



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Äolsinstrumente in Theorie und Praxis“

verfasst von / submitted by

Florian Schwarzenbacher BA

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the
degree of

Master of Arts (MA)

Wien, 2023 / Vienna 2023

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 066 836

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Musikwissenschaft

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof Dr. Christoph Reuter M.A.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Abstract.....	5
2. Einleitung.....	5
3. Äolsinstrumente	7
4. Vorkommen.....	9
4.1 In der Geschichte	9
4.1.1 Ca. 1. Jtsd. v. Chr. bis 16. Jhdt. n. Chr.	10
4.1.2 1540 bis Ende 17. Jhdt.	13
4.1.3 Ende 17. Jhdt. bis Ende 19. Jhdt.	16
4.2 In der Kunst (Kunstliteratur, Musik, bildende Kunst)	20
4.2.1 Kunstliteratur.....	21
4.2.2 Musik.....	22
4.2.3 Bildende Kunst	24
4.3 In der Welt	25
4.3.1 Äolsidiophone	25
4.3.2 Äolschordophone	26
4.3.3 Äolsaerophone	28
5. Idiophone	29
5.1 Funktion.....	30
5.1.1 Aufschlagstäbe (z.B.: Xylophon)	31
5.1.2 Aufschlagrohre (z.B. Röhrenglocken)	34
5.1.3 Aufschlagglocken (z.B. Kirchenglocken / Handglocken)	37
5.2 Materialbeschaffenheit	43
5.3 Beispiele.....	44
5.3.1 Wind Chimes (Aufschlagstäbe / Aufschlagrohre)	44
5.3.2 Äolsglocken (Aufschlagglocken)	47
6. Chordophone	49
6.1 Funktion.....	50
6.1.1 Schallanregung.....	50
6.1.2 Resonanzkörper	53
6.2 Materialbeschaffenheit	57
6.3 Beispiel Äolsharfe/Windharfe	57
6.3.1 als Kastenzither mit Resonator.....	61
6.3.2 als eigentliche Harfe	64
7. Aerophone	65

7.1	Funktion.....	66
7.1.1	Schallanregung.....	66
7.1.2	Resonanzkörper.....	68
7.2	Materialbeschaffenheit	72
7.3	Beispiel: Äolsflöten/Äolspfeifen.....	72
8.	Die Klangeigenschaften von Äolsinstrumenten	74
8.1	Annahmen	75
8.1.1	Annahmen Äolsidiophone	75
8.1.2	Annahmen Äolschordophone	77
8.1.3	Annahmen Äolsaerophone.....	79
8.1.4	Annahmen Vereinfachung.....	80
8.2	Signalanalyse.....	81
8.2.1	Äolsidiophone	84
8.2.2	Äolschordophone	84
8.2.3	Äolsaerophone	85
9.	Empirische Studie: „the answer is blowing in the Wind“	86
9.1	Methodendesign	87
9.2	Auswertung	87
9.2.1	Korrelationen innerhalb der Hörer*innenbewertungen.....	88
9.2.2	Hörer*innen Bewertungen gesamt	89
9.2.3	Klangliche Bewertung der Äolsidiophone	90
9.2.4	Klangliche Bewertung der Äolschordophone.....	92
9.2.5	Klangliche Bewertung der Äolsaerophone	94
9.3	Angenommene Klangeigenschaften im Spiegel der ermittelten Audiomerkmale.....	97
10.	Conclusio	100
10.1	Ergebnisse.....	100
10.2	Diskussion und Ausblick.....	103
	Literatur	105
	Tabellenverzeichnis.....	113
	Abbildungsverzeichnis	114
	Anhang.....	118

1. ABSTRACT

In vorliegender Arbeit werden von Wind betriebene Musikinstrumente zuerst ausführlich beschrieben und in weiterer Folge hinsichtlich ihrer Klangeigenschaften untersucht. Da das Thema selten bis gar nicht in ganzheitlicher Form behandelt wurde, wird zuerst eine mögliche Übersicht über die Äolsinstrumentenfamilie nach gängigen Spezifikationen (Hornbostel-Sachs-Systematik) gegeben und in ihrer Funktion beschrieben. Um einen möglichst breiten Überblick zu verschaffen, wird anschließend auf die jeweilige Verbreitung der Instrumente eingegangen. Im zweiten Teil der Arbeit wird untersucht, welche Klangeigenschaften in der zum Teil fast überschwänglichen Rezeption der Äolsinstrumente maßgeblich beteiligt sind. Mithilfe von Signalanalysen werden die typischen Klangmerkmale von Äolsinstrumenten ermittelt sowie diejenigen Klangeigenschaften, die besonders in der Rezeption hervortreten. Im abschließenden Teil der Arbeit wird anhand eines Hörer*innenversuches der Frage nachgegangen, welche Klangeigenschaften von Äolsinstrumenten zu den beschriebenen besonderen Hörerlebnissen führen.

2. EINLEITUNG

Schon seit der Antike werden Naturphänomene wie die Klänge des Windes beschrieben (z.B. von: Lucretius in „De Rerum Natura“¹) und wurden auch in mystischen/religiösen Handlungen eingebunden (z.B. das Windorakel von Dodona^{2, 3}). Mit der (Wieder-)Entdeckung der Äolsharfe durch den Universalgelehrten Athanasius Kircher (*Musurgia Universalis*, 1650⁴) Ende des 17. Jhdt. erfuhren Äolsinstrumente (vor allem die Äolsharfe) und ihre Klänge bis zum Ende des 19. Jhdt. eine gewisse Blütezeit.⁵ So wurden sie oft im schriftstellerischen Zusammenhang romantisch bis überschwänglich hervorgehoben (z.B. von Goethe in „Faust“ 1808⁶, Hoffmann in „Lebens-Ansichten des Kater Murr“ 1819⁷). Am technischen Höhepunkt der Entwicklung der Äolsharfe im 19. Jhdt. beschreibt Georges Kastner⁸ in *La Harpe d'Éolene* (1856) die Grundzüge der

¹ Költzsch 2012, S. 50.

² Minsen 1993, S. 65.

³ Chapinal-Heras 2021, S. 115.

⁴ Kircher 1650, Buch 7, S. 352.

⁵ Minsen 1993, S. 53.

⁶ Goethe 1808, S. 3.

⁷ Hoffmann 1819, S. 198.

⁸ Kastner 1856.

Instrumentengeschichte und Funktionsweisen, des damals wohl populärsten Äolsinstrument.

In heutiger Zeit beschäftigen sich hauptsächlich Interessierte in ihrer Freizeit sowie einzelne Künstler*innen mit Äolsinstrumenten verschiedener Gattungen und Formen.⁹ So werden diese gerne als praktische Utensilien im Alltag (z.B.: Windspiel) verwendet, oder als im Wind klingende Skulpturen dargeboten.

Neben den geschichtlichen und zeitgenössischen Kontexten finden sich Äolsinstrumente auch in zahlreichen Kulturräumen rund um den Globus, in unterschiedlichen Bauformen und Verwendungen (z.B. als Drachenflöten¹⁰ oder Taubenpfeifen¹¹).

Da nur wenige bis keine zusammenfassenden Werke zur Systematik von Äolsinstrumenten als eigene Instrumentengruppe auffindbar sind, wird im ersten Teil (Kapitel 3–7) der Versuch unternommen, einen möglichst breiten und effizienten Überblick über diese Nischen-Instrumente zu schaffen.

Für die zahlreichen verschiedenen Instrumente, welche von Wind angeregt erklingen, soll zuerst definiert werden, ab wann ein Instrument als ein Äolsinstrument bezeichnet werden kann und wo sich diese Art von Instrument innerhalb der Hornbostel-Sachs-Systematik wiederfindet (Kapitel 3). Danach soll auf das Vorkommen der Äolsinstrumente auf drei Ebenen (Geschichte, Kunst und in der Welt) näher eingegangen werden, um einen groben Überblick über das Ausmaß der Verbreitung von Äolsinstrumenten zu erhalten (Kapitel 4). In den Kapiteln 5–7 wird dann die jeweilige grundlegende Funktionsweise der Äolsinstrumente anhand ihrer Einteilung nach Hornbostel und Sachs beschrieben und bemustert.

Da in der Recherche dieser Grundlagen auffällig wird, dass der oftmals eigentümliche Klang der Äolsinstrumente zum großen Teil für deren Faszination verantwortlich sein dürfte, wird im zweiten Teil (Kapitel 8–9) der zentralen Frage nachgegangen:

Was sind die typischen Klangmerkmale von Äolsinstrumenten und worin unterscheiden sich jene?

Hierfür sollen zunächst bestehende Annahmen und Rezeptionen zur Klangqualität von Äolsinstrumenten einer genaueren Betrachtung unterzogen werden. Dazu lassen sich

⁹ Windisch-Laube 2004, S. 297.

¹⁰ Armengoud 1983, S. 37.

¹¹ Martin 1893, S. 30.

Zuschreibungen aus Produktbeschreibungen, Kunstliteratur sowie gegenwärtigen Rezensionen heranziehen. Diese Zuschreibungen wurden in einem weiteren Schritt vereinfacht und in Begriffspaare gegensätzlicher Bedeutung eingeordnet, welche für einen nachfolgenden Hörer*innenversuch die Bewertungsgrundlage bilden. Diese Ordnung soll auch für die zweite Forschungsfrage die Grundlage bieten:

Welche Klangmerkmale tragen dazu bei, dass Äolsinstrumente als besonders fremd/vertraut, hart/weich, unangenehm/angenehm, hässlich/schön oder kalt/warm empfunden werden?

Zur Beantwortung beider Fragen wurden Klangbeispiele verschiedener Äolsinstrumente mittels einer umfassenden Signalanalyse genauer untersucht. Mithilfe der Ergebnisse des im Zuge der Arbeit durchgeführten Hörer*innenversuches konnten die zur Beantwortung der Forschungsfragen signifikanten Klang-Features über eine Korrelationsanalyse ermittelt werden. Daraus resultierend können die wichtigsten Klangmerkmale der Äolsinstrumente festgehalten werden (Kapitel 8).

Im Kapitel neun wird der durchgeführte Hörer*innenversuch genauer beschrieben und die Bewertungen werden hinsichtlich ihrer Korrelation mit den Features der Signalanalyse untersucht. Daraus resultierend werden die jeweiligen Klangmerkmale beschrieben und es wird dargestellt, welche zu den jeweiligen genannten Hörempfindungen führen (und schlussendlich zu den Annahmen aus Produktbeschreibungen, Kunstliteratur sowie gegenwärtigen Rezensionen).

In einer abschließenden Conclusio werden zum einen die vorliegenden Ergebnisse in wenigen Worten zusammengefasst, diskutiert sowie offene Fragen erörtert. Zum anderen werden mögliche fortführende Forschungsschwerpunkte im hier angeschnittenen Themengebiet festgehalten.

Die verwendeten Klangbeispiele und die Studienergebnisse sind unter <https://muwi-server.synology.me/aeolsinstrumente/> in visualisierter Form zu vorzufinden.

3. ÄOLSINSTRUMENTE

Als Äolsinstrumente oder Aeoliphone bezeichnet man in der Musikwissenschaft und darüber hinaus all jene Instrumente, welche durch Einwirkung von (natürlichem)

Wind zur Tonbildung angeregt werden.¹² Das Präfix Äols- (englisch: Aeolean; nach dem griechischen Gott der Winde Äolus¹³) dient in diesem Zusammenhang der spezifischen Beschreibung diverser Musikinstrumente, welche unter diese Kategorie fallen.¹⁴ Zum Zweck einer klar definierbaren Eingrenzung wird Wind im Zusammenhang mit Äolsinstrumenten in dieser Arbeit als natürlich vorkommender Wind definiert (nicht zu verwechseln mit dem englischen Präfix „wind“ zur Beschreibung der Luftströmung in Blasinstrumenten¹⁵). Auf dieser Basis können zahlreiche Anwendungsfälle im Definitionsspektrum der Hornbostel-Sachs-Systematik für von natürlichem Wind betriebene Instrumente gefunden werden. Alle Anwendungsfälle beziehen sich ausschließlich auf Instrumente der Definitionsgruppen Idiophone, Chordophone und Aerophone. Hier finden sich die häufigsten Anwendungsfälle, welche im wesentlichen Äolsglocken, Äolsharfen und Äolsflöten sind. Unter den Membranophonen könnte man „Freie Mirli-ton“¹⁶ (Ordnungsnummer 241) für eine weitere Betrachtung heranziehen. Diese werden in der Regel jedoch durch einen vom Menschen erzeugten Luftstrom angeregt, weswegen diese Instrumentenart hier nicht weiter untersucht wird. Auch unter den Elektrophonen finden sich vereinzelt Instrumente,¹⁷ die durch Wind angeregt werden. Da diese aber meist als Einzelexemplare im künstlerischen Kontext zu finden sind, wird auch hier von einer gesamtheitlichen Betrachtung abgesehen. Es ist zu beobachten, dass es in den jeweiligen Instrumentengruppen zu definitorischen Ungenauigkeiten bei den Originalbezeichnungen der Äolsinstrumente kommt. Diesen Ungenauigkeiten wird im jeweiligen Kapitel auf den Grund gegangen.

