Salter 2007, 5; Lensing 2023, 53).

2.2.1 Die aurale Architektur und die akustische Atmosphäre

Nach dem Konzept der auralen Architektur von Barry Blesser und Linda-Ruth Salter ist Raum als ein aktives, klangreiches Medium zu verstehen. Seine Eigenschaften werden durch aufmerksames Zuhören im Bewusstsein erfahrbar und sind von der subjektiven Wahrnehmung des Individuums abhängig (Blesser und Salter 2007, 5; Böhme 2014, 34; Sioli und Kiourtsoglou 2022, 20,21). Die akustische Atmosphäre bildet dabei eine gemeinsame Wirklichkeit zwischen dem Wahrnehmenden um den wahrgenommenen Raum (Böhme 2014, 34). Während das fokussierte Sehen den Menschen oft zum bloßen Zuschauer macht, sorgt die akustische Qualität eines Raums dafür, dass die Besucher:innen tief in die Umgebung eingebunden werden und sich als Teil des Ganzen fühlen (Pallasmaa 2005, 13).

Die Aurale Architektur bildet somit das theoretische Fundament, dass der Raum nicht nur Schallwellen reflektiert, sondern als greifbarer Bestandteil des Designs die subjektive Erfahrung formt (vgl. Murray Schafer 1994; vgl. Schafer sowie Borch, zit. n. Sioli und Kiourtsoglou 2022, 17,18).

Sioli und Kiourtsoglou verdeutlichen dieses Prinzip am Beispiel von Regengeräuschen. Sobald der Klang des Regens die Stille bricht, wird die Architektur des Raumes für den Menschen überhaupt als solche wahrnehmbar. Die Akustik macht die Grenze und die Größe des Zimmers hörbar und verleiht ihm eine emotionale Schwere, welche in absoluter Stille kaum wahrnehmbar wäre.

Das Gehör übernimmt dabei die Rolle einer räumlichen Fernberührung, die die Besucher:innen physisch erreicht und eine Verbindung zur Umgebung herstellt (Havik und De Beer 2022, 229). Man tastet den Raum nicht mit den Händen ab, gewinnt aber über den Schall ein ebenso unmittelbares Gefühl für seine Wände und Aufbau. In diesem Sinne wird Architektur nicht als starre Hülle, sondern als ein dynamischer Raum verstanden, in dem Schallwellen und Hörer:innen die Umgebung aktiv konstruieren.

Die akustischen Qualitäten eines Raums dienen dabei als Werkzeug der auditiven Szenografie, um das räumliche Bewusstsein und die emotionale Bindung gezielt zu gestalten (Lensing 2023, 49,50). Da über den Schall die Beschaffenheit und die Größe eines Raums hörbar ist, verändert das die Art, wie dieser körperlich wahrgenommen wird. Die Akustik bestimmt also wie sich ein Ort anfühlt (Blauert 1997, 44; Sioli und Kiourtsoglou 2022, 17,22).

Das Ziel der Gestaltung besteht darin, die Atmosphäre einer Ausstellung nicht dem Zufall zu überlassen. Sie soll bewusst entworfen werden. An diesem Punkt stößt die reine Physik jedoch an ihre Grenzen, denn herkömmliche Messgeräte können das menschliche Erleben nämlich nicht erfassen (Kang 2023, 1; Raimbault und Dubois 2005, 340)

Die Psychoakustik wird als Brücke benötigt. Sie dient als Werkzeug, um subjektive Empfindungen in Zahlen zu fassen (Neuhoff 2011, 64).

Das bedeutet, es wird nicht mit den abstrakten Dezibel Werten gearbeitet, sondern mit der tatsächlichen empfundenen Intensität. Dieser Fokus auf die Wahrnehmung erlaubt es, subjektive Eindrücke in verlässliche Daten zu übersetzen. Erst dadurch wird es möglich, die Atmosphäre im Raum nicht nur zu vermuten, sondern sie wirklich zu steuern (Barrass 1997, 132; Moore 2013, 137; Grond und Berger 2011, 363).

Diese Unterscheidung ist auch deshalb so wichtig, weil unser Gehör eine Besonderheit besitzt. Es zerlegt Klänge in seine Einzelheiten (Gaver 1988, 14). Dieses Prinzip wird als Ohmsches Akustisches Gesetz bezeichnet (Moore 2013, 6). Ein einfacher Vergleich mit dem Sehsinn macht dieses Prinzip verständlich. Wenn zwei Farben gemischt werden, entsteht eine neue Mischfarbe, bei der das Auge die ursprünglichen Farben nicht mehr unterscheiden kann. Das Gehör hingegen arbeitet da viel präziser. Es funktioniert wie ein biologisches Gerät, das ein komplexes Geräusch in seine einzelnen Frequenzen aufteilt (Carlile 2011, 44). In der Fachsprache nennt man das die Analyse von Fourier-Komponenten (Gaver 1988, 14; Carlile 2011, 41).

Dadurch ist in einer Umgebung kein wirres Soundgemisch zu hören, sondern einzelne Elemente im Raum getrennt wahrnehmbar. Genau deshalb reicht es nicht aus, sich nur auf technische Messwerte wie den Schalldruckpegel in Dezibel zu verlassen. Ein Messgerät erfasst zwar die physikalische Summe des Schalls, kann aber die tatsächliche Wirkung auf die Besucher:innen im Raum nicht abbilden (Moore 2013, 6; Raimbault und Dubois 2005, 340).

Da unser Gehör über den gesamten Bereich von 16 Hz- 20 kHz jede Frequenz einzeln bewertet, lässt sich die richtige Atmosphäre eines Raums nicht in einer einfachen Zahl ausdrücken (Raimbault und Dubois 2005, 340; Carlile 2011, 44). Für das Design von immersiven Räumen ist daher nicht die bloße Lautstärke entscheidend, sondern die gezielte Gestaltung der einzelnen Klangelemente (Moore 2013, 6; Raimbault und Dubois 2005, 340).

2.2.2 Soundscape: Die Gestaltung der akustischen Landschaft

Die zuvor beschriebene analytische Fähigkeit des Gehörs, komplexe Schallereignisse in ihre Frequenzkomponenten zu zerlegen, ist die biologische Grundlage dafür, dass eine vielschichtige klangliche Umgebung überhaupt wahrnehmbar ist. Erst durch diese Frequenztrennung wird es möglich, selbst im größten und lautesten Durcheinander einzelne Schallquellen räumlich erkennbar zu machen. Ohne sie würde, statt klarer Signale, nur diffuses Rauschen wahrzunehmen sein (Moore 2013, 4,6; Carlile 2011, 41). Dabei fungiert das Innenohr als biologischer Filter, der dem Gehirn eine gezielte Musteranalyse ermöglicht (Moore 2013, 54,108). Während das Auge den Raum als fertiges Bild sieht, muss das Gehör die Umgebung erst aus diesen Informationen im Kopf zusammenbauen. Das Gehirn nutzt diesen Code, um einzelne Signale (eine Stimme oder Geräusch) aus einem lauten Hintergrund herauszufiltern und als eigenständige Quelle zu erkennen (Carlile 2011, 52; Neuhoff 2011, 75).

Diesen Vorgang, bei dem unser System Ordnung in das akustische Chaos bringt, nennt man Auditory Scene Analysis. Es ist eine Methode zur Mustererkennung, die unser Gehör einfach so vollbringt, so dass es im Alltag kaum bemerkbar ist (Hermann, Hunt, und Neuhoff 2011, 3; Neuhoff 2011, 75).

In der Praxis bedeutet das: Nur weil das Gehör die unterschiedlichen Frequenzen, wie zum Beispiel die eines Schreis und die eines Bellens innerhalb einer lauten Geräuschkulisse voneinander trennen kann, ist es in der Lage, beide Geräusche gleichzeitig wahrzunehmen und ihnen verschiedene Positionen im Raum zuzuweisen (Carlile 2011, 41,42).

Über diese rein biologische Analyse hinaus wird die auditive Umgebung nicht nur als physikalisches Ereignis, sondern auch als gesellschaftlich und kulturell konstruiertes Soundscape gesehen (Blessner und Salter 2007, 3; Sioli und Kiourtsoglou 2022, 20). Klänge werden dabei durch den aktiven Zuhörer mit Bedeutung und Emotionen aufgeladen. Die akustische Umgebung fungiert somit als ein kultureller Wahrnehmungsmodus, bei dem Hörer:innen einzelne Klangelemente innerhalb eines spezifischen Kontexts verstehen und bewerten. Der Mensch ist dabei kein „passiver“ Empfänger, sondern ein „aktiver“ Zuhörer. Er wählt seinen Fokus selbst und lädt das Gehörte mit Bedeutungen und Emotionen auf. Das heißt, das Hören ist für den Mensch auch mit der kulturellen Prägung verbunden. Er bewertet Klänge basierend auf seinem Wissen, Erinnerungen und seiner sozialen Umgebung (Sioli und Kiourtsoglou 2022, 20).

Nach dem Konzept von R. Murray Schafer setzt sich ein Soundscape aus verschiedenen funktionalen Schichten bzw. Ebenen zusammen.

- Keynotes (Grundklänge): Sie bilden das oft unbewusst wahrgenommene akustische Fundament und geben einem Ort seine Identität. Während damals der Klang der Natur dominierte, ist heutzutage in Städten der Verkehr der prägende Grundklang (Truax 2001, 43).
- Signals (Signalklänge): Diese sind bewusste Informationsträger, welche im Vordergrund stehen und unsere Aufmerksamkeit fordern. Das können Warnsignale, Klingeln einer Glocke oder wie schon erwähnt das Bellen eines Hundes sein. Sie sind oft einfach und direkt, um eine sofortige Reaktion auszulösen (Türklingel, Mikrowelle ist fertig) (Walker und Nees 2011, 13).
- Soundmarks (Lautzeichen): Als akustisches Gegenstück zu optischen Sehenswürdigkeiten sind sie so einzigartig, dass sie einem Raum einen unverwechselbaren Charakter schenken. Solche Lautzeichen ermöglichen es, sich wie auf einer Art „Landkarte“ zu orientieren und eine tiefe Verbundenheit oder ein Gefühl von Heimat an einem Ort zu entwickeln (Murray Schafer 1994, 9,10; Kang 2023, 9).

Die bewusste Gestaltung dieser Schichten ist die Hauptaufgabe der auralen Architektur. Der Gestalter schlüpft dabei in eine Doppelrolle als Künstler und Sozialingenieur. Er entwirft den Raum nicht nur als reine gebaute Hülle, sondern nutzt den Klang gezielt, um ihm inhaltliche Emotionen und sozialen Qualitäten zu geben. Auf diese Weise lassen sich

gezielt Stimmungen schaffen, die von tiefer, besinnlicher Ruhe bis hin zu erhöhter Aufmerksamkeit oder einer mystischen Verbundenheit mit der Umgebung reichen (Blesser und Salter 2007, 5; Lensing 2023, 49).

In diesem Prozess wird Sound als etwas Greifbares, also als eine Art echtes Baumaterial verstanden. Er ist eben nicht nur eine flüchtige Hintergrunderscheinung, sondern ein architektonisches Phänomen, welches stark beeinflusst, wie ein Ort körperlich wahrgenommen wird. Anknüpfend an das Konzept der Fernberührung, wird die Akustik hier so verstanden, als würde sie einen „anfassen“. Das Gehör fungiert somit als ein Sinn, der eine Form des Berührens auf Distanz ermöglicht. (vgl. Schafer zit. nach Sioli und Kiourtsoglou 2022, 17).

Juhani Pallasmaa verdeutlicht diesen Zusammenhang, indem er Hören als Erweiterung des Tastsinns beschreibt. Wenn das Echo eines Raums gehört wird, dann kann der Körper die Größe und Form des Raums fast so erfühlen wie durch eine echte Berührung. Für das räumliche Erleben ist der Klang daher genauso wichtig wie das, was mit dem Auge zu sehen ist (Pallasmaa 2005, 11).

Durch die bewusste Gestaltung akustischer Atmosphären kann Architektur aktiv Stimmungen hervorrufen und somit sowohl das soziale Verhalten als auch die emotionale Grundstimmung der Anwesenden beeinflussen. So entscheidet die Gestaltung die soziale Wirkung des Raums. Während starker Hall das Eintreten wie einen öffentlichen Auftritt dastehen lässt und Aufmerksamkeit auf sich zieht, schafft eine gedämpfte Akustik im Gegensatz einen privaten, unaufdringlichen Moment, in dem man sich fast unbemerkt bewegen kann. Somit bestimmt diese akustische Atmosphäre, ob sich die Anwesenden in einem Raum beobachtet oder sicher und geborgen fühlen (Blesser und Salter 2007, 3,5; Böhme 2014, 23; vgl. auch Böhme sowie Griffero zit. nach Sioli und Kiourtsoglou 2022, 18).

2.2.3. Synthese und die Bildung der auditiven Atmosphäre

Die akustische Atmosphäre eines Ortes bildet sich an der Schnittstelle zwischen dem Raum und der Kultur. Sie entsteht, wenn die hörbaren Eigenschaften des Raums mit unseren persönlichen Erfahrungen und gelernten Bedeutungen verschmelzen (Blesser

und Salter 2007, X,5; Sioli und Kiourtsoglou 2022, 20). In diesem Zustand verbinden sich Klang, Raum und Körper zu einer Einheit. Sie bilden die Grundlage für absolute Immersion (LaBelle zit. nach Elflin 2022, 91). Es ist ein Erlebnis, bei dem sich Besucher:innen mit einer Umgebung verbunden fühlen. Das liegt daran, dass wie schon in Kapitel 2.2.2 beschrieben, eine solche Atmosphäre nicht nur passiv gehört wird, sondern die Sounds aktiv mit Bedeutung gefüllt werden. Erst durch diesen inneren Prozess bricht die Barriere zwischen den Besucher:innen und der Architektur. Die Schwingungen werden am eigenen Körper spürbar und es wird zu einem Teil des Raums (Slater 2009, 3554; vgl. Bégout zit. nach Sioli und Kiourtsoglou 2022, 18). Diese Art von Atmosphäre lässt sich am besten als einen „gestimmten Raum“ beschreiben (vgl. Böhm zit. nach Sioli und Kiourtsoglou 2022, 18). In diesem Zustand sind die Umgebung und das eigene Empfinden nicht mehr voneinander zu trennen. Dabei fungiert die Atmosphäre als Bindeglied, das zwischen den baulichen Gegebenheiten des Ortes und der persönlichen Stimmung der Besucher:innen vermittelt (vgl. Böhme zit. nach Sioli und Kiourtsoglou 2022, 18).

Damit diese Erfahrung glaubwürdig wirkt und ein echtes Gefühl des „Daseins“ entsteht, müssen die klanglichen Reize direkt mit den Erwartungen und Handlungen der Hörer:innen übereinstimmen (Slater 2009, 3549; Neuhoff 2011, 64–71). Es geht hierbei nicht um eine rein theoretische Beurteilung des Raums, sondern um die sinnliche Erfahrung (Böhme 2014, 23).

Während die Psychoakustik hierbei die mechanischen Grundlagen liefert, um Hörempfindungen durch messbare Reize planbar zu machen, sorgt erst die atmosphärische Gestaltung für die nötige emotionale Tiefe. Erst durch dieses Zusammenspiel wird aus einem akustischen Signal ein Raum, der den Besucher:innen in seinem gesamten Befinden anspricht (Zwicker und Fastl 2007, 11 Preface to the First Edition, Preface to the Second Edition).

Diese tiefe, immersive Wirkung entsteht durch das Ineinandergreifen von drei Wirkebenen, die den Weg vom Schall zu Erlebnis definieren (Sioli und Kiourtsoglou 2022, 19,20):

- Die physikalische Akustik: Sie kontrolliert die Schallwellen in einem Raum (Lensing 2023, 54).

- Die Psychoakustik: Sie übersetzt diese Wellen in die menschliche Wahrnehmung und steuert die Aufmerksamkeit (Lensing 2023, 41).
- Die auditive Szenografie: Sie bettet alles in einen Handlungsstrang, der dem Klang erst eine Bedeutung verleiht (Kang 2023, 2).

Damit diese künstlich erschaffene Umgebung als „echt“ wahrgenommen werden kann, müssen die akustischen Reize so gestaltet sein, dass sie eine Plausibilität erzeugen. Der Klang muss sich für die Besucher:innen richtig anfühlen und genau das widerspiegeln, was sie an diesem Ort erwarten würden (Lensing 2023, 41). Durch diese Verschmelzung wird Design zu viel mehr als nur dem Einbau von Technik. Es wird zu einer Form „ästhetischer Arbeit“, bei den Räumen gezielt erschaffen werden, die einen ganz persönlichen Charakter haben (Böhme 2014, 34/35). Erst wenn all diese Ebenen wie Zahnräder ineinandergreifen, wird aus der Gestaltung eine Immersion, welche wirklich spürbar ist (Serafin u. a. 2011, 100). Damit schließt sich der theoretische Kreis. Von der nicht sichtbaren Schwingung hin, bis zu den Atmosphären, welche die Trennung zwischen Individuum und Architektur aufhebt.

2.3 Sonic Interaction Design und die methodische Umsetzung durch Sonifikation

Das Sonic Interaction Design (SID) dient als Brücke, um die theoretischen Ideen der auralen Architektur und des Soundscapes in echte und spürbare Erlebnisse zu verwandeln. Bei SID geht es darum, Sound so zu gestalten, dass er direkt auf die Bewegung der Besucher:innen reagiert (Serafin u. a. 2011, 87). Während der Mensch beim reinen Sehen oft nur Beobachter bleibt, welcher von außen auf ein Geschehen blickt, fordert das SID die Besucher:innen auf, den Raum physisch zu erleben. Damit ist gemeint, dass die Besucher:innen nicht mehr nur mit Abstand vor dem Kunstwerk stehen, sondern durch bloße Anwesenheit und Bewegung im Raum selbst zum Auslöser der klanglichen Atmosphäre und so direkt in seine Umgebung integriert werden (Savaş, Verwijmeren, und Van Lier 2021, 169; Serafin u. a. 2011, 87). Da Sounds im Gegensatz zu einem Bild nicht in einem einzigen Augenblick erfasst werden können, sondern sich immer über einen gewissen Zeitraum entwickeln, konzentriert sich das SID auf die Gestaltung einer dynamischen Wahrnehmungs-Handlungs-Schleife (Perception-Action Loop) (Serafin u. a. 2011, 88; Bonebright und Flowers 2011, 113). Es entsteht ein ständiges

Wechselspiel, bei dem jede Bewegung im Raum eine klangliche Reaktion auslöst (Murray Schafer 1994, 7). Durch dieses zeitgleiche Zusammenspiel von Bewegung und Sound spüren die Besucher:innen, dass der Raum auf sie reagiert. Dadurch entsteht eine Verbindung zwischen dem Handeln und der akustischen Antwort der Umgebung (Guillaume 2011, 90).

Da Menschen von Natur aus die Fähigkeit besitzen, Merkmale eines Raums allein durch hören zu erfassen, können sich Besucher:innen durch ihr eigenes Handeln eine ganz persönliche Vorstellung des Ortes bilden. Aufgrund dessen, werden in diesem Prozess die Besucher:innen selbst zu auralen Architekten. Die Installation wird dadurch zu einem Raum, welcher nicht nur passiv angeschaut wird, sondern durch das Hören aktiv angeeignet wird. Dabei rücken neue Entdeckungen in den Fokus, welche sich erst durch diesen Prozess ergeben (Blessner und Salter 2007, 1; Sioli und Kiourtsoglou 2022, 21–25).

Murray Schafer beschrieb bereits früh diese aktive Rolle als sehr wichtig: „Impression is only half of perception. The other half is expression“ (Murray Schafer 1994, 153). Aktuelle Ansätze greifen diesen Gedanken auf und betonen, dass ein Ort erst dann in seiner ganzen Tiefe erfahrbar ist, wenn sich aktiv auf seinen Klang eingelassen wird (Sioli und Kiourtsoglou 2022, 22). Diese Einbindung beeinflusst Stimmungen sowie Emotionen unbewusst.

Dieses Zusammenspiel von Menschen und Raum wird durch drei Gestaltungsschritte konkretisiert.

1. Räumliche Inszenierung

Um die oben theoretisch beschriebene „Fernberührung“ technisch umzusetzen, nutzt ein Raum und sein Design eine präzise akustische Lokalisation. Hierbei kommen Spatial-Audio-Systeme zum Einsatz. Diese sorgen dafür, dass Klänge für die Besucher:innen räumlich exakt ortbar sind. Die Technik bewirkt, dass sich der Klang vom eigentlichen Lautsprecher löst und somit, wie ein unsichtbares Objekt mitten im Raum platziert wird (Lensing 2023, 48).

So wird es möglich, einen Klang direkt an einem physischen Objekt, wie zum Beispiel einem Regal, festzumachen oder ihn als „auditiven Weg“ frei durch den Raum wandern zu lassen. Für die Besucher:innen bedeutet das, dass Klänge nicht mehr nur von einer Seite kommen, sondern im gesamten Raum greifbar werden.

Diese Art der Gestaltung macht es möglich, die vorhandene Wände des Raums im Kopf der Besucher:innen zu verschieben. Obwohl der Raum physisch begrenzt ist, fühlt er sich durch den gezielten Einsatz von Schall viel weitläufiger an (Blauert 1997, 370; Murray Schafer 1994, 11; Sioli und Kiourtsoglou 2022, 17; Goffi 2022, 148).

Dabei können die akustischen Signale auch dazu genutzt werden, die Aufmerksamkeit der Besucher:innen zu lenken und ihn durch den Raum zu führen (Nees, Walker, und Constantine 2009). Damit diese räumliche Führung funktioniert, wird unterschieden, wie die Besucher:innen die Klänge einordnen (Alam, Permana, und Indriani 2023, 168,174). Dafür werden die Begriffe „diegetisch“ und „nicht-diegetisch“ verwendet. Diegetische Klänge sind für Besucher:innen völlig logisch, da sie direkt aus der Geschichte kommen. Zum Beispiel, wenn ein Buch spricht (Alam, Permana, und Indriani 2023, 168). Solche Geräusche wirken sehr real und helfen den Besucher:innen dabei, eine direkte Verbindung zur surrealen Welt aufzubauen (Alam, Permana, und Indriani 2023, 170,178). Zusätzlich gibt es die nicht-diegetischen Klänge. Diese sind eher wie ein unsichtbarer Gefühlsverstärker im Hintergrund. Sie wirken, ohne dass sie ein konkretes Objekt als Ursprung haben (Alam, Permana, und Indriani 2023, 165–69). Hier kommen oft tiefe Frequenzen um die 31 Hz ins Spiel. Diese werden von den Besucher:innen meist gar nicht als Ton wahrgenommen, sondern eher als ein tiefes Vibrieren in der Brust. Das sorgt unterbewusst für eine Anspannung oder ein Gefühl des Eintauchens in die Atmosphäre, was diese erst richtig greifbar macht (Alam, Permana, und Indriani 2023, 165,179).

2. Psychoakustisches Mapping

Um die in der Theorie beschriebene Wahrnehmung von Lautheit gezielt zu steuern, findet eine Feinabstimmung der Klangereignisse statt. Statt sich auf rein physikalische Pegelwerte zu verlassen, wird die Intensität der Installation direkt in der Einheit „Sone“ kalibriert. Das wird getan, um sicher zu stellen, dass die Klänge im immersiven Raum genau die gewollte Stimmung erzeugen (Nees, Walker, und Constantine 2009, 132).