Äolsinstrumente können grundsätzlich überall dort gedeutet werden, wo natürlicher Wind bzw. umgebende Luft auf feste Materie trifft und diese durch instrumenteneigene Vorgänge zum Schwingen bringt:^{18, 19} Der Wind oder ein Luftzug stößt auf ein Hindernis, es entstehen auf beiden Seiten Luftwirbel, die zum Schwingen des jeweiligen Materials führen (Luftsäulen, Saiten, Segel / Klöppel, aber auch z.B. Stromkabel). Ebenso könnte ein Äolsinstrument sogar dort gedeutet werden, wo ein durch Wind bewegter

¹² „Aeoliphone“ Grove Music Online, letzter Zugriff am 22.03.2021.

¹³ Brauers 1984, S. 11.

¹⁴ Libin. "Aeolian (aerophones)." Grove Music Online, letzter Zugriff am 22.03.2021.

¹⁵ "Blas-." Grove Music Online, letzter Zugriff am 22.03.2021.

¹⁶ Hornbostel & Sachs 1914, S. 573.

¹⁷ Minssen 1993, S. 79.

¹⁸ Buchner 1992, S. 7.

¹⁹ Lichtenberg 1792, S. 144.

Gegenstand zufällig auf einen anderen stößt und dadurch Klänge erzeugt. Aus pragmatischen Gründen werden daher in dieser Arbeit Äolsinstrumente behandelt, die als solche hergestellt wurden und nicht auf einer zufälligen Anregung beruhen.

Hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Funktionsweisen unterscheiden sich durch Wind angeregte Instrumente im Wesentlichen nicht von Instrumenten, welche durch menschliches Zutun angeregt werden. Deswegen wird in dieser Arbeit in den Kapiteln 5–7 näher auf die grundlegende Funktionsweise der Instrumente in ihren entsprechenden Instrumentengruppen eingegangen (Funktion). Danach werden durch natürlichen Wind betriebene Instrumente anhand konkreter Beispiele exemplarisch dargestellt (Beispiel).

Da Äolsinstrumente in der Literatur sowie auch im praktischen Gebrauch oft mithilfe sprachlicher Vereinfachung benannt werden, sind diese Benennungen fachlich nicht immer ganz richtig. Deswegen werden innerhalb dieser Arbeit, wenn nicht anders in der Originalquelle benannt die fachlich definierten Termini Äolsidiophone, Äolschordophone und Äolsaerophone verwendet.

4. VORKOMMEN

Die Recherche zum allgemeinen Vorkommen der Äolsinstrumente lässt eine Beschreibung in drei Bereichen (Geschichte, Kunst, in der Welt) zu, wobei diese Bereiche keine klaren Grenzen aufweisen und sich mancherorts überschneiden. Deshalb versteht sich dieses Kapitel als eine auf diese drei Themengebiete bezogene und nicht vollständige Übersicht der Dinge. Eine vollständige Darstellung aller Vorkommen der Äolsinstrumente in den genannten Bereichen (und darüber hinaus) überragt bei Weitem das Ausmaß dieser Arbeit.

4.1 In der Geschichte

Zeugnisse von Äolsinstrumenten lassen sich bis etwa 1000 v. Chr. finden (bzw. deuten). Die nachfolgenden Darstellungen zeigen die wichtigsten vorhandenen Belege für das Vorkommen von Äolsinstrumenten bis Ende des 19. Jahrhunderts. Der überwiegende Anteil bezieht sich auf die Entwicklung in Europa, jedoch ist davon auszugehen, dass die anderen Kontinente ebenso eine reiche Geschichte an Äolsinstrumenten zu bieten haben. Im Kapitel 4.3 soll dem nachgegangen werden. Hauptsächlich handelt es sich

hierbei um Beiträge zu Äolschordophonen. Äolsidiophone sind nur sehr spärlich in der Literatur zu finden, Äolsaerophone praktisch gar nicht. Dies spiegelt sich in dieser Darstellung wider. Da die meisten Zeugnisse als Äolsharfen (eigentlich Äolskastenzithern) beschrieben wurden, wird im Folgenden für ein besseres Verständnis der Terminus Äolsharfe verwendet.

Für die Zeit nach dem 19.Jhdt. lässt sich festhalten, dass es zu Beginn des 20.Jhdt. noch zu einer Verdichtung von Belegen von Äolsharfen in Kunstliteratur und Musik vorherrscht, welche sich dann aber bis zur heutigen Zeit schrittweise verringert.²⁰ Deswegen und weil weitere Zeugnisse der Äolsinstrumente ab dem 20.Jhdt keine wesentliche fortführende Entwicklungen mit sich führen (belegbare Weiterentwicklungen beziehen sich zum größten Teil auf einzelne Klangkunstwerke, siehe Kapitel 4.2.3), endet die geschichtliche Betrachtung eben dort.

4.1.1 Ca. 1. Jtsd. v. Chr. bis 16. Jhdt. n. Chr.

Äolsinstrumente dürften bereits ab etwa 1000 vor Christus bekannt gewesen sein: Der Talmud berichtet von der Harfe „Kinor“ des König David (etwa 1004–965 v.Chr.), welche um Mitternacht durch den Luftzug des Nordwindes angeregt worden sein soll (Jerusalemener Talmud: Berachot 3b)^{21, 22, 23, 24} um ihn nachts für seine Gebete zu wecken.^{25, 26}

Aus der griechischen Mythologie sind weitere Stellen bekannt: In den Epen des griechischen Dichters Homer aus dem 8. Jhdt. v. Chr. gibt es Beschreibungen von Äolsharfen.²⁷ Laut Bonner²⁸ handelte es sich hierbei um die Klanganregung eines eingetrockneten Schildkrötenkadavers, wobei die Sehnen und Därme zusammen mit dem Schildkrötenpanzer einem altgriechischen Saiteninstrument, der Lyra entsprechen. Laut Buchner²⁹ entspringen diese Kenntnisse direkt von den Kommentaren des Philologen

²⁰ Windisch-Laube 2004, Teilband 1, S.192+295.

²¹ Bonner 1970, S. 16.

²² Minssen 1997, S. 19.

²³ Buchner 1992, S. 7.

²⁴ Brauers 1984, S. 11.

²⁵ Bröcker 2001, Sp. 672.

²⁶ Guggenheimer 2000, S. 76.

²⁷ Brauers 1984, S. 11.

²⁸ Bonner 1970, S. 16.

²⁹ Buchner, 1992, S. 7.

Eustathius aus Thessaloniki (12. Jhdt. n. Chr.). Dieser spricht von harmonischen Tönen, welche hervorgerufen werden, wenn Wind auf gespannte Saiten trifft. Laut Minssen³⁰ und Bonner³¹ entdeckte der englischer Dichter Alexander Pope diese Stelle in der Übersetzung von Eusthatius.

Eine undatierte türkische Legende spricht von der Erfindung der Laute: Musikalische Klänge wurden bei getrockneten Eingeweiden eines Affen entdeckt, die an einem Ast hingen und durch den Wind in Schwingung versetzt wurden.³²

Auch in alten Geschichten der Hindus wird über ein durch Wind angeregtes, lauten-ähnliches Instrument namens „Vina“ berichtet.^{33, 34} Lt. Bonner³⁵ ist dieses Beispiel in der Instrumentenzyklopädie *Yantra Kosha*³⁶ als sechssaitige *mohati vina* zu finden und als Zitat aus dem 15. Jhdt. n. Chr. angegeben. (Dieser Beleg lässt sich im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht überprüfen, da diese Schrift in Bengali geschrieben ist und keine Übersetzung vorzufinden ist). Lt. Bröcker³⁷ handelt es sich bei „Vina“ um eine Heilige. Es geht hierbei jedoch nicht hervor, ob die Zuschreibung „hl.“ sich auf eine Person, eine Gottheit oder ein Instrument bezieht.

Bröcker³⁸ beschreibt auch Äolsinstrumente aus vorchristlicher Zeit in Indonesien, Liberia und Guyana (Windbögen und Röhrenzithern) sowie „klingende Zutaten“ in Form von Äolschordophonen, angebracht auf Papierdrachen in China (Instrumente: *Yao Pian, Feng Zheng, Yao Quin*³⁹), Korea, Japan und Bali. Jedoch geht aus dieser Quellenlage nicht klar hervor, ob die Beschreibungen tatsächlich aus „vorchristlicher“ Zeit stammen. Erste stichhaltigere Belege zur Äolsharfe in China aus der Zeit zwischen 618- und 907 (Tang-Dynastie) beschreiben in Gedichten äolische Bögen, welche an Flugdrachen angebracht werden und Äolsklänge erzeugen.^{40, 41} (Es wird angenommen, dass

³⁰ Minssen 1994, S. 19.

³¹ Bonner 1970, S. 18.

³² Ebd., S. 15.

³³ Brauers 1984, S. 11.

³⁴ Buchner 1992, S. 7.

³⁵ Bonner 1970, S. 16.

³⁶ Tagore, 1875.

³⁷ Bröcker 2001, Sp. 672.

³⁸ Ebd., Sp. 672.

³⁹ Moule 1908, S. 105–106.

⁴⁰ Clarke 2006, S. 214.

⁴¹ Windisch-Laube 2004, Teilband 1, S. 72.

es sich hierbei um eine *Feng Zheng*, einer auf Flugdrachen angehängten Äolsharfe handelt, siehe hierzu nachfolgendes Kapitel). Laut dieser Einschätzung dürften die chinesischen Äolsharfen die ersten Äolsharfen in der Instrumentenentwicklung sein. Dies widerspricht offensichtlich der europäischen Einschätzung und lässt somit einen gewissen Diskussionsspielraum zu. Lt. Bonner⁴² und Költzsch⁴³ sollte Athanasius Kircher der selbsternannte Erfinder der Äolsharfe sein, lt. Windisch-Laube zumindest der Erfinder der neuzeitlichen europäischen Äolsharfe⁴⁴. Im Zuge der Recherche in den Originaltexten konnte jedoch keine Zuschreibung für das Prädikat „selbsternannt“ gefunden werden.

Wegen ihrer geheimnisvollen Klangvariationen, die man oft für übernatürlich hielt, nannte man die Äolsharfe auch „Geisterharfe“. Im Mittelalter durfte sie vermutlich deswegen im Zuge der Inquisition verdammt worden sein.⁴⁵ Auch diese Quelle lässt sich nicht klar überprüfen und widerspricht sich teilweise durch die Legende von Dunstan (um 988 n. Chr.): Lt. Bonner⁴⁶ wurde der heilige Dunstan beim Bau einer Stola (im Auftrag von Bischof Ætelwin) von seiner plötzlich selbstspielenden Harfe überrascht. Lt. Bröcker⁴⁷ war Dunstan selbst ein Bischof und hängte, inspiriert von der Geschichte des König David (s.o.), ein harfenähnliches Instrument an der Mauer seiner Zelle auf. Auch diese gab harmonische Klänge von sich, ohne berührt zu werden. Die Zuschreibung „geisterhaft“ ist seit dem 7. Jhdt. bekannt⁴⁸, wird jedoch erst ab dem 18. Jhdt. in der Kunstliteratur vermehrt als solche benannt. (siehe hierzu Kapitel 4.2.1)

Windglockenspiele wurden lt. Brauers⁴⁹ erstmals um etwa 500 v. Chr. erwähnt. Hierbei handelte es sich um kleine abgestimmte Porzellanglocken an Porsennas Labyrinthmausoleum. Auch diese Quellenangabe ist kritisch zu hinterfragen: Porzellan ist in Europa erst seit dem 13. Jhdt nach Christus bekannt.⁵⁰

Einen weiteren Beleg für Äolsglocken sind Funde offener Bronzeglocken mit Klöppel, welche in den letzten Jahrhunderten vor Christus von Bali bis Tibet an den Traufen von

⁴² Bonner 1970, S. 17.

⁴³ Költzsch 2012, S. 60.