Da das menschliche Gehör, wie schon erwähnt, Frequenzen je nach Tonhöhen unterschiedlich stark wahrnimmt, werden die Klänge entlang isophonischer Kurven angepasst. Diese Kurven werden auch Kurven gleicher Lautstärke genannt und beschreiben, wie laut ein Ton bei einer bestimmten Frequenz sein muss, damit er als genauso laut wahrgenommen wird wie andere Töne (Bonebright und Flowers 2011, 132). Diese Anpassung gleicht Unterschiede so aus, dass der Sound für die Hörer:innen bei allen Frequenzen gleich laut wirkt (Grond und Berger 2011, 371,372).

Die Installation soll präsent wirken ohne aufdringlich zu sein.

Gleichzeitig wird das Prinzip des Verdeckungseffekts (Maskierung) angewendet. Dieser Effekt beschreibt, wie ein lautes Geräusch ein leiseres verdeckt, sodass das Gehör das leise Geräusch nicht mehr wahrnehmen kann (Zwicker und Fastl 2007, 61). In der Installation diente dies dazu, unvermeidbare Umgebungsgeräusche der Ausstellung, wie zum Beispiel Klimaanlage oder Lüfter, unauffällig zu überlagern und so aus der bewussten Wahrnehmung des Besuchers zu verdrängen (Zwicker und Fastl 2007, 206; Dombois und Eckel 2011, 309). Dieses Prinzip beugt außerdem dem Lombard-Effekt vor, dem unbewussten Drang der Besucher, bei lauter Umgebung lauter zu sprechen. So entsteht ein klares und fokussiertes Klangbild, ohne die Gesamtlautheit für die Besucher:innen unangenehm anheben zu müssen (Moore 2013, 67,68).

3. Atmosphärische Komposition

Im abschließenden Schritt werden die räumliche Struktur und der erzählerische Klang zu einer gestalterischen Einheit zusammengeführt. Ein zentrales Element hierbei ist die Sonifikation. Das bedeutet, dass das Verhalten der Besucher:innen wie zum Beispiel die Bewegungen im Raum direkt in Töne, also eine akustische Rückmeldung umgewandelt wird (Hermann, Hunt, und Neuhoff 2011, 1; Walker und Nees 2011, 9). Anstatt dass die Technik nur starr im Hintergrund läuft, wird so eine lebendige Wechselwirkung erzeugt. Diese Wechselwirkung wird als „closed-loop-interaktion“ bezeichnet (Neuhoff 2011, 88). Es wird eine enge, fast spielerisch wirkende Verbindung zwischen dem, was Besucher:innen tun, und dem, was gehört wird erzeugt (Neuhoff 2011, 88). Da das Gehör sehr sensibel auf zeitliche Muster reagiert, beginnen Besucher:innen ganz unbewusst mit der

Umgebung zu kommunizieren. Sie müssen dabei nicht verstehen, wie die Technik funktioniert, sie passen ihr Verhalten intuitiv an die klangliche Antwort des Raums an (Lensing 2023, 49–50). Durch dieses Zusammenspiel verschmelzen die Klänge so untrennbar mit der Gestaltung des Ortes, dass die Technik für Besucher:innen völlig in den Hintergrund tritt. Die Lautsprecher und Sensoren werden nicht mehr als Fremdkörper wahrgenommen, sondern als Teil der Architektur.

Ziel ist es, die theoretisch hergeleitete „acoustic atmosphere“ praktisch umzusetzen und einen gestimmten Raum zu schaffen (Sioli und Kiourtsoglou 2022, 18–24; Kiourtsoglou 2022, 164). Der Fokus liegt hierbei auf der Stimmigkeit der klanglichen Umgebung, sodass alle akustischen Signale als natürlicher Teil der Umgebung wirken. Das sorgt dafür, dass Besucher:innen den eigentlichen Raum um sich herum und die Zeit vergessen und stattdessen das Gefühl haben, mitten in der Geschichte zu stehen (De Jong 2018, 90; Jakubowski 2011, 77). So entsteht ein echtes Erlebnis, bei dem nicht mehr nur von außen zugehört, sondern tief in die klangliche Welt eingetaucht wird.

Das Sonic Interaction Design wird so zur entscheidenden Verbindung zwischen Technik und Gefühl (Serafin u. a. 2011, 87). Es nutzt psychoakustische Erkenntnisse, um physikalische Schwingungen in ein tiefgreifendes Erlebnis zu verwandeln (Lensing 2023, 41). Dabei steht nicht mehr nur die Technik im Vordergrund, sondern die individuelle Wahrnehmung und Beteiligung des Menschen (Serafin u. a. 2011, 99,100). Auf diese Weise wird der Klang im Raum emotional greifbar und die Erfahrung über das reine Hören hinaus erweitert (Zwicker und Fastl 2007, 11; Serafin u. a. 2011, 87; Sioli und Kiourtsoglou 2022, 20,21).

2.3.1 Auditory Icons und Earcons

In dem gerade erklärten Sonic Interaction Design gibt es zwei methodische Ansätze, um eben diese Nicht-Sprach-Signale zu gestalten: Die Auditory Icons und die Earcons (Barrass 1997, 8; Blattner, Sumikawa, und Greenberg 1989, 1). Auditory Icons bauen auf einem semantischen Ansatz auf, indem sie Informationen durch Karikaturen von Alltagsgeräuschen vermitteln.

Das bedeutet, dass die Klänge einen Bezug zur realen Welt haben. Ein Beispiel hierfür ist ein Vogelzwitschern, um einen Wald akustisch zu repräsentieren. Da ein Mensch dieses Geräusch direkt mit dem natürlichen Lebensraum verbindet, wird die Information automatisch verstanden, ohne dass es erst erlernt werden muss (Barrass 1997, 8; Blattner, Sumikawa, und Greenberg 1989, 14). Diese Verbindung bezeichnet man als nomisches Mapping. Das heißt, dass der Klang sich aus der Situation heraus selbst erklärt. Ein Beispiel dafür wäre auch das Rascheln von Papier in einer Bibliothek. Dieses signalisiert sofort, dass ein Buch oder Sonstiges umgeblättert wird (Gaver 1988, Abstract; Barrass 1997, 4).

Die Basis für diese Verständlichkeit basiert auf dem Prinzip des „everyday listening“ (Gaver 1988, Kap. 1). Dabei ist unsere Aufmerksamkeit primär auf die physikalische Herkunft des Klangs gerichtet und nicht auf Tonhöhen oder Rhythmus wie bei dem sogenannten „musical listening“ (Gaver 1988, Kap. 1). In einem immersiven Raum nehmen Besucher:innen also wahr, aus welchem Material ein Gegenstand ist. Dadurch entsteht eine glaubwürdige Atmosphäre (Gaver 1988, Kap. 5). Earcons bauen stattdessen auf nicht-natürlichen Klängen auf. Diese werden auch als syntaktische Klänge bezeichnet, da sie nicht aus der Natur stammen, sondern aus Rhythmus und Tonhöhen gebaut werden. Daher besitzen Earcons keine intuitive Bedeutung, sondern müssen erst neu erlernt werden (Barrass 1997, 8; Blattner, Sumikawa, und Greenberg 1989, 1). Das liegt daran, dass die Beziehung zwischen den Tönen und deren Bedeutungen willkürlich gewählt wird (Barrass 1997, 8,9). Damit die Besucher:innen diese Signale auch wiedererkennen, muss das Gehirn erst mentale Vorlagen erstellen, um das Geräusch beim erneuten Hören sofort wieder zu erkennen (Blattner, Sumikawa, und Greenberg 1989, 37,38).

Diese Klänge setzen sich aus sogenannten Motiven zusammen, welche wie Bausteine funktionieren. Es entsteht eine Einheit aus Tonfolgen und ihrem Rhythmus. Durch das leichte Ändern dieser Bausteine, zum Beispiel der Tonhöhe oder Tempos, lassen sich Klangfamilien erstellen. So erkennen Besucher:in in einem immersiven Raum sofort, dass die verschiedenen Signale zur gleichen Gruppe gehören (Blattner, Sumikawa, und Greenberg 1989, 11,23).

Da Earcons allerdings im Vergleich zu visuellen Elementen flüchtig sind, brauchen sie in dem Moment, in dem sie erklingen die volle Aufmerksamkeit der Besucher:innen (Blattner, Sumikawa, und Greenberg 1989, 13,23). Während Auditory Icons ihre Stärke darin besitzen, dass sie aus dem Alltag erkennbar sind, sind Earcons flexibler in der Darstellung von abstrakten Informationen, welche eigentlich keinen eigenen Ursprung haben. Die Quellen belegen aber auch, dass Besucher:innen die Sounds kaum wahrnehmen können, wenn diese wahllos festgelegt werden (vgl. Smith 1990, zit nach Barrass 1997, 47).

Am Ende ist es weniger wichtig, welcher Klangtyp gewählt wird, sondern, dass sie eine gestalterische Logik besitzen. Nur dann können die Besucher:innen die Klänge ohne langes Nachdenken richtig zuordnen (Barrass 1997, 9).

3. Projektdarstellung und Entwurfskonzept von Ex-Libris

Die Installation Ex-Libris wurde im Event-Media-Studio der Hochschule der Medien, der sogenannten Spielwiese, gebaut. Das Studio besitzt mit einer Grundfläche von rund 100 qm und einer Raumhöhe von 6,5m ein großes Volumen und eine große Fläche. Die exakten Abmessungen der bespielten Fläche betragen, wie in Abbildung 1 zu sehen:

- Rückwand (Pilze und sprechende Baum): 12,830m
- Vorderwand (Bibliothek, Felswand und belebter Baum): 12,913m
- Seitenwand 1 (Bereich der Pilze und Brunnen): 8,585m
- Seitenwand 2 (Bereich der bewegten Blumen und der Bibliothek): 7,119m
- Zusätzliche der Eingang (Schleuse)

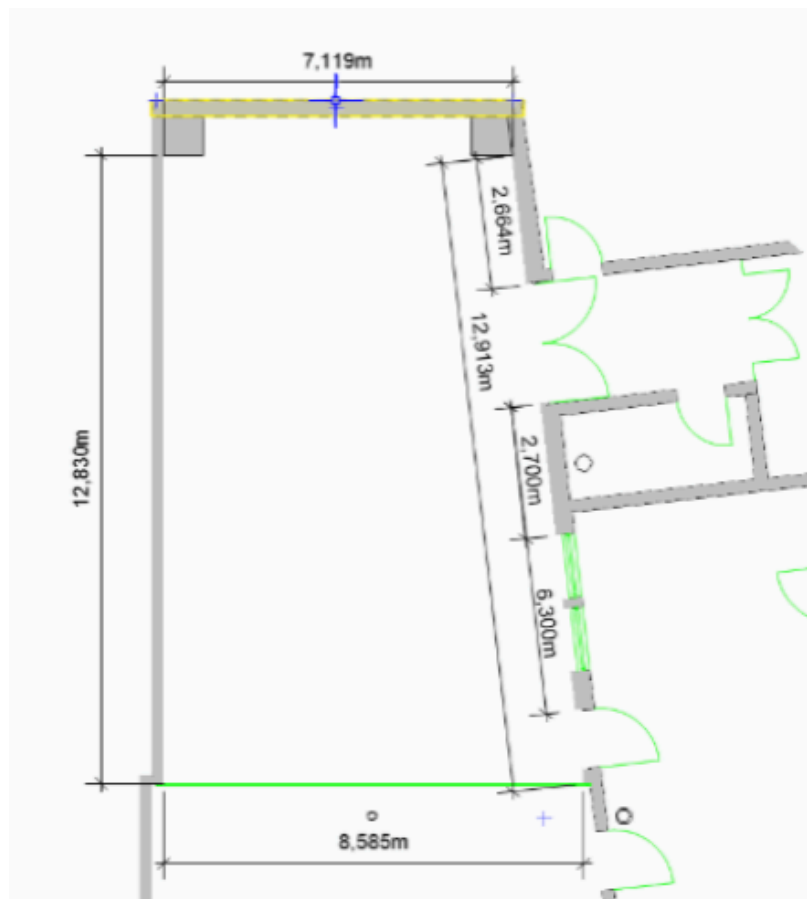


Abbildung 1 Grundriss der Spielwiese

Um den Raum später besser kontrollieren zu können, wurden die Wände wie in Abbildung 2 und 3 zu sehen ist, fast komplett mit schwarzem Molton (B1-zertifiziert) abgehängt. Das diente einerseits dem optischen Aspekt wie Helligkeit im Raum und, um

verschiedenste Studiotechnik zu verdecken. Dadurch bildete es aber auch die notwendige akustische Basis. Damit konnte nämlich die störenden Nachalleffekte des Raums minimiert werden. Die Installation wurde dann in drei aufeinanderfolgende Räume aufgebaut.