⁴⁴ Windisch-Laube 2004, Teilband 1, S. 182.

⁴⁵ Brauers 1984, S. 11.

⁴⁶ Bonner 1970, S. 16.

⁴⁷ Bröcker 2001, Sp. 672.

⁴⁸ Windisch-Laube, 20014, Teilband 1, S. 67.

⁴⁹ Brauers 1984, S. 11.

⁵⁰ Krabat 2018, S. 36.

geheiligten Stätten gehangen haben sollten und dort durch den Wind angeregt wurden.⁵¹

Ein Hinweis an dieser Stelle: All die hier genannten Daten spiegeln zum Teil über die Jahre weitergegebene Legenden und Geschichten wider. Die verschiedenen zitierten Quellen sind an einigen Stellen aus der Sekundärliteratur und oftmals nicht einheitlich. Die Richtigkeit bzw. die tatsächliche Existenz der Äolsinstrumente für den erzählten Zeitraum lässt, auch aufgrund des Fehlens an stichhaltigen Indizien (z.B.: Funde von Instrumenten aus der Zeit) nur vermuten.

4.1.2 1540 bis Ende 17. Jhdt.

Für diesen Zeitraum sind hauptsächlich drei Autoren von zentraler Bedeutung, welche sich durch schriftliche Belege bekannt sind. Diese werden hier vorgestellt:

In seiner *Magia Naturalis* erwähnt der Neapolitaner Giovan Battista della Porta höchst angenehme Musik, erzeugt durch Harfen, Flöten, Dulcimer und Pfeifen, wenn sie durch stürmische Winde angeregt werden. Bonner⁵² datiert die Veröffentlichung des Werkes auf 1540, Bröcker⁵³ und Költzsch⁵⁴ datieren sie auf 1558. Költzsch verweist auf das 19. Buch, Kapitel sieben, jedoch ist dieses Kapitel in keiner im Rahmen dieser Arbeit zugänglichen Version der *Magia Naturalis* enthalten (alle vorhandenen Versionen enden im 19. Buch mit dem sechsten Kapitel^{55, 56}, es fehlen die angesprochene Stelle über Äolsinstrumente. Im Literaturverzeichnis finden sich deshalb zwei verschiedene Versionen des Buches, beide mit fehlender Stelle).

Die erste technische Beschreibung von Äolsharfen ist auf den Universalgelehrten Athanasius Kircher zurückzuführen, welcher in seinen Werken *Musurgia Universalis* ⁵⁷ und *Phonurgia Nova*⁵⁸ über einen „Musikautomaten“ schreibt. Hierbei beschreibt er den Aufbau und die Wirkung eines von selbst spielenden bzw. durch Wind angeregten

⁵¹ Prince, 2001, S. 174.

⁵² Bonner 1970, S. 72.

⁵³ Bröcker 2001, Sp. 673.

⁵⁴ Költzsch 2012, S. 67.

⁵⁵ Della Porta 1713, S. 1018.

⁵⁶ Della Porta 1715, S. 1018.

⁵⁷ Kircher 1650, Buch 7 S.352.

⁵⁸ Kircher 1685, S.105.

Saiteninstrumenten in mehreren Schritten: Auf einen mit drei Resonanzlöchern versehenen hölzernen Resonanzkasten sollen Saiten gleich aufgespannt werden. (siehe Abb. 1)

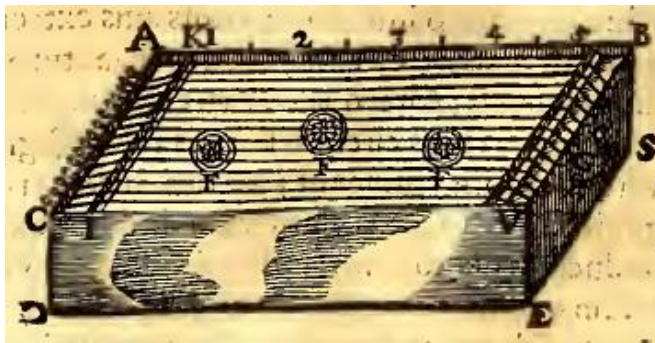


Abbildung 1: hölzerner Resonanzkasten (ABCD) mit aufgespannten Saiten auf zwei Bündeln (KI, V), Metallring (S) und drei Resonanzöffnungen (Kircher 1650, Buch 7, S. 352).

Dieser Resonanzkasten sollte dann mithilfe eines Kastens mit Doppelklappen den Wind verstärken oder abschwächen (siehe Abb.2) und somit zum gewünschten Äolsklang führen.

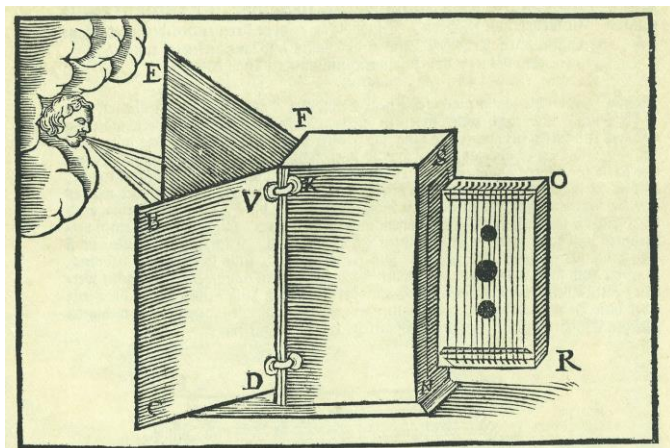


Abbildung 2: Luftstrom (E) wird durch die geöffneten Türen (BCDEFV) über den Kasten (K) zum mit Saiten bespannten Resonanzkasten (OR) geleitet, dieser ist über ein Brett (SN) am Kasten angebracht (Kircher 1684, S. 106).

Kircher beschreibt in diesem Zuge auch mögliche Anwendungsbereiche über den innerhäuslichen Bereich bis hin zu Konstruktionen für die Anwendung im Freien auf Türmen oder Windanzeigern (siehe Abb. 3 und Abb. 4). Hierbei ist es für Kircher besonders geheimnisvoll, wenn der Resonanzkasten selbst durch die Konstruktion verdeckt wird bzw. auch künstlerisch ausgeführt wird.

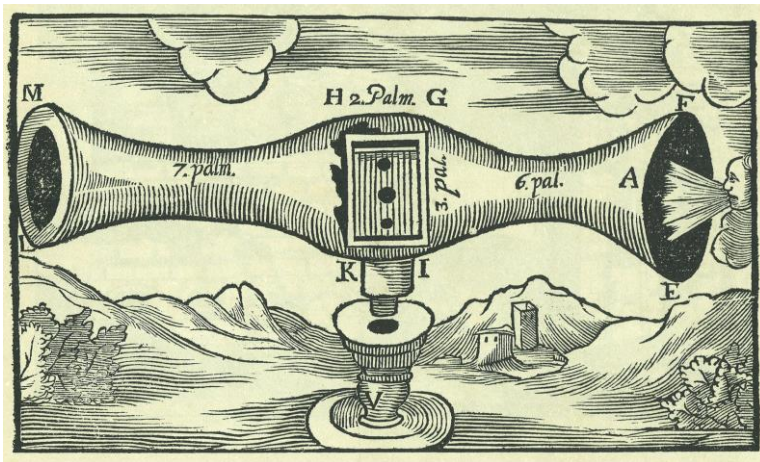


Abbildung 3: Röhrenkonstruktion (EAFLM) mit integriertem, verstecktem Saiteninstrument (IKGH). Der Wind dringt in die Röhre von der rechten Seite ein, regt das Saiteninstrument an und erzeugt somit vermeintlich versteckte Klänge. Die Konstruktion dreht sich auf dem Untergestell (V) mit dem Wind (Kircher 1684, S. 104).

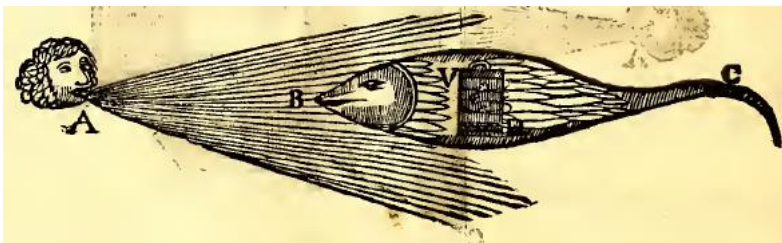


Abbildung 4: Blendwerk fliegender Fisch wird durch den Wind (A) angeregt, welcher in die Mundöffnung (B) strömt und dort das versteckte Saiteninstrument (VB) anregt. (Kircher 1650, Buch 7, S. 354).

Die erste wörtliche Definition eines Äolsinstrumentes dürfte auf Johann Jakob Hofmann zurückgehen, welcher in seinem *Lexicon Universalis* (1698) das Instrument „ÆOLIUM Instrumentum“ anführt und sich dabei auf ein Beispiel aus dem „Museum Kircheranium“ und den beiden Werken Kirchers bezieht.⁵⁹ Dieser Darstellung widerspricht Buchner, hier sollte ein englischer Dichter namens Thomsons für die erste wörtliche Nennung von Äolsinstrumenten verantwortlich sein, jedoch wesentlich später in der Mitte des 18. Jhdt.⁶⁰

Eine schriftliche Quelle ist vorhanden für Äolsinstrumente im außereuropäischen Raum des späten 17. Jhdt. im Königreich Siam: Hier handelt es sich um den Monddrachen *Wau Bulan*, welcher mit Saiten bespannt und mit Glocken behangen war. Diese Art der Drachen war in besonderen Farben und Form gestaltet.⁶¹

⁵⁹ Hofmann 1698, S. 88.

⁶⁰ Buchner 1992, S. 9.

⁶¹ Armengoud 1983, S. 40.

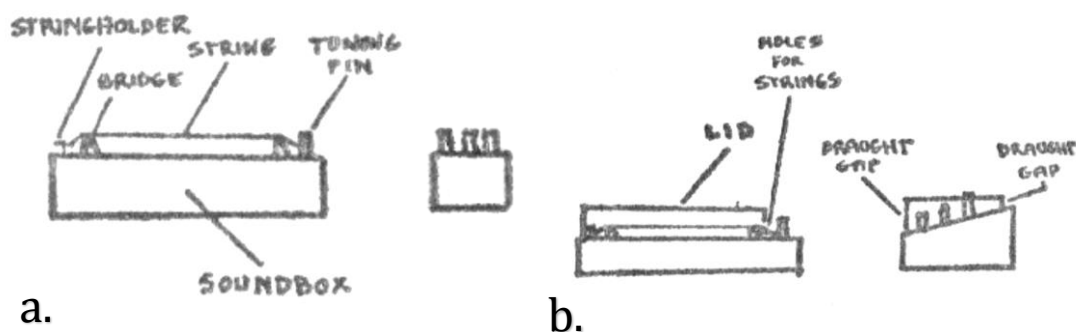
4.1.3 Ende 17. Jhdt. bis Ende 19. Jhdt.

Die weitere Entwicklung der Äolsharfe war geprägt von der Arbeit einzelner Individuen, welche selten im Austausch miteinander standen. In England kam es nach Kirchers Veröffentlichungen zu den ersten Belegen von Äolsharfen, welche jedoch vorerst nicht an Kirchers Arbeiten anknüpften. Unterstützt durch eine erhöhte Auseinandersetzung namhafter Literaten der Kunstliteratur und der damit einhergehenden Beeinflussung von Literaten in anderen Ländern, gelangte die Äolsharfe auch außerhalb Englands zu Bekanntheit. Hier sind vor allem Deutschland, Elsass, Italien, Frankreich und die Schweiz Länder, in denen überwiegend im 19. Jhdt. ein belegbares Interesse (in Form von Kunstliteratur, Musik und Exponaten) zur Äolsharfe vorherrschte.⁶² Hier spricht man in der Forschungsliteratur gerne von „der Blütezeit“ der Äolsharfen.^{63, 64, 65}

Da dieses Instrument als Luxusgut der Aristokratie galt schwand mit dem Ende des 19. Jhdt. allmählich das Interesse an ihm.⁶⁶

Zahlreiche Instrumentenbauer und Musikalienhändler beschäftigten sich in dieser Zeit mit dem Bau verschiedener Instrumententypen und boten diese zum Kauf an. Teilweise gab es stark experimentelle Ausführungen welche sich nicht weiter etablieren konnten.^{67, 68}

Innerhalb dieser Entwicklung kann man sechs Typen von Äolsharfen klassifizieren. Diese unterscheiden sich hauptsächlich an der Form ihrer Resonanzkörper, ihrer vertikalen oder horizontalen Ausrichtung und der jeweiligen Besaitung.⁶⁹ (siehe Abb. 5)



⁶² Bonner 1970, S. 18.