Abbildung 2 Molton Verkleidung der Wände im Hintergrund



Abbildung 3 Molton Verkleidung der Wände im Hintergrund

3.1 Die Schleuse

Bevor die Besucher:innen die eigentliche Ausstellung betreten haben, befanden sie sich in einer Schleuse. Dieser kleine Vorraum wurde wie in Abbildung 4 zu sehen, komplett mit schwarzem Molton ausgehängt und somit fast völlig verdunkelt. In diesem reinen Übergangsbereich passiert etwas Spannendes. Zu sehen war noch gar nichts, aber zu hören gab es bereits vieles. Während die Besucher:innen in der Schleuse standen, drangen bereits Geräusche aus der Bibliothek zu ihnen durch. Sie konnten Gemurmel, Gesprächsfetzen und Unruhe, die fast wie Panik wirkten, wahrnehmen. Außerdem waren Stimmen zu hören, die miteinander diskutieren. Da die Besucher:innen noch im Dunklen standen und keine visuellen Anhaltspunkte hatten nahmen sie die Geräusche deutlicher wahr. Sie wurden allein durch den Klang in der Schleuse, direkt in die Zauberwelt hineingezogen noch bevor sie den ersten Fuß in die eigentliche Kulisse gesetzt hatten.

Diese auditive Inszenierung in der Dunkelheit war kein Zufall, sondern führte die Besucher:innen gezielt zum ersten Handlungspunkt. Die Diskussion der Bücher steigerte sich so lange, bis eins von ihnen genervt rief: „Jetzt macht doch mal einer das Licht an!“. Diese Aussage war der Moment, in der sich die Tür zur Bibliothek öffnete und den Blick und den Weg in die Bibliothek frei gab.

Mit diesem Punkt wurde schon von Anfang an klar, dass die Akustik in diesem Projekt eine sehr wichtige Rolle spielen wird.



Abbildung 4 Abhängung der Schleuße

3.2 Die antike Bibliothek

Sobald die Besucher:innen die Bibliothek betreten haben, wurden sie vom passiven Beobachter zum aktiven Protagonisten. Der Raum vermittelte sofort, dass die Ordnung der Geschichten zerbrochen ist. In einer gedämmten Lichtstimmung wird zwischen den deckenhohen, mit Büchern gefüllten Regalen das Chaos lebendig. Die Bücher sowie Porträts, die sich auf geheimnisvolle Weise bewegen, siehe Abbildung 5, beginnen mit den Besucher:innen zu kommunizieren.



Abbildung 5 magische Porträts

Sie berichteten ihnen, dass die Figur „Billy“ aus ihrem ursprünglichen Buch herausgefallen und in einer völlig fremden Erzählung gelandet sei. Dort bringt er die Handlung unbewusst durcheinander. Außerdem sei bei seinem Sturz das Buch zugeklappt worden, wodurch Billy nun in der falschen Geschichte feststecke. Die Bibliothek bittet daraufhin die Besucher:innen, Billy zu finden und ihn aus dieser Lage zu befreien, um die Ordnung der Geschichten wieder herzustellen. An dieser Stelle trat der interaktive Part des Raums in den Vordergrund. In der Mitte des Raums befand sich eine Art Podest, auf dem ein großes, schweres Buch lag. Dieses Buch war der physische Ankerpunkt für den Übergang in die Geschichte. Der Schlüsselmoment entsteht, wenn die Besucher:innen dieses Buch, welches in Abbildung 6 und 7 zu sehen ist, aufklappten.



Abbildung 6 Das Buch in welches Billy gefallen ist



Abbildung 7 Podest mit Buch und Bücherwand

Durch das veränderte Gewicht auf dem Podest wurde ein Mechanismus ausgelöst, der eine große Holztüre öffnete, welche noch geschlossen in Abbildung 8 zu sehen ist. Erst durch diese aktive Handlung der Besucher:innen wurde der Weg freigegeben, um aus der Bibliothek in den magischen Wald eintreten zu können.



Abbildung 8 Die alte Holztüre

3.3. Der magische Wald

Sobald die Holztür der Bibliothek aufgeschwungen ist, treten die Besucher:innen in eine weitläufige, surreale Naturkulisse. Der gesamte Boden des Raums war wie in Abbildung 9 zu sehen, mit Kunstrasen ausgelegt, was den haptischen Kontrast zur Bibliothek verstärkt.



Abbildung 9 Kunstrasen

Mitten in diesem Raum trafen die Besucher:innen auf den „Kakubaz“, den Hüter des Waldes. Dieser flog wie in Abbildung 10 zu sehen, über ihren Köpfen in einer Baumkrone umher. Er begrüßte die Anwesenden nicht gerade gastfreundlich und machte klar, dass sie unerwünscht seien. Er fordert die Besucher:innen unter Androhung von Gefangenschaft auf, umgehend die von Billy verursachten Schäden zu reparieren. Dabei setzt er ein zeitliches Limit und erschien im Verlauf der Geschichte immer wieder, um den Zeitdruck akustisch und visuell zu verdeutlichen.

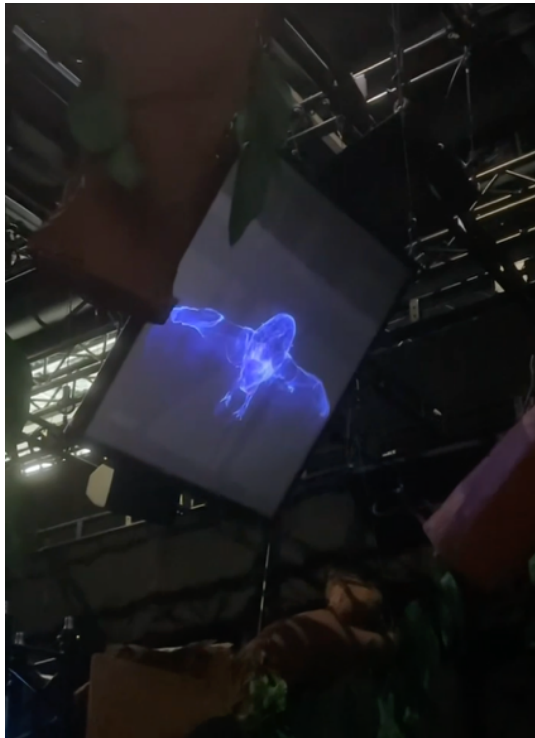


Abbildung 10 Kakubaz der Hüter des Waldes

In diesem Raum befanden sich vier interaktive Stationen, welche die Besucher:innen lösen mussten, um die Schäden, die Billy angerichtet hat, zu reparieren.

Der belebte Baum:

An dieser Station mussten die Besucher:innen einzelne Kristallstücke finden und zu einem Ganzen, siehe Abbildung 11, korrekt zusammensetzen.



Abbildung 11 Zusammengesetzter Kristall

Die Informationen, wo diese Kristallstücke zu finden waren, haben sie von den Bewohnern des Baumes erhalten. Durch Klingeln an den jeweiligen „Haustüren“ erschien eine Gestalt, welche die benötigten Tipps gab. Die Wohnungen und die Aufteilung des belebten Baums sind in den Abbildungen 11, 12 und 13 zusehen.



Abbildung 12 belebter Baum nah



Abbildung 13 belebter Baum

Die Brunnenwesen:

In dem Brunnen befanden sich Wesen in Not, welche in Abbildung 14 zu erkennen sind und durch ihre leuchtenden Augen dargestellt wurden.

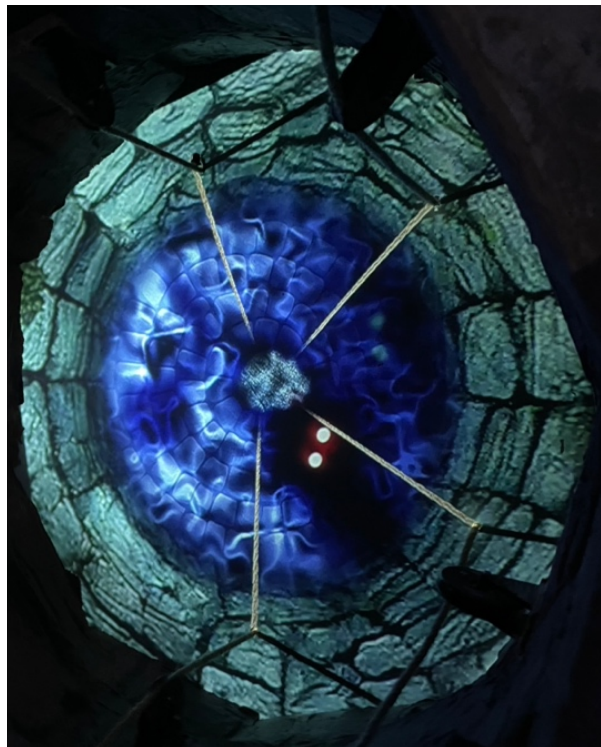


Abbildung 14 Brunnenwesen

Da ein Stein die benötigte Wasserzufuhr verstopfte, waren die Besucher:innen gefordert alle gemeinsam arbeiten und an Seilen ziehen, um die Wesen zu retten. Die Seile befinden sich an den Kurbeln, welche in Abbildung 15 und 16 zu sehen sind. Die benötigten Informationen für das, was an dem Brunnen getan werden musste, bekamen die Besucher:innen wieder von den Brunnenwesen selbst.



Abbildung 15 Brunnen



Abbildung 16 Kurbel am Brunnen

Die singenden Pilze:

An der Station der Pilze erklärten diese den Besucher:innen, etwas verwirrt und durcheinander, dass sie leider ihre Melodie vergessen haben und Hilfe von ihnen benötigen wieder eine neue zu bekommen. Durch das Berühren der Pilze, von denen jeder seinen eigenen Ton besitzt, konnten die Besucher:innen den Pilzen wieder eine Melodie verleihen. Nachdem diese Aufgabe abgeschlossen ist, singen diese ihre neue Melodie im Hintergrund dauerhaft weiter (siehe Abbildung 17 und 18).



Abbildung 17 Die singenden Pilze nah



Abbildung 18 Die singenden Pilze

Der Spiegelbaum:

Sobald die Besucher:innen sich dem Spiegelbaum, welcher auf Abbildung 19 zu sehen ist, näherten, machte dieser sich sofort bemerkbar.



Abbildung 19 Der Spiegelbaum

Der Spiegelbaum wird von einer weiblichen Figur verkörpert. Sie sagte den Besucher:innen, dass Billy gegen sie gestoßen sei und ihre Position verändert hat. Daher benötigte sie Hilfe, um wieder zurück in ihre richtige Position zu kommen. Die Aufgabe der Besucher:innen war es, sie durch das physische Drehen wieder so auszurichten, sodass sie ihre Blumen wieder zum Leben erwecken konnte. Denn diese benötigten das gespiegelte Mondlicht, um weiter leben zu können. Durch das richtige Ausrichten öffneten sich diese dann tatsächlich. Auf Abbildung 20 und 21 sind der Mond und die Blumen zu sehen.



Abbildung 20 Spiegelbaum, Mond, Blumen



Abbildung 21 belebter Baum im Raum

In der Mitte des Raums befindet sich der in Abbildung 22 zu sehende große Hauptbaum.



Abbildung 22 Hauptbaum in der Mitte des Raums

Jede erfolgreich gelöste Aufgabe wurde hier durch ein visuelles und ein akustisches Feedback bestätigt. Jedes Mal wanderte ein Lichtstrahl diesen Baum hinauf. Dieser Lichtstrahl ist der Abbildung, 23 sehen. Begleitet wurde dieser von einem Sound, welcher für die Besucher:innen sofort erkennbar machte, dass sie einen Teil der Geschichte repariert hatten.



Abbildung 23 Lichtstrahl am Hauptbaum

Sobald alle Aufgaben unabhängig von ihrer Reihenfolge abgeschlossen waren, tauchte Kakubaz noch ein letztes Mal auf. Aber anstatt sich zu bedanken, blieb er der mürrische Hüter. Er hatte genug von den Fremden in seinem Reich und warf die Besucher:innen aus seinem Wald hinaus. Das ist der Moment, in dem die Reise endete und die Besucher:innen wieder in die Realität zurückkehrten. In Abbildung 24 ist nochmal der Hauptbaum mit den Lichtstrahlen und dem Kakubaz zu sehen.



Abbildung 24 Hauptbaum mit Lichtstrahlen und dem Kakubaz

4. Umsetzung von Ex-Libris

In diesem Kapitel wird gezeigt, wie die theoretischen Grundlagen der Psychoakustik und des Soundscape Designs in der Installation umgesetzt wurden. Das Ziel war es, den Sound so zu gestalten, dass er für die Besucher:innen zu einer emotional spürbaren auralen Architektur verschmilzt.

4.1 Praktische Anwendung des Soundscapes-Modells

Die akustische Gestaltung der Räume baut auf den in Kapitel 2 dargestellten Prinzipien der auralen Architektur auf und hat das Ziel diese in eine erlebbare Umgebung zu übersetzen. Um die biologische Filterfunktion des Gehörs optimal zu nutzen, wurde der gesamten Spielraum des menschlichen Gehörs von 16 Hz bis 20 kHz ausgenutzt (Moore 2013, 54,108). Die Klänge wurden dabei gezielt so im Raum verteilt, dass sich die verschiedenen Erzählebenen nicht gegenseitig überlagern oder verdecken.

Ein wichtiger Punkt hierbei war die standardmäßige Auskleidung des Raums mit Molton, welche in Kapitel 3 bereits angesprochen wurde. Dieser Molton sorgt dafür, dass der Hall im Raum geschluckt wird und somit verhindert, dass feine Klänge untergehen. Erst durch diese Kontrolle wird es möglich, Klänge im Raum so präzise zu platzieren, dass sich diese nicht gegenseitig überlagern.

4.1.1 Räumliche Inszenierung. Die objektbasierte Klangwelt

Um die vielen verschiedenen Klänge wie die Stimmen der Pilze oder das Donnern im Wald gleichzeitig und präzise steuern zu können, wurde ein Dante-System (Digital Audio Network Through Ethernet) genutzt. Diese Technik funktioniert wie ein digitales Nervensystem. Alle Tonsignale werden über ein einziges Netzkabel von einem Computer an die Lautsprecher gesendet. Der Vorteil von dem System war es, dass jeder Lautsprecher einzeln angesteuert werden konnte (Audinate Group Limited 2026). So war es möglich, dass zum Beispiel ein Buch genau aus seinem Regalplatz sprach, während die restliche Raumatmosphäre normal weiterlief. In Abbildung 26 sind die Skizzen der Kanalbelegungen zu sehen.

sorgte dafür, dass die Immersion stabil blieb, da der Raum so nie vollkommen verstummte.

Akustische Überraschung und Trennung:

Um die Spannung aufrecht zu halten, wurde der Waldbereich zu Beginn des Besuchs komplett isoliert. Obwohl sich der Wald und die Bibliothek physisch im selben Raum befanden, blieben die Waldsounds stumm, solange sich die Besucher:innen noch in der Bibliothek aufhielten. Da dieser durch eine gebaute Raumtrennung auch noch nicht zu sehen war, konnte keiner ahnen, dass er sich dort befindet. Erst durch das Aktivieren des „Portals“, welches die Besucher:innen in die Geschichte und somit in den Wald brachten, öffnete sich die schwer aussehende Holztüre und die neue Erzählebene wurde aktiviert. Der Sound der Holztüre, spricht dabei das „everyday listening“ an (Gaver 1988, Kap. 1). Dieser abrupte Wechsel der Geräuschkulisse weg von der knarrenden Bibliothek hinein in einen lebendigen Wald sorgte für eine sofortige psychoakustische Wandlung. Die Besucher:innen fühlten sich durch die magische Art der Klangkulisse sofort an einen anderen Ort versetzt, was die „Place Illusion“ (Slater 2009, 3551) effektiv verstärkte.

Um diese Wirkung technisch klarer zu machen und die akustische Trennung der Räume trotz der offenen Architektur zu gewährleisten, wurde die Installation in drei funktionale Schichten unterteilt. Ziel war eine klare akustische Zonierung. Darunter versteht man die Aufteilung eines Raums in verschiedene Klangbereiche, die voneinander abgegrenzt sind, damit sich die einzelnen Ebenen nicht gegenseitig stören. Aktuelle Gestaltungsstandards nutzen dieses Prinzip, um Räume in verschiedene Sound Zones zu unterteilen. Dies verbessert den akustischen Komfort und die Funktionalität des Raums (WELL Building Standard, zitiert nach Kurukose Cal, Aletta, und Kang 2025, 9,14). Um eine glaubwürdige Welt zu erschaffen, wurden hauptsächlich Auditory Icons verwendet. Für alle magischen Ereignisse oder Signale wurden Earcons verwendet.

- Zonierung durch Punktquellen (eng. Point Sources):

Die Lautsprecher wurden so tief in die Szenografie integriert, dass der Schall untrennbar mit dem physischen Objekt verschmolzen ist. Zum Beispiel die Lautsprecher in den Bücherregalen oder die Pilzgruppe im Wald. Da diese Punktquellen eine sehr begrenzte Reichweite hatten, konnten die Besucher:innen in der Bibliothek ganz in die Welt der Bücher eintauchen, ohne durch verfrühte

andere Geräusche aus dem verborgenen Waldteil abgelenkt zu werden. So wurden beispielsweise verschiedene Kanäle genutzt, um das Sprechen der Bücher akustisch an deren mechanischen Bewegungen zu koppeln. Die Stimmen der Bücher fungierten hier als Auditory Icons, wodurch das bereits erklärte, nomische Mapping entstand. Da die menschliche Sprache physikalisch an das Objekt gebunden war, konnten die Besucher:innen dieses ohne Lernaufwand als Teil der magischen Welt verstehen.

Dieses Prinzip wurde im Wald konsequent weitergeführt. So besaß jeder Pilz des Pilzchors eine eigene Schallquelle, wodurch der Eindruck entstand, die Pilze würden tatsächlich individuell und direkt von ihrem Ort aus singen. Dabei bildeten sie eine Klangfamilie, und konnten trotz unterschiedlicher Töne als zusammengehörig erkannt werden.

- Akustische Zonierung durch Filterung:

Trotz der physischen Nähe der Räume wurden eine akustische Distanz geschaffen. In der Schleuse wurden die Stimmen der Bücher bewusst frequenztechnisch bearbeitet. Durch eine Dämpfung der hohen Frequenzen (Low-Pass-Filter) klangen die Stimmen gedämpft, als würden sie durch die schwere Türe dringen. Das unterstützte die räumliche Trennung auf rein auditiver Ebene und weckte sofort die Neugierde auf den nächsten Raum.

- Atmosphärische Ebenen (Rig):

Im Gegensatz zu den Punktquellen an den Objekten wurden die Kanäle im sogenannten Truss System (Rig) genutzt, um den 6 Meter hohen Luftraum zu füllen. Ein Rig bezeichnet hier ein an der Decke montiertes, höhenverstellbares Trägersystem, welches eine präzise Positionierung der Lautsprecher ermöglichte und in Abbildung 26 zu sehen ist (STABER Ingenieurbüro GmbH & Co. KG 2026).

Über dieses wurden großflächig Klänge wie das Donnern, die Ankündigung des Kakubaz oder die allgemeine Waldatmosphäre eingespielt. Diese Trennung sorgt dafür, dass die Atmosphäre den gesamten Raum einnahm. Während das Donnern dabei ein natürliches Auditory Icon ist, war die Ankündigung des Kakubaz als Earcon ein deutliches Warnsignal, da es im Raum sofort die Aufmerksamkeit auf

sich zog. Obwohl die Installation in einem geschlossenen Raum stattfand, erzeugte der Sound von oben den Eindruck eines weiten endlosen Waldes. Das Gehirn der Besucher:innen wurde dadurch so beeinflusst, dass es den Raum als deutlich größer wahrnahm, als er physisch tatsächlich war.



Abbildung 26 Das Rig samt Lautsprecher

Diese Effekte passen zu den Aussagen von Rieger. Er beschreibt, dass eine immersive Welt erst durch das Wechselspiel von technischer Gestaltung und der menschlichen Einbildungskraft entsteht. Die technische Umsetzung, also die mediale Topologie, durch Punktquellen, Filterung und das Rig bildet dabei das Fundament, auf dem die Fantasie des Besuchers aufbauen kann (Rieger 2025, 141). Das Truss-System gibt hierbei den akustischen Rahmen vor, während erst im Kopf des Besuchers diese Signale zu dem Gefühl verschmelzen, wirklich in einem Wald zu stehen.

Dieser Ansatz, den Raum und den Ton als Einheit zu planen, setzt genau das um, was Jorge Lensing als Ziel moderner Gestaltung beschreibt. Er fordert, dass Designer nicht nur mit den Augen, sondern auch mit den Ohren planen sollten (Lensing 2023, 53). Nur so entstehen „Holistische Umgebungen“ (Lensing 2023, 54), also Räume, die als stimmiges Ganzes funktionieren. In diesen Umgebungen soll alles, also Klang, Form und Funktionen perfekt zusammenarbeiten und ineinandergreifen, um die Besucher:innen

vollständig in eine „immersive auditory narrative“ einzubinden (Lensing 2023, 54).

4.1.2 Psychoakustisches Mapping: Fokus und Sprachverständlichkeit

Nachdem die räumliche Verteilung festgelegt war, folgte die Feinabstimmung der Klänge auf den Menschen. Um das volle Potenzial des zuvor beschriebenen menschlichen Hörbereichs in dem akustisch anspruchsvollen Raum auszuschöpfen, wurde ein gezieltes Frequenz-Mapping durchgeführt. Hierbei wurde die bereits erläuterte Fähigkeit des Gehörs genutzt, komplexe Klanggemische in ihre Einzelteile zu zerlegen. Anstatt die einzelnen Signale unkontrolliert im Raum zu verteilen, wurden den Klängen einzelne Frequenzbereiche zugewiesen (Lensing 2018, 24). Dies ermöglichte es, die narrative Ebene klar von der atmosphärischen Kulisse abzutrennen.

- Physische Präsenz durch Subwoofer:

Um das bedrohliche Grollen des Kakubaz und den Donner nicht nur hörbar, sondern auch fühlbar zu machen, wurde ein Subwoofer wie in Abbildung 27 direkt auf dem Boden platziert. Während der atmosphärische Klang bzw. Klänge über das Truss System in der Höhe verteilt wurden, deckt der Subwoofer das untere Ende des Frequenzspektrums ab. Da diese tiefen Frequenzen nahe der 16 Hz Grenze als Körperschall wahrgenommen werden (Lensing 2018, 20–21), verstärkte es die physische Reaktion der Besucher:innen beim Erscheinen des Antagonisten (Kakubaz) massiv.



Abbildung 27 Sub am Boden

- Maskierungseffekt zur Immersionssteuerung:
Ein weiterer Schritt des Mappings war die gezielte Maskierung technischer Störgeräusche. Durch die Überlagerung von Ambient Sounds im mittleren Frequenzbereich wurden die Betriebsgeräusche zum Beispiel von den Beamern ausgeblendet. Das stellte sicher, dass die Konzentration der Besucher:innen rein auf der narrativen Ebene blieb.