⁶³ Minnsen 1997, S. 13.

⁶⁴ Buchner 1992, S. 7.

⁶⁵ Költzsch 2012, S. 72.

⁶⁶ Bonner 1970, S. 20.

⁶⁷ Költzsch 2012, S. 73.

⁶⁸ Bröcker 1994, Sp. 674.

⁶⁹ Bonner 1970, S. 27.

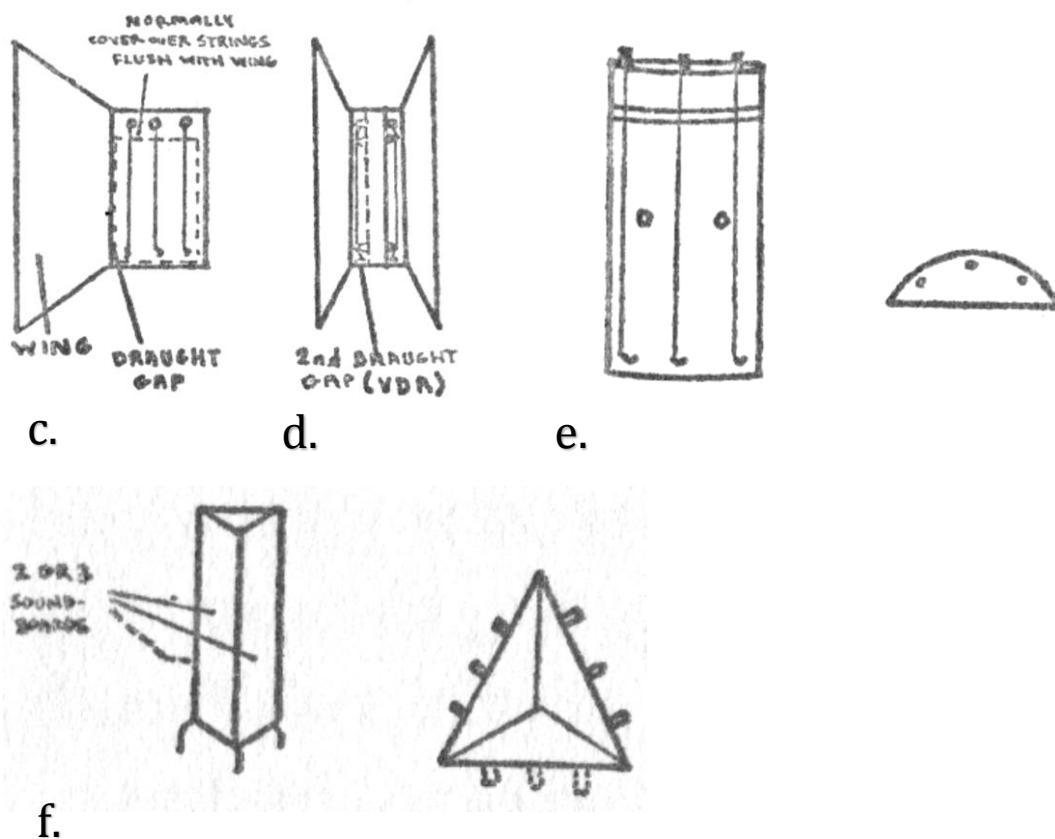


Abbildung 5: sechs Typen der Äolsharfe: a. horizontal, einhörig, rechteckig, populärstes Modell in England bis 1803; b. horizontal, einhörig, rechteckig, mit geneigten Resonanzboden, ebenso populär, nur in England; c. vertikal, einhörig, rechteckig, verwendet von Kircher, Jones, Melhop; d.: vertikal, doppelchörig, rechteckig, mit Flügel zur Luftverstärkung, verwendet von Steudal und Dietz; e. vertikal, einhörig, halbrund, bekannt in der Schweiz; f. vertikal, zwei-bis dreichörig, dreieckig, populär in Frankreich (Bonner 1970, S. 27).

Als prägende Konstrukteure und Kommentatoren innerhalb dieser Entwicklung werden in der Literatur häufig drei Personen genannt:

Der italienische Abbate Don Giulio Cesare Gattoni beschreibt in einer brieflichen, wissenschaftlichen Mitteilung an Pietro Moscati eine barometrische Äolsharfe mit dem Namen *Armonica Meterologica*. Diese bestand aus 15 Stahldrähten zwischen einem Turm (52 Fuß oder Arm hoch) und seiner Loggia im Abstand von 150 Schritten. Das Ziel dieser Konstruktion war es einerseits ein musikalisches Vergnügen zu

bewerkstelligen und andererseits ein Gerät zu schaffen welches zur Beobachtung des Wetters (als Barometer) mithilfe des Zusammenhanges von Klang und Wetter dienen sollte.^{70, 71, 72}

Da er sich selbst als Amateur im wissenschaftlichen Bereich sah, blieb es bei diesem Versuch und die Idee wurde nicht weiterverfolgt.⁷³ An dieser Stelle muss festgehalten werden, dass offensichtlich die Übersetzungen der Quellen (aus dem Italienischen) vereinzelt unterschiedlich ausfallen durften, was sich durch widersprüchliche Details in der Literatur widerspiegelt: Minssen⁷⁴ schreibt von einer Turmhöhe von 52 Arm, Bonner⁷⁵ von 52 Fuß. Da es sich hier jedoch lediglich um die grundlegende Beschreibung der Idee handelt, wird dem hier nicht weiter nachgegangen.

Der deutsche Instrumentenbauer Wilhelm Peter (II) Melhop gilt (nicht unumstritten⁷⁶) als Erbauer des am besten funktionierenden Äolsharfenmodelles.⁷⁷ Er verbesserte die damals gängigen Äolsharfen im Wesentlichen durch die Einbettung der Saiten im Instrument.^{78, 79}

Als technologischen Höhepunkt in der Entwicklung der Äolsharfe gilt (lt. Bonner⁸⁰) George Kastners Publikation *La Harpe d' Eole* (erschienen 1856). Hier beschreibt er vor allem die bis zu dem Zeitpunkt etablierten Äolsharfenarten, die vorhandene Instrumentengeschichte, Funktionsweisen und enthält zusätzlich die Notenblätter einer Komposition Kastners.⁸¹

Während in Europa sich im 19. Jhdt. das gängige Windharfenmodell entwickelte, wurden in China (und vermutlich in vielen weiteren ostasiatischen Gegenden) Flugdrachen mit Äolsharfen bestückt. Dies soll vor allem in den Frühlingsmonaten besonders häufig geschehen sei. Zu diesen Flugdracheninstrumenten zählen die bereits erwähnte *Feng*

⁷⁰ Buchner 1992, S. 9.

⁷¹ Bröcker 1994, Sp. 674.

⁷² Költzsch 2012, S. 73.

⁷³ Minssen 1997, S. 40.

⁷⁴ Ebd., S. 35.

⁷⁵ Bonner 1970, S. 75.

⁷⁶ Ebd., S. 62.

⁷⁷ Pilipczuk 1997, S. 141.

⁷⁸ Buchner 1992, S. 9.

⁷⁹ Bröckner 1994, Sp. 674.

⁸⁰ Bonner 1970, S. 20.

⁸¹ Kastner 1856, S. 1.

Zheng und das *Yaoquin*. Das *Feng Zheng* besteht aus einem Bambusbogen und einer dünnen, an beiden Enden des Bogens angebrachten Bambussehne. Dieser Bogen wird auf einen Flugdrachen montiert und erzeugt in der Luft ein lautes Summen. Das *Yaoquin* ist ein Bambusrahmen, welcher auf den Schwanz des Flugdrachens gehängt wird. Dieser wird durch Querstreben bestückt, auf denen die Saiten aufgebracht werden (siehe Abb. 6). Steigt nun der Flugdrache in die Luft, werden diese Saiten durch den Flugwind angeregt.⁸²



Abbildung 6: *Feng Zheng* (mit zerstörter Bambussehne) und *Yaoquin*, ca. 19. Jhdt., aus der Sammlung Galpin (Clark 2006, S. 265).

Spezielle seit dem 19. Jhdt. bekannte Beispiele für Äolsaerophone sind die *Taubenflöten*. Hierbei handelt es sich um auf Tauben angebrachte Flöteninstrumente, die im Flugwind der Taube angeregt werden und dabei Äolsklänge von sich geben. Abb. 7 zeigt eine Darstellung von der Anbringung und möglichen Formen.

⁸² Clark 2006, S. 214.

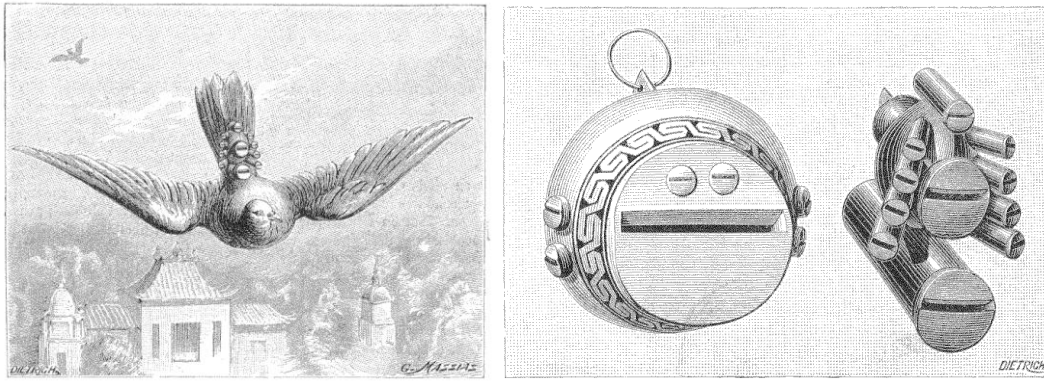


Abbildung 7: Darstellung einer Taube mit Taubenflöte und Taubenflötenformen (Martin 1893, S. 29).

Taubenflöten können seit dem 19. Jhdt. in China belegt werden.⁸³ Ende des 19. Jhdt. wurde das Instrument in einem Reisebericht von Martin⁸⁴ beschrieben was auf ein gewisses Interesse an den Instrumenten auch in Europa schließen lässt. Das Instrument wird bis heute z.B. für Hochzeiten verwendet.⁸⁵

4.2 In der Kunst (Kunsthliteratur, Musik, bildende Kunst)

Auch in der Philosophie, sowie in der Kunst sind unter den Äolsinstrumenten hauptsächlich Äolsharfen sowie Äolsklänge als zentrale Themen bekannt. Etliche Schriften mit Äolsharfenbezug sind im naturphilosophischen Umfeld zum Thema des Naturverständnisses der Romantik (und darüber hinaus) vorzufinden.^{86, 87, 88, 89} Jedoch ist das Gebiet so weitreichend, dass dem philosophischen Diskurs aus pragmatischen Gründen nicht weiter nachgegangen wird. Somit wird in diesem Kapitel die Betrachtung auf drei Bereiche der Kunst begrenzt, in denen Äolsinstrumente und deren Klänge ein nennenswertes Thema sind (Kunst-Literatur, Musik, bildende Kunst).

Alleine in der bildenden Kunst sind in Form von Klanginstallationen alle drei Instrumentengattungen der Äolsinstrumente zu finden (siehe Kapitel 4.2.3), in der Kunsthliteratur und der Musik sind gänzlich nur Themen um die Äolsharfe vorzufinden.

⁸³ Mitchell 2006, S. 213.

⁸⁴ Martin 1893, S. 30.

⁸⁵ Website von Hochzeitstaubenservice Doubelli, letzter Zugriff am 21.07.2023.

⁸⁶ Minssen 1993, S. 63.

⁸⁷ Hankins & Silverman 2014, S. 86.

⁸⁸ Keylin 2015, S. 84.

⁸⁹ Bucht 2012, S. 9.

4.2.1 Kunstliteratur

Zahlreiche Stellen in der Kunstliteratur, vor allem in der Romantik, weisen direkt auf Äolsharfen oder äolische Klänge hin. In Gedichten, Prosa, und Reflexionen kommt das Instrument in prominenter Darstellung sowie auch nur als Nebensächlichkeit vor.⁹⁰ Die hier genannten Literaten und Werke wurden wegen ihrer häufigen Nennung in der spezifischen Literatur der Äolsinstrumente ausgewählt.