- Präsenzschärfe für Sprachverständlichkeit:
In der Bibliothek war es besonders wichtig, dass jedes Wort der „sprechenden Bücher“ klar bei den Besucher:innen ankommt. Das liegt daran, dass Menschen von Natur aus vocozentriert sind (Chion 1994, 6; Lensing 2018, 54). Das bedeutet, dass unser Gehirn darauf programmiert ist, Stimmen automatisch als wichtigste Information aus der Umgebung herauszufiltern. Um diesen Effekt im Raum zu unterstützen, wurden die Stimmen der Bücher leicht bearbeitet. Damit die Stimmen natürlich klingen, die Sprachverständlichkeit verbessert wird und sie nicht „zischen“ kam in der Bibliothek sowie im Wald der De-Esser zum Einsatz. Dieser dämpft scharfe Silben ab, sodass die Stimmen als klare „akustische Figur“ wahrgenommen werden konnten, ohne künstlich oder aufdringlich zu wirken (Lensing 2018, 20–30). Diese Bearbeitung war wichtig, damit die Stimmen als glaubwürdige Auditory Icons funktionieren. Nur durch diesen natürlichen Klang ohne starke Bearbeitung oder Verzerrung akzeptiert das Gehör die Stimme als reale Figur im Raum.

- Klangliche Charakterisierung der Waldwesen:
Im Gegensatz zur natürlichen Sprache der Bücher wurden im Wald gezielt mit Klangverformungen und stimmlichen Acting gearbeitet, um die magischen Bewohner charakterlich voneinander abzugrenzen. Da das Gehör sehr sensibel auf Abweichungen von der normalen Stimme reagiert, wurde dies genutzt, um den Wesen ihr magisches „Ich“ zu schenken.

- Tempo und Pitch:
Schon bei der Aufnahme wurde auf die Dynamik geachtet. So sprach beispielsweise der Hase aufgeregt, schnell und in einer höheren Lage, was durch

anschließendes Pitching verstärkt wurde. Die Schildkröte wurde dagegen als bewusster Kontrast dazu tief und langsam aufgenommen.

- Textur und Akzent:

Um die Spinne bedrohlicher und fremdartiger wirken zu lassen, wurde sie mit einem russischen Akzent und zusätzlichem „ekligem“ Schmatzen vertont. Der Frosch hingegen wirkte durch seinen schwäbischen Akzent sehr offen und lustig.

- Stimmfarbe:

Die Gnom-Familie blieb in ihrer Darstellung zwar etwas menschlicher, erhielt aber einen „quäkigen“ Unterton, während die Pilze durch die Bearbeitung eher kindlich und verspielt wirkten. Auch die Brunnenwesen erhielten alle stark unterscheidbaren Stimmen, um die einzelnen Charaktere besser voneinander trennen zu können.

- Der Kakubaz:

Als Antagonist wurde der Kakubaz besonders intensiv bearbeitet aber auch bereits auf konkreter Weise gesprochen. Seine Sprache wurde direkt und stark betont, mit einem leicht frechen, tiefen Grundton. Um ihn als übermächtige Erscheinung darzustellen, wurde eine Kombination aus Hall (Reverb) und Echo (Delay) genutzt. Während der Hall der Stimme ein unnatürliches, rausfallendes Volumen gab, sorgte das Echo für eine bedrohliche Weite. Durch diese bewusste Entscheidung den Kakubaz weniger menschlich, sondern eher wie einen animierten Bösewicht- darzustellen, definiert er sich zu einem akustischen Earcon.

- Effekte:

Der Spiegelbaum erhielt durch den Einsatz von Hall-Effekten eine mystische/magische Persönlichkeit. Diese unterschiedlichen Bearbeitungen der Wesen sorgten dafür, dass jedes Wesen sofort als eigenständiger Bewohner wahrgenommen wurde. Obwohl diese ganzen Charaktere sehr individuell klingen, wirkt die Welt nicht wie ein zusammengewürfeltes Durcheinander. Das liegt daran, dass alle Effekte in die gemeinsame Raumatmosphäre eingebettet wurden.

Dieser Klangteppich im Hintergrund hält alles zusammen und sorgt dafür, dass die einzelnen Wesen trotz ihrer Unterschiede als Teil derselben Geschichte wahrgenommen werden.

4.1.3 Interaktive Trigger-Steuerung und Besucherführung

Statt die Klänge nur hintereinander abzuspielen, wurde die gesamte Akustik interaktiv gestaltet. Durch den Einsatz von Sensoren reagierte der Sound direkt darauf, wo sich die Besucher:innen gerade befanden oder was sie gerade taten. So war es egal, in welcher Reihenfolge sie durch die Ausstellung gingen, der Sound passte sich immer dem aktuellen Standort an.

Auslösen durch Handlung:

Die Objekte und die Wesen im Wald reagieren erst, wenn wirklich mit ihnen interagiert oder sich ihnen angenähert wurde. Hier wurde das Prinzip der Sonifikation umgesetzt. Die Bewegungsdaten der Besucher:innen wurden direkt in klangliche Ereignisse übersetzt. Die Lebewesen im belebten Baum fingen erst an zu sprechen, wenn man die jeweilige Klingel läutete. Die Brunnenwesen wurden aktiv und fingen an zu sprechen, in dem Moment wo man sich dem Brunnen näherte und an ihm stand. Auch der Spiegelbaum sowie die singenden Pilze reagierten sofort, wenn man auf sie zuing. Das sorgte dafür, dass die Besucher:innen das Gefühl hatten, die Welt wirklich durch ihr Handeln zum Leben zu erwecken.

Belohnung durch Sound:

Ein gutes Beispiel hierfür sind die Pilze. Sie erzählten den Besucher:innen erst ihre Geschichte und dass sie ihren Gesang verloren haben. Erst als die Besucher:innen die Pilze aktiv berührt haben, fing das Lied, welches die Besucher:innen kreiern haben, an zu spielen.

Dieser intuitive „Dialog“ zwischen Berührung und Tönen stellt genau die zuvor beschriebene „closed-loop-interaction“ dar. Aufgrund dessen, dass die Pilze in der Geschichte ab diesem Zeitpunkt „repariert“ waren, lief das Lied danach dauerhaft weiter. Aber auch der Hauptbaum in der Mitte des Raums dient als ein Beispiel. Denn jedes Mal, wenn eine Aufgabe erledigt, ein Teil von Billys Chaos wieder rückgängig gemacht und

der Kakubaz zufriedener wurde, leuchtete eine „Ader“ vom Boden des Baums auf. Außerdem wurde ein Sound-Feedback als Bestätigung für die Besucher:innen abgespielt. Dieser Sound war ein klassischer Earcon. Ein Signal, welches den Besucher:innen ohne Worte vermittelt hat, dass sie eine Aufgabe erfolgreich abgeschlossen haben.

Zusammenspiel von Licht und Ton:

Damit die Reaktion der Stationen noch deutlicher wurde, passierte oft beides gleichzeitig. Wenn der Sound durch eine Berührung ausgelöst wurde, änderte sich zum Teil synchron auch das Licht. Das gab den Besucher:innen eine sofortige Rückmeldung, dass ihre Aktion erfolgreich war. Zum Beispiel das Einsetzen des Kristalls im belebten Baum: Parallel zu einem Sound, der „Magie“ und Staunen aussagen sollte, leuchtete der Kristall hell auf. Dieses Earcon gab den Besucher:innen zusammen mit dem Licht ein direktes Feedback für Augen und Ohren. So wussten die Besucher:innen immer sofort, was sie gelöst haben. Diese Vorgehensweise führte dazu, dass die Technologie im Hintergrund in Vergessenheit geriet und die Inszenierung einen authentischeren Eindruck vermittelte.

5. Methodische Verankerung und Analyse

Nachdem die Kapitel bisher die technische und gestalterische Umsetzung von Ex-Libris beschrieben haben, folgt nun die methodische Analyse der Ergebnisse. Dabei steht die Frage, ob die Umsetzung in der Praxis im Raum so funktioniert hat, wie sie im Entwurf geplant war, im Mittelpunkt.

In diesem Kapitel wird untersucht, wie gut das Zusammenspiel aus interaktivem Sounddesign, auraler Architektur und der Atmosphäre funktioniert hat und ob die Besucher:innen tatsächlich so tief in die Welt eingetaucht sind wie geplant.

Da die Installation zum Zeitpunkt dieser Analyse nicht mehr physisch existiert, stützt sich die Untersuchung auf eine retrospektive Reflexion. Grundlage dafür sind die technische Dokumentation, Foto- und Videomaterial sowie ein Gedächtnisprotokoll über das damalige Besucherverhalten.

Auch ohne Messdaten ermöglicht dieser Blickwinkel eine Auswertung. Das erlaubt es, die individuellen Reaktionen der Besucher:innen im Nachhinein zu bewerten und sie mit den theoretischen Konzepten des Sonic Interaction Designs zu vergleichen. Auf diese Weise lassen sich wertvolle Einblicke in die atmosphärische Wirkung und die emotionale Tiefe von Ex-Libris gewinnen, die reinen Zahlen oft gar nicht einfangen könnten.

5.1 Emotionen durch Interaktionen

Im Rückblick auf die Ausstellung lässt sich feststellen, dass die emotionale Reise der Besucher:innen nicht erst im Wald, sondern bereits in der Bibliothek begann.

Hier fungierten die flüsternden Bücher als erste Interaktionspunkte. Diese Klänge weckten die Neugier und schickten die Besucher:innen los, noch bevor sie den eigentlichen Ausstellungsraum betraten. Dieser sanfte Einstieg war entscheidend, um die Hemmschwelle abzubauen und die Besucher:innen auf die folgende, fiktive Welt vorzubereiten.

Der erste emotionale Kontakt mit dem Wald war alles andere als leise. Die Figur Kakubaz fungierte als akustischer Eisbrecher. Indem er die Besucher:innen schlecht gelaunt anmohnte und sie so sofort aus ihrer passiven Besucherrolle herausriss und sie dazu

brachte, sich mit der neuen Umgebung auseinander zu setzen. Diese unerwartete Reaktion löste die anfängliche Distanz sofort und machte den Weg für spielerische Erkundung frei. Sobald die Besucher:innen dann zum Beispiel die leuchtenden Pilze berührten, änderte sich die Stimmung erneut. Der unmittelbare "closed-loop-dialog" - also das direkte Antworten des Raums auf die Interaktion - wandelte das Erstaunen in eine sichtbare Freude um.

In der Psychologie spricht man hierbei von einer positiven Veränderung der Freude (Valenz) und der Dominanz, also das Gefühl der Selbstwirksamkeit. Die Besucher:innen merken, dass sie den Raum kontrollieren können, was ein Erfolgserlebnis auslöst (Serafin u. a. 2011, 92). Hier bestätigt sich, dass Töne als emotionales Bindeglied funktionieren, welches die Grenze zwischen physischen Raum und fiktiver Erzählung aufhebt (Lensing 2023, 12). Dieser emotionale Dialog setzt sich am belebten Baum fort, wobei hier fast das gesamte Spektrum des menschlichen Hörvermögens gezielt zur Charakterisierung genutzt wurde. Anstatt nur Informationen zu vermitteln, erzeugten die unterschiedlichen Tonhöhen emotionale Reaktionen. Die hohen Frequenzen lösten Freude aus, während die tiefen langsamen ein beruhigendes Gefühl auslöste. Im Fall der Spinne wurde eine bewusste Abstoßung bewirkt.

Der zentrale Baum in der Mitte diente als Ankerpunkt. Die hier eingesetzten Bestätigungssounds bei erfolgreicher Interaktion fungierten als Sonifikation des Erfolgs. Sie gaben den Besucher:innen ein sofortiges Gefühl der Kompetenz und schlossen den Kreis der Immersion. Hier verschmolzen klangliche Identität und räumliche Erzählung zu einer immersiven „Gestalt“, die die Besucher:innen komplett in die fiktive Welt zog.