In der nicht deutschsprachigen Literatur sind vor allem in England eine Reihe an Gedichten und auch einige Prosatexte vorhanden. Dies dürfte vor allem am ersten Interesse an der Äolsharfe nach den Schriften Kirchers liegen. Auch außerhalb Englands sind viele Texte zum Thema vorzufinden, bekannte Vertreter außerhalb des deutschen Sprachraumes mit den entsprechenden Werken werden folgend aufgezählt (aus Brown⁹¹):

James Thomson (*The Castle of Indolence*, 1748; *On Aelous's Harp*, 1750)

Christopher Smart (*Inscriptions on an Aeolian Harp*, 1750)

Samuel Taylor Coleridge (*The Eolian Harp*, 1795)

Robert Bloomfield (*Aeolus*, 1800)

Alfred Tennyson (*The Two Voices*, 1834)

Louis Hector Berlioz (*musical en Allemagne et en Italie*, 1844)

Henry Davi Thoreau (*A Week on the Concord and Merrimack Rivers*, 1849⁹² ; *Rumors from an Aeolean Harp*, 1860)

Ralph Waldo Emerson (*Maiden Speech of the Aeolian Harp*, 1876; *The Harp*⁹³)

Herman Melville (*The Aeolian Harp: at the Surf Inn*, 1888)

Die hier angeführten Titel beschäftigen sich meist schwärmerisch über die Äolsharfe direkt und sind überwiegend in Gedichtform verfasst. Meist wird das Instrument in seinen besonderen Eigenheit in gefühlsvoller Form beschrieben.

⁹⁰ Tanhaef 2017, S. 5.

⁹¹ Brown 1970, S. 15-87.

⁹² Hankins & Silverman 2014, S. 109.

⁹³ Ebd., S. 108.

In der deutschsprachigen Literatur sind ebenso etliche Autoren für die Beschreibung von Äolsharfen- und deren Klängen in ihren Werken bekannt; prominente Vertreter hierfür sind:⁹⁴

Georg Christoph Lichtenberg (*Von der Äolusharfe*, 1792)

Jean Paul (*Hesperus* 1864; *Das Leben des Quintus Fixlein*, 1795)

Johann Gottfried Herder (*Die Äolsharfe -nach Thomson*, 1795; Szene aus dem Freimaurerdialo *Adrastea*, 1801-1803)

Friedrich Hugo von Dalberg (*Die Äolsharfe. Ein allegorischer Traum*, 1801)

Johann Wolfgang von Goethe (*Faust*, 1808; *Äolsharfen. Ein Gespräch*, 1822; *Serbische Lieder*, 1823)

E.T.A. Hoffmann (*Lebensansichten des Kater Murr*, 1819; *Klein Zaches genannt Zinnober*, 1819; *Die Serapionsbrüder*, 1819)

Karl Immermann (*Münchhausen*, 1838)

Justinus Kerner (*Die Äolsharfe in der Ruine*, 1826; *Der Grundton der Natur*, 1839)

Adalbert Stifter (*Prokopius*, 1847; *Die Narrenburg*, 1855)

Eduard Mörike (*An eine Äolsharfe*, 1867; *Ach nur einmal noch im Leben*, 1867)

Die hier angeführten Titel beschäftigen sich nicht alle direkt mit der Äolsharfe, sondern verwenden das Instrument auch als nebensächlichen Teil der Geschichte. Hier stellt es eine Form von Kolorit dar, welches den Text eine zusätzliche romantische Note verleiht.

In der Gegenwart wird das Thema gerne als Sujet aufgegriffen, vermutlich, um an die romantische Bedeutung des Instruments anzuknüpfen. Ein Beispiel hierfür ist der Sammelband *Windharp. Poems of Ireland since 1916*⁹⁵, in welchem irische Gedichte gesammelt wurden. In keinem der Gedichte findet sich jedoch die Windharfe direkt wieder, auch nicht in dem im Sammelband enthaltenen Gedicht *Windharp*⁹⁶ von John Montague (hier wird lediglich ein rastloses Wispern als Klang von Irland titulierte).

4.2.2 Musik

⁹⁴ Tanhaef 2017, S. 5-8.

⁹⁵ Mac Monangle (Hrsg.) 2015.

⁹⁶ Montague 2015, S. 86.

Im 19. Jhdt. wurden einige Gedichte zum Thema Äolsharfe und -klänge von bekannten Vertretern der Kunstmusik vertont. Die hier genannten Komponisten und Werke wurden wegen ihrer häufigen Nennung in der spezifischen Literatur der Äolsinstrumente ausgewählt. Es folgt eine Auflistung der Komponisten und deren entsprechenden Werke:⁹⁷

Johann Friedrich Reinhardt (*Lied aus der Ferne*, nach Matthisson 1794)

Ludwig van Beethoven (*The Aeolian Harp*, nach Hunter 1816)

Franz Schubert (*Lied aus der Ferne*, nach Matthisson 1814; *Trost im Liede*, nach Franz von Schober 1817)

Johannes Brahms: *An eine Äolsharfe*, nach Eduard Mörike 1858/1859)

Hugo Wolf (*An eine Äolsharfe*, nach Eduard Mörike 1888)

Max Reger (*Äolsharfe*, nach Hermann von Lingg 1903)

Die hier angeführten Kompositionen sind allesamt Vertonungen von Gedichten meist zeitgenössischer Dichter. Die Texte beschreiben in romantischer Manier die Äolsharfen und deren Klängen. Die Lieder werden in Originalfassung überwiegend durch Gesang vorgetragen und von Klavierspiel begleitet.⁹⁸

Ein Werk von Frédéric Chopin (*Étude in A-Moll, Op. 25, Nr. 1*, veröffentlicht 1837), welches keine Gedichtvertonung ist, erlangte durch die Bezeichnung von Robert Schumann⁹⁹ den Beinamen *Aeolean Harp*.

In der Gegenwart wird das Adjektiv *aeolian*, wie im Beispiel der Literatur, gerne als Sujet für Kompositionen und Produktionen von sphärischer Gestaltung verwendet.¹⁰⁰ Auch finden sich Produktionen mit Aufnahmen von Äolsinstrumenten, (siehe Oppermann Kapitel 7.3) oder als kompositorisches Hilfsmittel (z.B. „*Windsongs*“ *The Sound of Aeolian Harps*¹⁰¹)

Es ist anzunehmen, dass es weit mehr Zeugnisse von Äolsinstrumenten in der Musik gibt, als hier beschrieben. Eine tiefergehende Auseinandersetzung hinsichtlich der Entwicklung der Äolsinstrumente in der Musik unter Einbeziehung der ästhetischen

⁹⁷ Tanhaef 2017, S. 9.

⁹⁸ Vgl. Windisch-Laube 2004. S. 250-289.

⁹⁹ Schumann 1837, S. 199.

¹⁰⁰ Website von Aeolian Harps, letzter Zugriff am 20.05.2023.

¹⁰¹ Winfield 1991.

Aspekte und möglicher Deutungen kann weitere Erkenntnisse bringen. Eine umfassende Betrachtung hierzu bietet Windisch-Laube.¹⁰²

4.2.3 Bildende Kunst

Äolsinstrumente sind in der bildenden Kunst als Klangskulpturen vorzufinden.¹⁰³ Diese können weiter als Klangkunst eingeordnet werden¹⁰⁴ und es finden sich darin Äolsinstrumente aller Gattungen wieder (Idiophone, Chordophone, Aerophone). Die entstehenden Klänge sind meist als immanenter Teil des jeweiligen Kunstwerkes zu verstehen. Vorzufinden sind die Kunstwerke am gesamten Globus, sie können fest am Boden verankert oder mobil gestaltet sein.

Als Äolsklangskulptur könnte unter anderem die bereits beschriebene Wetterharfe Gattonis gedeutet werden, die ersten Äolsklangskulpturen mit künstlerischer Intention sind seit den 1970er Jahren bekannt.¹⁰⁵

Einige Klangstimuli für die Signalanalyse und Hörer*innenstudie (Kapitel 8 und 9) entstammen aktuell existierenden Äolsklangskulpturen.

Da hier nur ein Überblick über dieses weitreichende Gebiet geschaffen werden soll, werden hier vor allem zwei Quellen für Äolsklangskulpturen als weitere Recherchemöglichkeiten genannt:

Die *Aeolian Soundmap* (www.aeoliansoundmap.co.uk) zeigt auf einer Weltkarte viele Äolsklangskulpturen mit Ton und Bild und beinhaltet eine Vielzahl an Informationen zum Thema.

Im Multimediaprojekt *Vent de Guitars* (<https://ventdeguitares.com>) ist ebenfalls eine Weltkarte vorzufinden, in welcher Klangbeispiele von überwiegend Gitarren aus aller Welt gezeigt werden sowie auch von anderen Instrumenten, die vom Wind angeregt klingen. Die Darstellung wird in Bild und Ton geboten.

¹⁰² Windisch-Laube 2004, S. 297.

¹⁰³ Keylin 205, S. 68.

¹⁰⁴ Gál 2016, S. 341.

¹⁰⁵ Davis „Sound Sculpture“, Grove Music Online, letzter Zugriff am 20.07.2023.

4.3 In der Welt

Auch dieses Kapitel soll wie die beiden vorausgehenden Kapitel dazu dienen, einen pragmatischen Überblick zu verschaffen, wo und in welcher Form Äolsinstrumente in der Welt (überwiegend außerhalb Europas) zu verorten sind.

4.3.1 Äolsidiophone

Die *Chuong Khan* ist ein vietnamesisches Glockenspiel, welches durch den Luftzug beim Eintreten in ein Haus ertönt.¹⁰⁶

In China ist ein Flugdrache als *großer Drache mit Gong* bekannt, welcher mit kleinen Gongs bestückt ist. Sobald dieser sich in der Luft im Wind befindet, werden diese Gongs durch eine rotierende Rutenkonstruktion angeschlagen. Die Ruten werden hierbei durch „Windschaufeln“ angetrieben (siehe Abb. 8), die ebenso am Drachen angebracht sind.¹⁰⁷

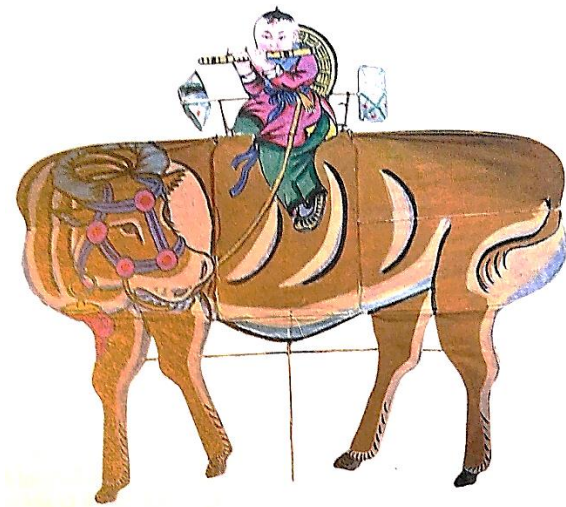


Abbildung 8: Flugdrache „großer Drache mit Gong“, die Windschaufeln befinden sich links und rechts neben der Flötenspielerdarstellung, die Gongs befinden sich hinter dem Drachen (Armengaud 1983, S. 37).

Als ein sehr zweckdienliches Instrument im Alltag dürfte sich die *Kotra* in Madagaskar erweisen: Dieses Äolsinstrument dient dem Fernhalten von Wildtieren und funktioniert durch Aufschlagen von Bambusrohren bei Einfluss von Wind.¹⁰⁸

¹⁰⁶ Buchner 1992, S. 7.

¹⁰⁷ Armengoud 1983, S. 37.

¹⁰⁸ Ebd., S. 53.

Lt. Buchner¹⁰⁹ sind in Ostasien und -afrika bis heute frei aufgehängte Glocken bekannt, welche durch den Wind angeregt werden. Dies dürfte auch für viele andere Regionen der Fall sein. So werden Windglocken in China, Myanmar und Korea an Dächer von Tempeln, Pagoden und zum Teil von Privathäusern gehängt und oft mit spirituellem Schutz und der Abwehr von Spatzen in Verbindung gebracht.¹¹⁰

Äolsidiophone in Form von Windspielen sind wahrscheinlich weltweit ein beliebtes Instrument, das in Gärten, auf Balkonen oder an vielen anderen Plätzen gerne aufgehängt wird. Da die Quellenlage zur Verbreitung solcher Windspiele aber sehr gering ist, wird hier von weiteren Beschreibungen abgesehen. Der pragmatischste Ansatz zur Eruiierung der Verbreitung von Äolsidiophonen wäre wahrscheinlich eine Auswertung von Verkaufsdaten namhafter Hersteller von Windspielen. Auch dies könnte ein weiterer Forschungsschwerpunkt im Zuge der Erforschung von Äolsinstrumenten sein.

4.3.2 Äolschordophone

In China sind mehrere Arten von Äolsharfen bekannt: die Shanghaier Drachenharte *Jao-Kin*,^{111, 112} welche am Schwanz eines Flugdrachen befestigt wird (siehe Abb. 6), den Bambusbogen *Jao-Pien*, dessen Saiten aus einem schmalen Band bestehen, sowie die Doppelharfe *King-chéng*.^{113, 114} In gegenwärtiger Zeit erfreut sich die Verwendung von äolischen Flugdrachen großer Beliebtheit in China, hierfür zeugen etliche aktuelle Publikationen zum Bau solcher Geräte.¹¹⁵

Auch in Java kennt man Bögen, auf denen eine Saite aufgespannt wird und welche auf *Sawangan*-Flugdrachen montiert werden. Im Flug erklingen durch das Schwingen der Saite Äolsteine.¹¹⁶

Ein ähnliches Konzept wird auch beim *Manuante*-Flugdrachen der Ureinwohner Neuseelands, den Maori¹¹⁷, beim Flugdrachen *Thméñ Čei* in Kambodscha¹¹⁸, bei den

¹⁰⁹ Buchner 1992, S. 9.

¹¹⁰ Armengoud 1983, S. 55.

¹¹¹ Ebd., S. 46.

¹¹² Clarke 2006, S. 214.

¹¹³ Buchner 1992, S. 9.

¹¹⁴ Költzsch 2012, S. 76.

¹¹⁵ Clark 2006, S. 215.

¹¹⁶ Bonner 1970, S. 78.

¹¹⁷ Armengaud 1983, S. 36.

¹¹⁸ Ebd., S. 38.

Flugdrachen *Baramon*, *Dako* und *Beka* in Japan sowie beim Flugdrachen *Layang-Layang* in Malaysia¹¹⁹ (siehe Abb. 9) angewendet.



Abbildung 9: Flugdrache „Layang Layang“, die schwingende Saite ist im hinteren Bereich des Drachen angebracht und ragt bis zum oberen Ende (Armengaud 1983, S. 46).

Aus Äthiopien sind *Äolszithern* belegt, welche aus mehreren Pflanzenstängeln und Rinden bestehen. Die Rinde bildet hierbei einen Zylinder und die Stängel sind so ausgerichtet, dass sie durch den durchströmenden Wind zum Schwingen angeregt werden können.¹²⁰

Laut eines Berichts von Irkowitz aus dem Jahr 1935¹²¹ waren zu dieser Zeit in Südamerika noch keine Äolsharfen bekannt, außer in Guyana. Hier fand man Äolsharfen, die aus drei bis vier senkrecht im Boden angebrachten Stängel der Itah Palmen bestanden. Die Stängel wurden longitudinal angeschnitten und durch eine Art Brücke miteinander verbunden. Diese Konstruktion soll bei Anregung durch den Wind süße und schweremütige Klänge erzeugt haben.¹²²

¹¹⁹ Armengaud 1983, S. 40–45.

¹²⁰ Bonner 1970, S. 77.

¹²¹ Ebd., S. 81.

¹²² Ebd.

4.3.3 Äolsaerophone

Im ostasiatischen Raum sind vermehrt Drachenflöten aufzufinden. Hierbei werden Flöteninstrumente auf Flugdrachen befestigt, welche beim Aufsteigen derselben durch den natürlichen Wind angeregt werden. Bekannt sind diese Instrumente unter anderem als *Berbaling*-Pfeifen im malaysischen Raum und als *Sai-Sao* (singende Vögel) im chinesischen Raum.¹²³ In Vietnam sind Flötendrachen wie diese ebenso bekannt, sie heißen jedoch *Caï Sao* (was auch singende Vögel bedeutet).¹²⁴ Abbildung 10 zeigt ein *Caï Sao*.

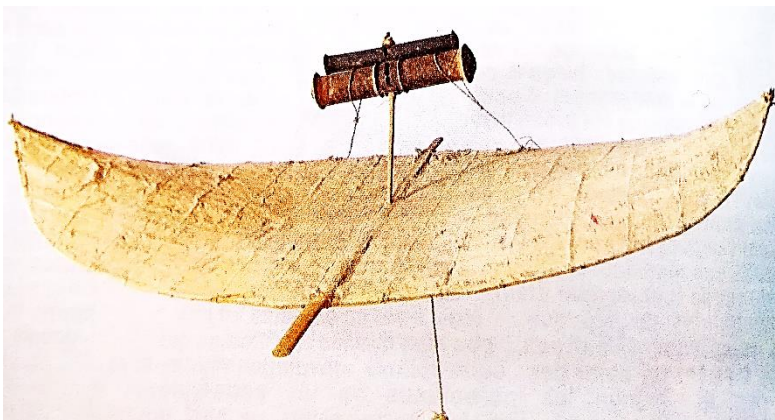


Abbildung 10: Flugdrache *Caï Sao*, die Flöte ist über den Drachen angebracht (Armengaud 1983, S. 34).

Große bis zu 14 m lange Bambusflöten-Instrumente sind im malaysischen Raum bekannt: diese werden bei Volksfesten in den Boden geschlagen und die Schlitze an unterschiedlichen Stellen des Rohres erzeugen bei Anregung durch Wind Klänge auf unterschiedlichen Tonhöhen.¹²⁵ Ähnliche Flöteninstrumente werden auch in Melanesien (Neu Guinea) aufgebaut.¹²⁶

In Portugal ist eine lange Tradition bekannt: auf den Seilverbindungen von Windmühlräder werden hohle Tongefäße angebracht. Wenn der Wind auf die Räder trifft, erklingt somit die Mühle in verschiedenen Äolsklängen. Die Tongefäße werden hierbei sorgfältig abgestimmt, um ein möglichst schönes Klangerlebnis zu erhalten.¹²⁷

¹²³ Bucher 1992, S.9.

¹²⁴ Armengaud 1983, S.34.

¹²⁵ Bucher 1992, S.9.

¹²⁶ Armengaud 1983, S.5.

¹²⁷ Minnsen 1997, S. 41.

5. IDIOPHONE

Innerhalb der Instrumentengruppe der Idiophone wird in der Hornbostel-Sachs-Systematik im Wesentlichen unterschieden zwischen Schlag-, Zupf-, Reib- und Blasidiophonen.^{128, 129} Allein durch natürlichen Wind angeregte Instrumente sind hauptsächlich unter den Schlagidiophonen (Wind-Chimes/Windspiele,¹³⁰ Äolsglocken¹³¹) bekannt. Schon Chladni bemerkte in *Die Akustik* das Wirken von „fliegenden Körpern“, als im Wind klangerzeugende Objekte, welche als Blasidiophone eingeordnet werden können.¹³² Unter den Blasidiophonen spielten kurze Zeit um etwa 1800–1850 das „Äolsklavier“^{133, 134} (auch das „Piano Chanteur“¹³⁵) bzw. die „Äolina“, das „Äolodikon“ das „Äolodion“,^{136, 137, 138} das Äolomelodicon sowie das Äolopantolon¹³⁹ eine gewisse prägende Rolle. Da hier der Wind durch die Betätigung von Pedalen¹⁴⁰ oder durch menschliches Anblasen^{141, 142, 143} erzeugt wurde, werden diese Instrumente entgegen dem oben genannten Äols-Präfix nicht primär durch natürlichen Wind angeregt und stellen somit für diese Arbeit eine begriffliche Ausnahme dar. Abgesehen von der „Äolina“¹⁴⁴ und dem „Äolodikum“¹⁴⁵ waren im Rahmen dieser Arbeit keine aussagekräftigen Skizzen, Exponate oder detaillierte Beschreibungen zur Funktion dieser Instrumente auffindbar. Aus diesen beiden Gründen wird von einer weiteren Betrachtung der Blasidiophone des 19. Jhdt. in dieser Arbeit abgesehen.

Unter den Schlagidiophonen ist innerhalb der Begriffsgruppe „Chimes/Mark Tree“ ein namentliches Paradoxon zu erkennen: Die Übersetzung von „Chimes“ aus dem Englischen ins Deutsche lautet meist „Glockenspiel“ (als kleines Metallophon/Stabspiel von

¹²⁸ Brown & Palmer 1991, S. 73.

¹²⁹ Hornbostel & Sachs 1914, S. 563.

¹³⁰ Holland 1991, S. 432.

¹³¹ Sachs 1962 S. 16.

¹³² Chladni 1830, S. 48.

¹³³ Libin, „Äolsklavier.“ Grove Music Online, letzter Zugriff am 29.03.2021.

¹³⁴ Ahrens 2004, S. 277.

¹³⁵ Hornbostel & Sachs 1914, S. 569.

¹³⁶ Riewe 1879, S. 10.

¹³⁷ Gathy 1840. S. 7.

¹³⁸ Valentin 1980, S. 277.

¹³⁹ Apel 2000, S. 14.

¹⁴⁰ Fink 1828, S. 530.

¹⁴¹ Chambers 1999, S. 181.

¹⁴² Apel 2000, S.14.

¹⁴³ Költzsch 2014, S.77.

¹⁴⁴ Chambers 1999, S.181-183.

¹⁴⁵ Ahrens 2004, S.278.

Aufschlagstäben verstanden). Das deutsche „Glockenspiel“ wird jedoch im Englischen ebenso „glockenspiel“ (bzw. „orchestra bell“) genannt. Diese „Glockenspiele“ dürfen wiederum nicht verwechselt werden (dt. und englisch) mit den großen Glockenspielen, welche mit großen Aufschlagglocken, oftmals durch Klaviatur oder automatischen Mechanismus betrieben werden (engl. „Carillon“).¹⁴⁶

Des Weiteren zählen die Instrumente „Chimes“ und „Mark Tree“ lt. Holmes zu den Aufschlagrohren.^{147, 148} Diese Bezeichnung wird jedoch in der Praxis weitgehend für Aufschlagstäbe und Aufschlagrohre gleichermaßen verwendet. Eine Doppeldeutigkeit wie diese lässt sich auch für den Begriff „Wind Chimes“ feststellen.

Eine weitere unklare Abgrenzung erfährt die Windglocke (engl. „wind bell“). Diese eigentliche Aufschlagglocke wird häufig, aber fälschlicherweise gemeinsam mit dem Windspiel („wind chime“), also mit Aufschlagstäben oder Aufschlagrohren, als dasselbe bezeichnet.¹⁴⁹

Englisch	Deutsch	Instrument
Wind Chimes	Windspiel/Chimes	Aufschlagstäbe
Chimes	Röhrenglocken	Aufschlagrohre
Mark Tree	Chimes	Aufschlagstäbe
Glockenspiel	Glockenspiel/Metallophon	Aufschlagstäbe
Carillon	Klaviaturglockenspiel	Aufschlagglocken
Wind Bell	Wind Glocke	Aufschlagglocken

Tabelle 1: Gegenüberstellung Begriffe Idiophone (eigene Tabelle)

5.1 Funktion

Idiophone erzeugen durch ihre selbstklingende Eigenschaft den Klang als ein Ganzes und benötigen dazu nicht zwingend einen Resonator. In diesem Sinn sind sie Schallerzeuger und Schallabstrahler in einem.¹⁵⁰

Selbstklinger klingen je nach Bauart und Material in unterschiedlicher Weise¹⁵¹. Die Tonhöhe und die Ausprägung der Obertöne werden maßgeblich durch die

¹⁴⁶ Rombouts 2001, S. 128.

¹⁴⁷ Holland 2005, S. 12.

¹⁴⁸ Ebd., S 35.

¹⁴⁹ „Wind Bell“ in Britannica, Zugriff am 26.04.2023.

¹⁵⁰ Barkowsky 2015, S. 76.

¹⁵¹ Morse 1981, S 152.

Formgebung bestimmt.¹⁵² Die Klangfarbe und Tonhöhe wird ebenso sehr stark durch die Materialbeschaffenheit der Selbstklinger bestimmt.¹⁵³

Durch Wind angeregte Idiophone sind im Wesentlichen als Aufschlagstäbe (111.21¹⁵⁴) Aufschlagrohre (111.23¹⁵⁵) und Aufschlagglocken (111.24¹⁵⁶) bekannt. Da die Schallanregung in dieser Instrumentengruppe für alle Instrumente dieselbe ist (Klangkörper wird durch impulshafte Einwirkung eines harten Gegenstandes/Schlegels in Schwingung versetzt), wird diese hier nicht weiter angeführt, sondern in den folgenden Unterkapiteln jeweils kurz beschrieben. Die grundlegenden weiteren Funktionsweisen (Schallabstrahlung) der jeweiligen Untergruppen werden ebenso im Folgenden beschrieben.