5.2 Gestalterische Analyse - Sound als narratives Leitsystem

Während die räumliche Struktur in Kapitel 3 bereits dargelegt wurde, betrachtet die folgende Analyse die akustische Funktionsweise, welche diese Räume erst zum Leben erweckte. Die Analyse der gestalterischen Umsetzung zeigt, dass Ex-Libris darauf baute, den Sound als unsichtbares Leitsystem zu nutzen. Anstatt die Besucher:innen durch rein visuelle Erfahrungen durch den Raum zu führen, wurde eine akustische Dramaturgie geschaffen, die die Wahrnehmung steuerte und die technologische Ebene in den Hintergrund schob.

Dieser Prozess begann bereits in der Schleuse. Durch die bewusste Wahl, den Raum komplett abzudunkeln wurden den Besucher:innen die visuellen Reize entzogen und das Gehör wurde geschärft. Dadurch, dass Besucher:innen dort bereits die Bücher tuscheln hörten, wurde das Gehör schon auf die feinen Nuancen vorbereitet, die für die darauffolgende Bibliothek wichtig waren. Ohne diese Vorbereitung hätten die Interaktionen in der Bibliothek nicht die gewollte magische Wirkung entfalten. Die Bibliothek konnte durch ihre bauliche Trennung von Schränken und Tür den Besucher:innen einen heimischen privaten Bereich bieten. Das bereitete sie emotional auf den Wald vor.

Im Wald änderte sich die Gestaltungsstrategie hin zu einer funktionalen Aufteilung von Frequenzen und Räumlichkeit. Alle Elemente, die den Spielbetrieb leiten oder als Belohnung dienen, wurden im hochfrequenten Bereich geplant. Dazu gehören alle vier Interaktionspunkte. Diese hohen Töne werden vom Menschen oft mit positiven Emotionen verbunden (Alam, Permana, und Indriani 2023, 172).

Dies wurde durch organische Naturklänge wie Vogelstimmen unterstützt, die in der Sonifikation mit glücklichen Stimmungen verbunden werden (Jakubowski 2011, 23; Eoin und Fernström 2011, 513).

Die Analyse verdeutlicht jedoch, dass diese spielerische Atmosphäre gezielt durchbrochen wurde, sobald die Figur des Kakubaz erschien. Dadurch kam es zu einer akustischen Maskierung. Sein tieffrequentes Grollen übertönt die Atmosphäre des Waldes und den Gesang der Pilze. Ähnlich wie im Filmsounddesign wurde hier die auditive Ebene genutzt, um durch die Manipulation von Frequenzen und Lautstärke die Aufmerksamkeit der Besucher:innen sofort auf das Ziel zu lenken und somit den Stress oder Zeitdruck zu erhöhen (Lensing 2023, 41)

Abschließend lässt sich feststellen, dass die technische Umsetzung, wie die in Kapitel 4 beschriebenen Punktquellen, zu einer kognitiven Entlastung führt. Da Klang und Bild eine Einheit bildeten, mussten die Besucher:innen die Geräusche nicht räumlich interpretieren, sondern konnte intuitiv interagieren. Wissenschaftlich basiert das auf der Fähigkeit des Gehörs, komplexe Klangumgebungen in unabhängige Komponenten

trennen zu können, sofern diese wie bei den Punktquellen räumlich organisiert sind (Grond und Berger 2011, 380).

Ein interessantes Ergebnis der Analyse ist das Verhalten der Besucher:innen im Hinblick auf die Raumakustik. Obwohl der Wald durch die vielen gleichzeitigen Geräuschen von Tieren im Hintergrund bis hin zum lauten Kakubaz akustisch sehr voll war, kehrten die Besucher:innen in die stille Bibliothek zurück. Das ist ein klares Zeichen für eine sonische Immersion, die darauf abzielt, Menschen aus ihrem Alltag zu ziehen und in eine un reale Umgebung eintauchen zu lassen (De Jong 2018, 88–89).

Die Neugier und der Spaß an den Interaktionen waren stärker als das Bedürfnis nach Ruhe. Die Besucher:innen waren so sehr in der Geschichte gefangen, dass sie die akustische Fülle nicht als störend, sondern als Teil des lebendigen Waldes akzeptierten. Der Sound hat sie also nicht vergrault, sondern erfolgreich im Geschehen gehalten (Sharp, Preece, und Rogers 2002, 19).

5.3 Kritische Reflexion der Untersuchungsmethode

Die Entscheidung für eine retrospektive Analyse auf der Basis von Gedächtnisprotokollen und Dokumentationsmaterial bietet eine wertvolle Perspektive, bringt allerdings auch methodische Grenzen mit sich, die bei einer Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.

Persönliche Wahrnehmung und Erinnerungslücken:

Da die Auswertung hauptsächlich auf eigenen Erinnerungen basiert, besteht die Gefahr, dass die Wahrnehmung subjektiv ist. Die heutigen Erinnerungen weichen oft von dem Empfinden im Moment des Geschehens ab (Flick 2014, o.S). Das bedeutet, dass im Nachhinein eher die Momente im Gedächtnis bleiben, welche gut funktioniert haben. Probleme wie Unklarheiten bei der Bedienung, welche bei den Besucher:innen zu Unsicherheiten geführt haben, werden hingegen häufig unbewusst ausgeblendet.

Auch wenn Fotos und Videos als Stütze genutzt wurden, können diese Aufnahmen kein komplettes Ergebnis liefern. Sie sind kein Ersatz für eine direkte Messung vor Ort oder Fragebögen, die direkt nach dem Erlebnis ausgefüllt werden.

Ein Beispiel war die Bedienung des Brunnens. Während das Sounddesign wie geplant funktionierte, war die physische Handhabung der Kordeln nicht für jeden sofort selbsterklärend. Viele Besucher:innen fingen bereits an, an den Kordeln zu rütteln oder zu ziehen, bevor die Brunnenwesen im Audio-Guide die Funktionsweise erklären konnten. Statt die Kordeln wie vorgesehen zu drehen, wurde teilweise so stark daran gezogen, dass die Mechanik beschädigt wurde. Auch beim Thema Gruppendynamik lief es nicht immer nach Plan: Obwohl am Anfang betont wurde, dass die Gruppen zusammenbleiben sollen, haben sich manche Teams trotzdem direkt aufgeteilt. Solche Beobachtungen zeigen, dass Immersion im Raum auch davon abhängt, wie intuitiv die physischen Komponenten sind. Außerdem sind sie wertvoller als jede Statistik, da sie das echte, ungefilterte Verhalten im Raum widerspiegeln.

Unterschiede in der Zielgruppe:

Ein weiterer Punkt, welcher erwähnt werden sollte, ist, dass für eine nachträgliche Analyse Daten über die Besucher:innen fehlen. Ohne diese Zahlen lässt sich schwer sagen, ob das Sounddesign für alle Altersgruppen gleich gut funktioniert hat. Die vorliegende Analyse geht von einem „idealen“ Gehör aus, das heißt dass die Besucher:innen das ganze menschliche Spektrum bis 20 kHz nutzen konnten. Dass jeder Mensch aber ganz unterschiedlich hören kann, zum Beispiel im Alter werden hohe Töne oft schlechter wahrgenommen, konnte in der theoretischen Auswertung nicht einzeln berücksichtigt werden. Es kann also nicht mit Sicherheit belegt werden, ob zum Beispiel ältere Besucher:innen die hohen Töne wie beim Pilzgesang genauso klar gehört haben wie die jüngeren. Die Analyse beschreibt als eher die Wirkung, die beabsichtigt wurde, während die Erfahrung vor Ort bei jedem anders ausgefallen sein kann.

Auch trotz dieser fehlenden Messdaten ist die Analyse verlässlich. Das liegt vor allem daran, dass das technische Setup auf festen psychologischen und physikalischen Regeln basierte. Ein entscheidender Punkt war hierbei die durchgehende Präsenz der Regie während der gesamten dreitägigen Ausstellungszeit. Ob im Raum direkt oder im Nebenraum über einen Livestream. Diese intensive Beobachtung der Besucher:innen vor Ort ermöglichte es, Reaktionen und das Interaktionsverhalten zu bewerten. Diese Reflexion stützt sich auf einer Vielzahl von direkten Momentaufnahmen und persönlichen Beobachtungen, die über eine bloße Erinnerung hinausgeht.

Ein weiterer Punkt ist die kognitive Entlastung durch die Punktquellen. Das war ein Prinzip, welches im Raum gut funktionierte. Dabei kommt es nicht darauf an, ob es in dem Moment gemessen wird oder nicht. Auch wenn eine Umfrage für die Zukunft spannend wäre, zeigt diese Arbeit, dass das Konzept von Ex-Libris in sich stimmig ist. Das Konzept basierte auf klaren gestalterischen Regeln, welche die beabsichtigte Wirkung auch ohne Umfragen fachlich nachvollziehbar macht. Durch das gezielte Zusammenspiel von Auditory Icons und Earcons wurde ein Soundscape geschaffen, die die Wahrnehmung der Besucher:innen im Raum beeinflusst. Auch ohne Daten ist zu erkennen, warum die Besucher:innen tief in diese Klangwelt und die Immersion eintauchen konnten.

6. Fazit und Ausblick

Das Projekt Ex-Libris hat deutlich gemacht, welche zentrale Rolle die auditive Gestaltung für die Wahrnehmung von immersiven Räumen spielt. Im folgenden Kapitel werden diese Erkenntnisse zusammengeführt, die Forschungsfrage beantwortet und ein Ausblick auf zukünftige gestalterische Entwicklungen gegeben.

6.1 Beantwortung der Forschungsfrage

Die zentrale Frage dieser Arbeit war, wie die auditive Gestaltung und die aurale Architektur das Erlebnis und die Interaktionen in immersiven Räumen beeinflussen und mit welchen Methoden sich diese Wirksamkeit am Beispiel von Ex-Libris bewerten lässt.

Die Untersuchung zeigt, dass die auditive Gestaltung das Besuchererlebnis maßgeblich steuert, indem sie eine emotionale und räumliche Orientierung bietet und somit als Gerüst fungiert. Durch den gezielten Einsatz von Punktquellen und die Nutzung des gesamten menschlichen Hörbereichs wurde eine sonische Immersion geschaffen, welche die Besucher:innen kognitiv entlastet hat. Das führte dazu, dass die Nutzerinteraktion wie etwa am Brunnen oder bei den Pilzen sehr impulsiv und intuitiv stattfand. Die Gestaltung hat somit die Barriere zwischen den Besucher:innen und dem Exponat erfolgreich abgebaut und intuitiven Zugang zu den Interaktionen ermöglicht.

Was die analytischen Methoden betrifft, lässt sich sagen, dass sich die Wirksamkeit eines solchen Designs auch ohne begleitende statistische Umfrage gut bewerten lässt. Durch die Verknüpfung von etablierten Theorien der Psychoakustik mit der intensiven Beobachtung der Besucher:innen vor Ort konnten Aussagen über den Erfolg der Immersion getroffen werden. Die Wirksamkeit zeigt sich vor allem darin, dass sich bei den Besucher:innen immer wieder ähnliche Verhaltensmuster beobachten ließen. Dass unterschiedliche Menschen über drei Tage hinweg vergleichbar auf die akustischen Reize reagierten, ist ein Indikator dafür, dass das Konzept wie geplant funktioniert hat. Die stabile technische Umsetzung bildete dabei das unsichtbare Fundament, das dafür sorgte, dass die besondere Atmosphäre des Raums konstant blieb und jeder gleichermaßen tief in die Immersion eintauchen konnte.

6.2 Gestalterische Erkenntnisse und Ausblick

Ex-Libris ist der Beweis dafür, dass Sound in Immersiven Räumen mehr als nur ein Zusatz oder eine reine Hintergrundkulisse ist. Er bildet die eigentliche Grundlage der gesamten Atmosphäre. Das Projekt hat gezeigt, wie wichtig die Zusammenarbeit von Theorie und Praxis ist. Auch wenn Beobachtungen, wie am Brunnen verdeutlichen, dass der Entdeckerdrang der Besucher:innen manchmal schneller war als die auditive Erklärung, bestätigt genau diese Neugier die starke Wirkung des Raums. Die Besucher:innen haben nicht nur eine Installation besucht, sondern sind für einen Moment komplett in eine andere Welt abgetaucht.

Ein Ausblick auf zukünftige Projekte zeigt, dass die physischen Objekte und das Timing von Sound noch genauer aufeinander abgestimmt werden können. In dieser Arbeit wurde deutlich, dass Besucher:innen nicht warten, bis eine Erklärung endet, sondern sofort mit dem Raum interagieren wollen. Das Ziel sollte sein, dass das haptische Erleben und das Hören so ineinanderfließen, dass die Besucher:innen gar nicht mehr über die Bedienung nachdenken müssen. Die Interaktionen sollten noch intuitiver gestalten werden. Ein Ansatz könnte hierbei sein, die Technik, nicht nur den Startpunkt einer Interaktion erkennen zu lassen, sondern jede Bewegung der Besucher:innen direkt mit Echtzeit zu steuern. Anstatt, dass eine feste Tondatei abgespielt wird, auf die Besucher:innen warten müssen, könnte sich diese auf jede kleinste Bewegung anpassen und reagieren. Zieht also jemand zum Beispiel schneller an einer Kordel, würde auch die akustische Antwort sofort und passend zur Bewegung kommen. Wenn der Klang so direkt auf das Handeln reagiert, fühlen sich die Besucher:innen noch mehr mit dem Raum verbunden und können noch tiefer in die Geschichte eintauchen.

Zudem wäre es für zukünftige Projekte ein weiterer Ansatz, die persönlichen Beobachtungen durch direkte Messdaten zu ergänzen. Quantitative Daten, wie zum Beispiel Fragebögen direkt nach dem Verlassen des Raums, könnten der Analyse eine höhere Aussagekraft geben. Es wäre spannend zu sehen, ob sich die gefühlte Immersion der Besucher:innen mit den Beobachtungen decken würde. Solche Daten würden dabei helfen, die Wirkung des Sounds noch objektiver bewerten zu können und in kommenden Projekten noch gezielter auf das Empfinden der Menschen anzupassen.

Für zukünftige Arbeiten in diesem Bereich lässt sich ableiten, dass eine gelungene auditive Gestaltung die Kraft hat, einen physischen Raum in eine lebendige Geschichte zu verwandeln. Sobald der Raum, die Technik und der Sound harmonieren, entsteht eine Immersion, welche weit über das bloße Hören oder Sehen hinausgeht und im Gedächtnis bleibt.

Quellenverzeichnis

- Alam, Pandu Watu, Rangga Saptya Mohamad Permana, und Sri Seti Indriani. 2023. „Diegetic and Nondiegetic Sounds in Film Scoring of Pengabdian Setan Film“. *ProTVF* 7 (2): 165–82. <https://doi.org/10.24198/ptvf.v7i2.47281>.
- Audinate Group Limited. 2026. „Was ist Dante“. 21. Februar 2026. <https://www.getdante.com/de/meet-dante/what-is-dante/>.
- Barrass, Stephen. 1997. „Auditory Information Design“. Australian National University, 1997.
- Barron, Michael. 2010. *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. 2nd ed. London New York: Spon Press, 2010.
- Blattner, Meera, Denise Sumikawa, und Robert Greenberg. 1989. „Earcons and Icons: Their Structure and Common Design Principles“. *Human-Computer Interaction* 4 (1): 11–44. https://doi.org/10.1207/s15327051hci0401_1.
- Blauert, Jens. 1997. *Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization*. Revised edition. Bd. 19. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1997. <https://doi.org/10.1097/00003446-199804000-00009>.
- Blessner, Barry, und Linda-Ruth Salter. 2007. *Spaces Speak, Are You Listening? Experiencing Aural Architecture*. Cambridge, Mass: MIT Press, 2007.
- Böhme, Gernot. 2014. *Atmosphäre: Essays zur neuen Ästhetik*. 7., erw.Überarb. Aufl. Edition Suhrkamp 2664. Berlin: Suhrkamp, 2014.
- Bonebright, Terri L., und John H. Flowers. 2011. „Evaluation of Auditory Display“. In *The Sonification Handbook*, herausgegeben von Thomas Hermann, Andy Hunt, und John G Neuhoff, 111–44. 2011.
- Carlile, Simon. 2011. „Psychoacoustics“. In *The Sonification Handbook*, herausgegeben von Thomas Hermann, Andy Hunt, und John G Neuhoff, 41–62. 2011.

- Chion, Michel. 1994. *Audio-Vision: Sound on Screen*. New York: Columbia University Press, 1994.
- De Jong, Steffi. 2018. „Sentimental Education. Sound and Silence at History Museums“. *Museum and Society* 16 (1).
<https://doi.org/10.29311/mas.v16i1.2537>.
- Dombois, Florian, und Gerhard Eckel. 2011. „Audification“. In *The Sonification Handbook*, herausgegeben von Thomas Hermann, Andy Hunt, und John G Neuhoff, 299–324. 2011.
- Elfline, Ross K. 2022. „Resonant Rooms as Tuning Forks: Architectural Implications of Sound Art“. In *The Sound of Architecture: Acoustic Atmospheres in Place*, herausgegeben von Angeliki Sioli und Elisavet Kiourtsoglou, 87–100. Leuven: Leuven University Press, 2022.
- Eoin, Brazil, und Mikael Fernström. 2011. „Navigation of Data“. In *The Sonification Handbook*, herausgegeben von Thomas Hermann, Andy Hunt, und John G Neuhoff, 509–24. 2011.
- Flick, Uwe. 2014. *An Introduction to Qualitative Research*. 5. ed. Los Angeles, Calif.: Sage, 2014.
- Gaver, William W. 1988. „Everyday Listening and Auditory Icons“. Dissertation, University of California, San Diego, 1988.
- Goffi, Federica. 2022. „Chromesthesia and the Multiverse of Listening in Music and Architecture: Luigi Nono in Collaboration with Renzo Piano“. In *The Sound of Architecture: Acoustic Atmospheres in Place*, herausgegeben von Elisavet Kiourtsoglou und Angeliki Sioli, 145–60. Leuven: Leuven University Press, 2022.
- Grond, Florian, und Jonathan Berger. 2011. „Parameter Mapping Sonification“. In *The Sonification Handbook*, herausgegeben von Thomas Hermann, Andy Hunt, und John G Neuhoff, 363–98. 2011.

- Guillaume, Anne. 2011. „Intelligent Auditory Alarms“. In *The Sonification Handbook*, herausgegeben von Thomas Hermann, Andy Hunt, und John G Neuhoff, 493–508. 2011.
- Havik, Klaske, und Michael De Beer. 2022. „Listen and Write! Addressing Urban Soundscapes in Architectural Education“. In *The Sound of Architecture: Acoustic Atmospheres in Place*, herausgegeben von Angeliki Sioli und Elisavet Kiourtsoglou, 229–46. Leuven: Leuven University Press, 2022.
- Hermann, Thomas, Andy Hunt, und John G Neuhoff. 2011. „Introduction“. In *The Sonification Handbook*, herausgegeben von Thomas Hermann, Andy Hunt, und John G Neuhoff, 1–6. 2011.
- Jakubowski, Robert D. 2011. „Museum Soundscapes and Their Impact on Visitor Outcomes“. Master’s Thesis, University of Kansas, 2011.
- Kang, Jian. 2023. „Soundscape in City and Built Environment: Current Developments and Design Potentials“. *City and Built Environment* 1 (1): 1. <https://doi.org/10.1007/s44213-022-00005-6>.
- Kiourtsoglou, Elisavet. 2022. „Tools of Immersion: Drawing the Acoustic Atmosphere of the Philips Pavilion“. In *The Sound of Architecture: Acoustic Atmospheres in Place*, herausgegeben von Angeliki Sioli und Elisavet Kiourtsoglou, 161–78. Leuven: Leuven University Press, 2022.
- Kurukose Cal, Francesco Aletta, und Jian Kang. 2025. *Integration of Soundscape Assessment and Design Principles into International Standards and Guidelines for Learning Environment Acoustics*. 2025, 17.
- Lensing, Jörg Udo. 2018. *Sound-Design-Sound-Montage-Soundtrack-Komposition*. Berlin: Schiele & Schön, 2018.
- Lensing, Jorge. 2023. „The Future of Audio-Visual Designers with a Focus on Sound“. *International Journal of Film and Media Arts*, Online-Vorab-Publikation, 2023. 38 - 58 Pages. <https://doi.org/10.24140/IJFMA.V8.N3.03>.
- Moore, Brian C. J. 2013. *An Introduction to the Psychology of Hearing*. 6. Aufl. Leiden: Brill, 2013.

- Murray Schafer, R. 1994. *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*. Rochester, VT: Destiny Books, 1994.
- Nees, Michael A., Bruce N. Walker, und Stephanidis Constantine. 2009. „Auditory Interfaces and Sonification“. In *The Universal Access Handbook*. CRC Press, 2009.
- Neuhoff, John G. 2011. „Perception, Cognition and Action in Auditory Displays“. In *The Sonification Handbook*, herausgegeben von Thomas Hermann, Andy Hunt, und John G Neuhoff, 63–86. 2011.
- Pallasmaa, Juhani. 2005. *The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses*. Chichester: Wiley-Academy, 2005.
- Raimbault, Manon, und Danièle Dubois. 2005. „Urban Soundscapes: Experiences and Knowledge“. *Cities* 22 (5): 339–50. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2005.05.003>.
- Rieger, Stefan. 2025. *Imagination und Immersion: Topologien des Virtuellen*. 1. Aufl. Bd. 2. Virtuelle Lebenswelten. Bielefeld, Germany: Transcript Verlag, Dezember 2025. <https://doi.org/10.14361/9783839471968>.
- Savaş, Esmâ Betül, Thijs Verwijmeren, und Rob Van Lier. 2021. „Aesthetic Experience and Creativity in Interactive Art“. *Art & Perception* 9 (2): 167–98. <https://doi.org/10.1163/22134913-bja10024>.
- Serafin, Stefania, Karmen Franinović, Thomas Hermann, Guillaume Lemaitre, Michal Rinott, und Davide Rocchesso. 2011. „Sonic Interaction Design“. In *The Sonification Handbook*, herausgegeben von Thomas Hermann, Andy Hunt, und John G Neuhoff, 87–110. 2011.
- Sharp, Helen, Jennifer Preece, und Yvonne Rogers. 2002. *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. New York: John Wiley & Sons, 2002.
- Sioli, Angeliki, und Elisavet Kiourtsoglou. 2022. „Atmospheres That Touch“. In *The Sound of Architecture: Acoustic Atmospheres in Place*, herausgegeben von Angeliki Sioli und Elisavet Kiourtsoglou, 17–31. Leuven: Leuven University Press, 2022.

- Slater, Mel. 2009. „Place Illusion and Plausibility Can Lead to Realistic Behaviour in Immersive Virtual Environments“. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364 (1535): 3549–57.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138>.
- STABER Ingenieurbüro GmbH & Co. KG. 2026. „Was ist Rigging in der Veranstaltungstechnik“. 22. Februar 2026. <https://staber.de/rigging/was-ist-rigging-in-der-veranstaltungstechnik/>.
- Steffens, Jochen, Tobias Wilczek, und Stefan Weinzierl. 2021. „Junk Food or Haute Cuisine to the Ear? – Investigating the Relationship Between Room Acoustics, Soundscape, Non-Acoustical Factors, and the Perceived Quality of Restaurants“. *Frontiers in Built Environment* 7 (Mai 2021): 676009.
<https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.676009>.
- Truax, Barry. 2001. *Acoustic Communication*. 2nd ed. Westport, Conn: Ablex, 2001.
- Walker, Bruce N., und Michael A. Nees. 2011. „Theory of Sonification“. In *The Sonification Handbook*, herausgegeben von Thomas Hermann, Andy Hunt, und John G Neuhoff, 7–40. 2011.
- Zwicker, Eberhard, und Hugo Fastl. 2007. *Psychoacoustics: Facts and Models*. 3rd ed. Springer Series in Information Sciences 22. Berlin Heidelberg: Springer, 2007.