5.1.1 Aufschlagstäbe (z.B.: Xylophon)

Aufschlagstäbe werden vor allem für die Instrumente des Stabspieles verwendet¹⁵⁷. Hierbei werden die Aufschlagstäbe in unterschiedlichen Anordnungen meist in der Mitte des Aufschlagstabes (längsseitig) mithilfe eines Schlegels in Schwingung versetzt. Diese sind entweder gelegt (z.B.: Xylophon), eingespannt oder gehängt (z.B. „Chimes“/Glockenspiel – definitorische Auseinandersetzung dieses Begriffes siehe Kapitel 5)

Massive Stabschwinger (Aufschlagstäbe) werden physikalisch betrachtet als schwingende Balken bezeichnet. Wird ein Balken angeregt, schwingt er meist auf verschiedenen Frequenzen gleichzeitig (siehe Abb. 11). Zum jeweiligen erklingenden Teilton gehört eine Schwingungsmode (auch Eigenform/Eigenfunktion genannt), wobei die langsamste Mode

($n = 1$) den Grundton (Frequenz f_0) angibt und jede weitere Mode ihre eigene Frequenz hat.

¹⁵² Benade 1976, S. 51.

¹⁵³ Fletcher & Rossing 1998, S. 623.

¹⁵⁴ Hornbostel & Sachs 1914. S. 564.

¹⁵⁵ Ebd.

¹⁵⁶ Ebd. S. 565.

¹⁵⁷ Holland 2001, S. 706.

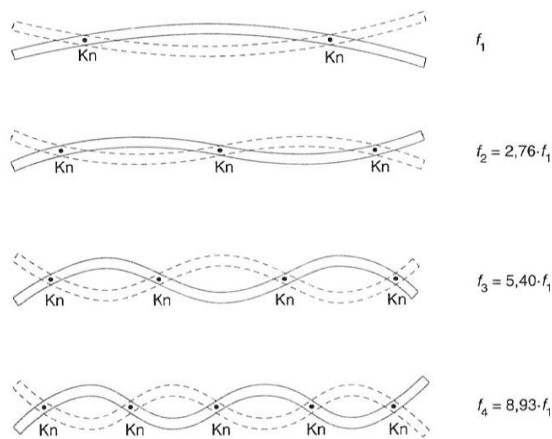


Abbildung 11: Die ersten vier Eigenschwingungen eines frei gelagerten Stabs mit gleichmäßig verteilter Masse und gleichmäßigem Querschnitt, bei angepasstem Querschnitt verschieben sich auch die Schwingungsknoten (aus: Hall 2008, S. 176).

Grundsätzlich gilt: Die unterschiedlichen Frequenzen der jeweiligen Schwingungsmoden in einem frei gelagerten Balken hängen von der Länge der jeweiligen stehenden Welle im Balken ab: je kürzer die stehende Welle, desto höher die entstehende Frequenz (vergl. Tab. 2).¹⁵⁸

Frequency (Hz)	Wavelength (m)	Nodal positions (m from end of 1-m bar)
$f_1 = 3.5607 \sqrt{L^2 \sqrt{E/\rho}}$	$1.330L$	0.224, 0.776
$2.756f_1$	$0.800L$	0.132, 0.500, 0.868
$5.404f_1$	$0.572L$	0.094, 0.356, 0.644, 0.906
$8.933f_1$	$0.445L$	0.073, 0.277, 0.500, 0.723, 0.927

Tab. 2: Abhängigkeit der Frequenz und der jeweiligen Wellenlänge in einem frei gelagerten Balken (aus: Rossing 2008, S. 48).

Ebenso kann davon ausgegangen werden, dass in Platten und Stäben sich Wellen longitudinal und transversal in Form von Biege- und Torsionswellen ausbreiten. Die transversale Auslenkung spielt für die Praxis die wesentlichste Rolle. Auch Oberflächen- und Schubwellen sind unter gewissen Voraussetzungen möglich (dickwandige Strukturen). Hierbei ändert sich die Dicke der Platte oder des Stabes periodisch. Die Schwingungsformen der jeweiligen Moden hängen von der Art der Einspannung und der Art des Aufschlages (z.B. Stabende oder Stabmitte) ab. Die Enden eines Stabes oder einer Platte können fest eingespannt oder frei drehbar gelagert sein. Auch eine völlig freie Lagerung des Stabes/der Platte ist möglich.^{159, 160}

¹⁵⁸ Rossing 2008, S. 48.

¹⁵⁹ Steppat 2014, S. 55.

¹⁶⁰ Barkowsky 2015, S. 76.

Zur einfachen Berechnung der Grundfrequenz eines rechteckigen Stabes kann folgende Formel herangezogen werden:¹⁶¹

$$f = \frac{a^2 * d}{4\pi l^2 \sqrt{3}} * \sqrt{\frac{E}{s}}$$

E = Elastizitätsmodul; l = Länge des Stabes; d = Dicke; s = Dichte; a = für die einzelnen Eigenfrequenzen verschieden.

Die Tonhöhe von Stabschwingern hängt im Wesentlichen von der Dicke (proportionale Abhängigkeit) und der Länge (exponentielle Abhängigkeit) des Stabes ab. Da bei starken Stäben mit rechteckigen, gleichbleibenden Querschnitten die Teiltöne keine Vielfachen des Grundtones bilden (resultierend aus ungleichen Schwingungsknoten der Moden), ist ein Erkennen des Grundtones von Stabschwingern oft erschwert (mit Ausnahme der Stimmgabel, die nur kurzlebige Obertöne bildet).^{162, 163}

Hierzu gibt die Tabelle 3 näher Aufschluss. Dieser Umstand ist durch eine hohe Widerstandskraft (Steifigkeit) bei erhöhten Materialstärken zu begründen, welcher in der Praxis durch entsprechende Verjüngung des jeweiligen Stabes (konkav entlang der Längsseite) entgegengewirkt wird.¹⁶⁴

F_m	Stabende frei-frei	Stabende fest-frei
F ₀ = f _{m = 1}	1	1
f ₂	2,76	6,27
f ₃	5,41	17,57
f ₄	8,94	34,37
f ₅	13,37	56,84

Tab 3: Frequenzen f der Stimmungsmoden m als Verhältnis zur Frequenz der Mode m = 1 bei Stab oder Balken. Der Grundton f₀ wird geliefert von der ersten Mode und ist hier gleich 1 gesetzt. (eigene Tabelle, Werte aus: Barkowsky 2015, S. 81, Hinweis: bei Barkowsky sind hier die Spalten vertauscht).

Bei der Schwingung von einseitig eingespannten Stäben (z.B. die Stimmgabel) liegt am freien Ende immer ein Schwingungsbauch und am festen Ende ein Schwingungsknoten vor. Er schwingt je nach Mode wie ein eingespannter bzw. wie ein beidseitig

¹⁶¹ Stauder 1976, S. 143.

¹⁶² Ebd.

¹⁶³ Barkowsky 2015, S. 81.

¹⁶⁴ Hall 2008, S. 177.

freischwinger Stab.¹⁶⁵ (siehe Abb. 12). Bei Betrachtung der Schwingungsknoten (Kn) kann festgestellt werden, dass diese sich nicht ganz überlagern und somit ebenso nicht zu einem eindeutigen Klangbild führen dürften. Dies ist jedoch im Falle von Stimmgabeln vernachlässigbar, da ab der zweiten Mode diese sehr rasch ausklingen und somit nicht wesentlich zum Klangbild beitragen. Hauptsächlich wird die erste Mode als Grundton wahrgenommen.¹⁶⁶

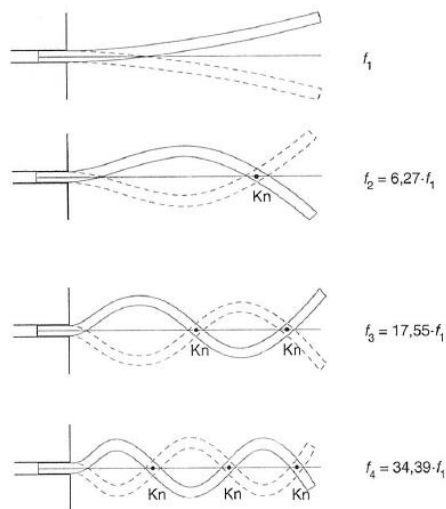


Abbildung 12: Die ersten vier Eigenschwingungen eines an einem Ende eingespannten Stabs mit gleichmäßig verteilter Masse und gleichmäßigem Querschnitt (aus: Hall 2008, S. 174).

5.1.2 Aufschlagrohre (z.B. Röhrenglocken)

Aufschlagrohre in unterschiedlichen Formen sind in der Praxis häufig im Standardinstrumentarium vieler Orchester unter den bereits genannten Namen zu finden („Chimes“, „Mark Tree“, „Wind Chimes“). Sie produzieren einen glockenähnlichen Klang, wobei die klangliche Ähnlichkeit mit echten Glocken umstritten ist.^{167, 168, 169}

In der Literatur sind Aufschlagrohre zur Gänze als Röhrenglocken (engl. „tubular bells“) beschrieben. Generell ist hierbei das obere Ende des Rohres meist teilweise oder ganz verschlossen.¹⁷⁰ Die Tonerregung erfolgt im orchestralen Zusammenhang durch eine Anregung am verschlossenen Ende des Rohres.¹⁷¹

¹⁶⁵ Barkowsky 2015, S. 81.

¹⁶⁶ Hall 2008, S. 175.

¹⁶⁷ Heise 2004, S. 323.

¹⁶⁸ Rossing 2008, S. 67.

¹⁶⁹ Blades & Holland 2001, S. 866.

¹⁷⁰ Rossing 2008, S. 67.

¹⁷¹ Heise 2004, S. 323.

Akustisch könnte man unter bestimmten Voraussetzungen das Aufschlagrohr als eine rechteckige Platte betrachten, wobei die Materialdicke hierbei vernachlässigbar ist. Diese Betrachtung des zylindrischen Rohrs als Platte wurde unter anderem bereits zur physikalischen und algorithmischen Modellierung durch Rabensteiner, Koch und Popp angewandt.¹⁷² Hierbei wurde ein angenommener Zylinder entlang der Längsseite aufgeschnitten und aufgerollt (siehe Abb. 13). In diesem Modell ist das Rohr frei von fremden Krafteinwirkungen sowie ohne Beschädigung nach der Konvertierung zur Platte und die Materialstärke ist vernachlässigbar (vereinfachtes System).

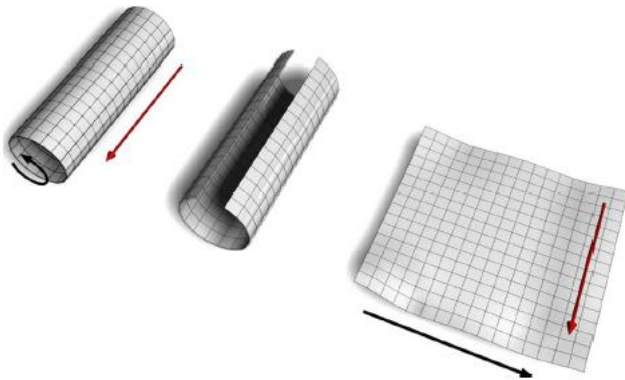


Abbildung 13: Konvertieren eines Rohres in eine Platte (Rabenstein/Koch/Popp 2010, S. 882).

Platten sind im Wesentlichen zweidimensionale Schwinger und bilden bei Anregung stehende Wellen entlang einer gedachten Schnitlinie, nach denselben Prinzipien wie bei einem Stab. Bei viereckigen Platten werden diese durch die Knotenlinien in gleich große Abschnitte geteilt (siehe Abb. 14 und Abb. 15). Die Möglichkeit der Visualisierung dieser Knotenlinien wurde durch den Physiker Ernst Florens Friedrich Chladni zum ersten Mal beschrieben, weshalb diese Muster als chladnische Klangfiguren bezeichnet werden.^{173, 174}

¹⁷² Rabenstein et.al 2010, S. 882.

¹⁷³ Steppat 2014, S. 55-56.

¹⁷⁴ Chladni 1787, S. 79.

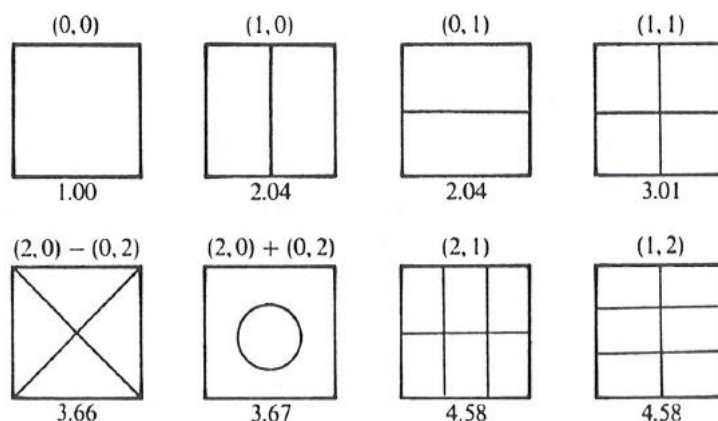


Abbildung 14: Knotenlinien der ersten acht Moden einer quadratischen Platte mit eingespannten Ecken. Relative Frequenzen sind unter den Darstellungen angegeben, über den Darstellungen sind die Schwingungsformen indiziert (z.B. $1,0 = 1$ Mode in x-Achse, $0,1 = 1$ Mode in y-Achse) (Fletcher 1998, S. 87).

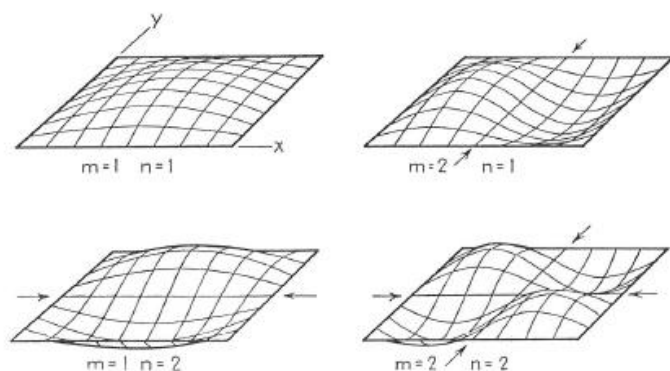


Abbildung 15: drei-dimensionale Darstellung der ersten vier Moden einer rechteckigen Platte. Pfeile zeigen auf die jeweilige Knotenlinie (Morse 1976, S. 180).

Bei den Moden von angeregten Platten finden sich (wie bei den dicken Stäben, siehe voriges Kapitel) Obertöne, welche nicht im harmonischen Verhältnis zum Grundton stehen. Dieser Umstand gilt für alle Membrane¹⁷⁵ und erklärt, warum auch bei Platten der Schlagton (bzw. Grundton) wegen seiner stark mitschwingenden disharmonischen Obertöne nicht oder oft nur schwer bestimmbar ist.

Dennoch kann der Schlagton bei Aufschlagrohren durch das menschliche Gehör als Residualklang bestimmt werden, da die Moden 4, 5 und 6 durch ihr Verhältnis zueinander den Schlagton bestimmen. Dies lässt sich besonders gut durch einen Vergleich mit einem Stab mit zwei freien Enden veranschaulichen: Diese haben Oberton-Frequenzen im Verhältnis von $9^2 : 11^2 : 13^2$ ($81 : 121 : 169$), was in etwa $2 : 3 : 4$ entspricht, was

¹⁷⁵ Morse 1976, S. 180.

wiederum durch das menschliche Gehör als nahezu harmonisch bewertet wird und somit zur Wahrnehmung einer virtuellen Tonhöhe führt.¹⁷⁶ (siehe Tab. 4)

n	Thin rod	Tube
1	0.22	0.24
2	0.61	0.64
3	1.21	1.23
4	2	2
5	2.99	2.91
6	4.17	3.96
7	5.56	5.12
8	7.14	6.37

Tab. 4: Verhältnisse der Eigenschwingungen der ersten acht Moden (n) von dünnen Stäben (Thin rod) bzw. Rohren (Tube) (Rossing 2008, S. 69).

Um einen möglichst glockenähnlichen Klang zu erhalten, werden die Aufschlagrohre oftmals an einem Ende durch einen entsprechend gewichteten Deckel verschlossen. Dies führt dazu, dass sich die ersten Moden senken, jedoch die höheren Moden sich kaum ändern.^{177, 178}

5.1.3 Aufschlagglocken (z.B. Kirchenglocken / Handglocken)

Glockeninstrumente werden in zahlreichen Kulturen über den gesamten Globus hochgeschätzt und sind und waren in zahlreichen Varianten in Verwendung.¹⁷⁹ Hauptsächlich werden die Instrumente über Materialien und Baugrößen bzw. Bauformen unterschieden, wobei das grundlegende Schema meist dasselbe bleibt, jedoch der Klang und die Lautstärke sich mit den verschiedenen Variationen ändern.^{180, 181}

Glocken werden manuell oder mechanisch, entweder von innen oder außen zum Schwingen angeregt. Dies geschieht meist mithilfe eines Hammers (Außenseite) oder eines Klöppels (Innenseite).¹⁸²

Physikalisch betrachtet sind Glocken komplexe akustische Körper. Wie bereits beim Aufschlagrohr und Aufschlagstab lassen sich die Partialtöne des Instrumentes nicht

¹⁷⁶ Rossing 2008, S. 68.

¹⁷⁷ Ebd.

¹⁷⁸ Fletcher & Rossing 1998, S. 641.

¹⁷⁹ Rossing 2008, S. 128.

¹⁸⁰ Lehr et al. 2001, Sp. 1421.

¹⁸¹ Benade 1976, S. 54.

¹⁸² Lehr et al. 2001, Sp. 1421.

anhand ganzzahliger Frequenzverhältnisse beschreiben. Als grundlegendes Modell zur Erklärung des akustischen Systems können schwingende runde Platten herangezogen werden. Die Bildung der Schwingungsmoden von Glocken verhält sich in ihrer Basis nach denselben Regeln wie die von schwingenden runden Platten, jedoch sind die Moden von Glocken wegen der speziellen Formgebung um Einiges komplizierter.¹⁸³ Die Abbildung 16 veranschaulicht die Modenbestimmung von runden Platten.

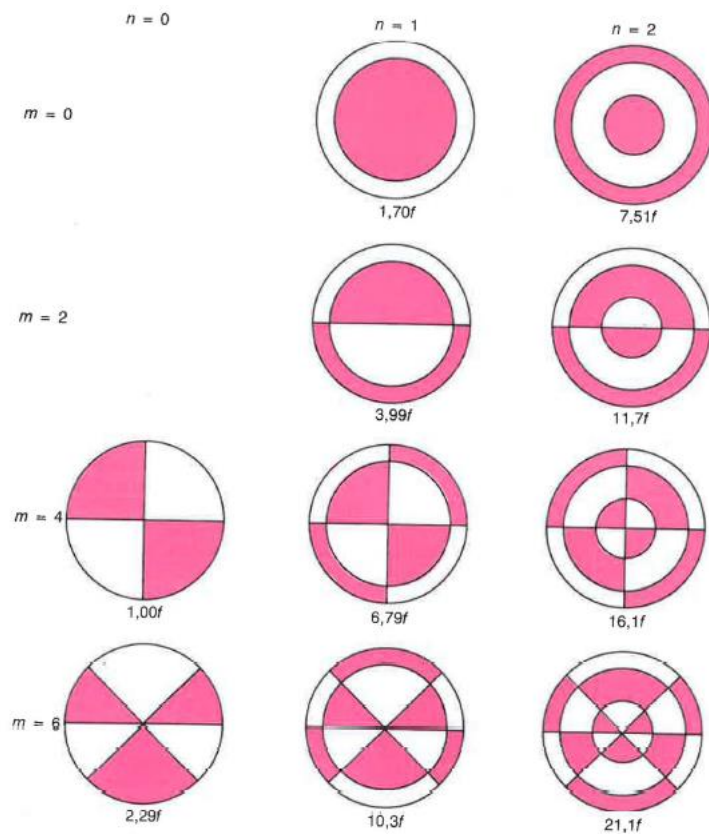


Abbildung 16: Schwingungsmoden einer runden Platte: m = Anzahl radialer Knotenlinien, n = Anzahl kreisförmiger Knotenlinien, f = Frequenzmultiplikation. Die weiß und rot gekennzeichneten Felder entsprechen den Bereichen jeweils entgegengesetzter Schwingung (Shen 1998, S. 122).

Da Glocken in ihrer Bauweise um einiges komplexer sind als runde Platten, ist diese Darstellungsweise lediglich als stark vereinfachtes Erklärungsmodell anzusehen (siehe Abb. 17). Moderne Visualisierungen werden ermöglicht durch Laser-Interferometrie. Abb. 18 zeigt die via holographische Interferenz visualisierten Moden einer Handglocke. Mithilfe dieser Technik lassen sich die theoretisch errechneten Schwingungsmoden an der Realität überprüfen (vergl. Abb. 17 mit Abb. 18).

¹⁸³ Shen 1998, S. 121.

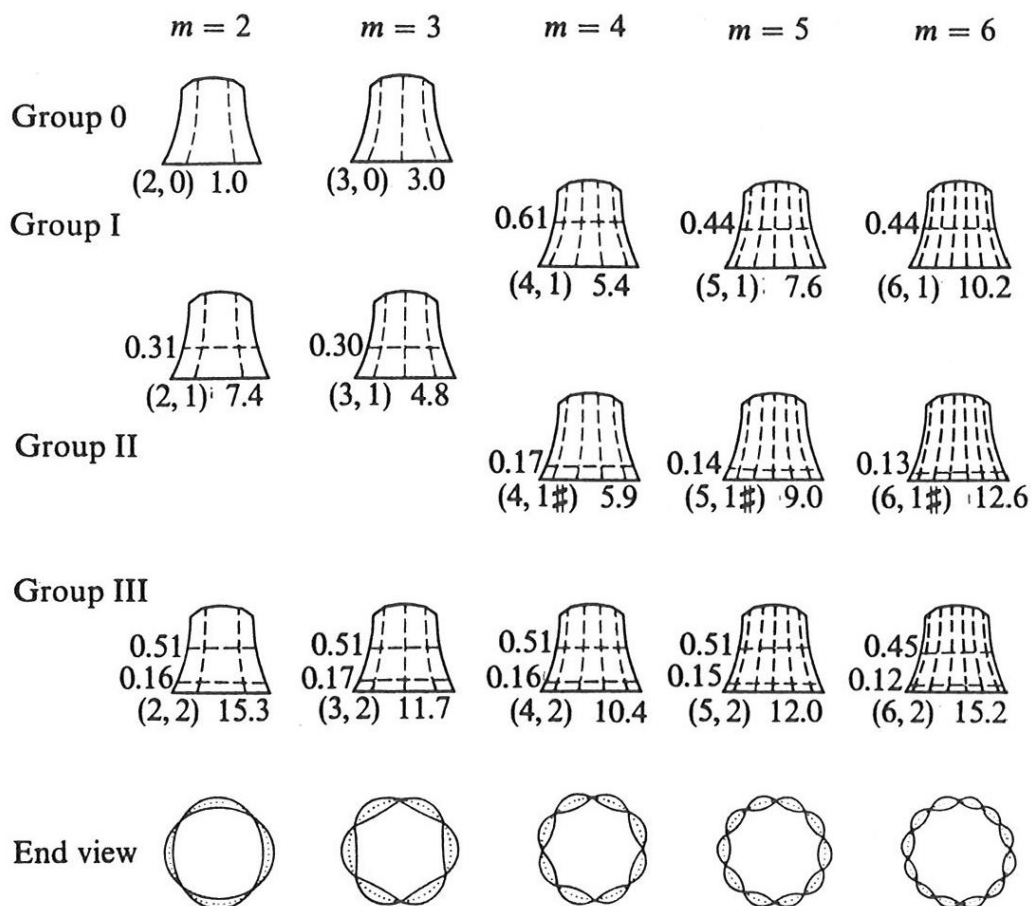


Abbildung 17: Tabelle der Schwingungsmoden einer Handglocke. Unter jeder Zeichnung sind die relativen modalen Frequenzen einer C5- Handglocke bezeichnet. Die Zahlen in der Klammer (jeweils links unten m, n) bezeichnen die Anzahl der meridianen Knoten, n und die Anzahl der Kreisknoten m . Die unterste Reihe zeigt die dazugehörigen Ansichten von oben mit ihren Randbiegungen in den entsprechenden Moden (Fletcher & Rossing 1998, S. 694).

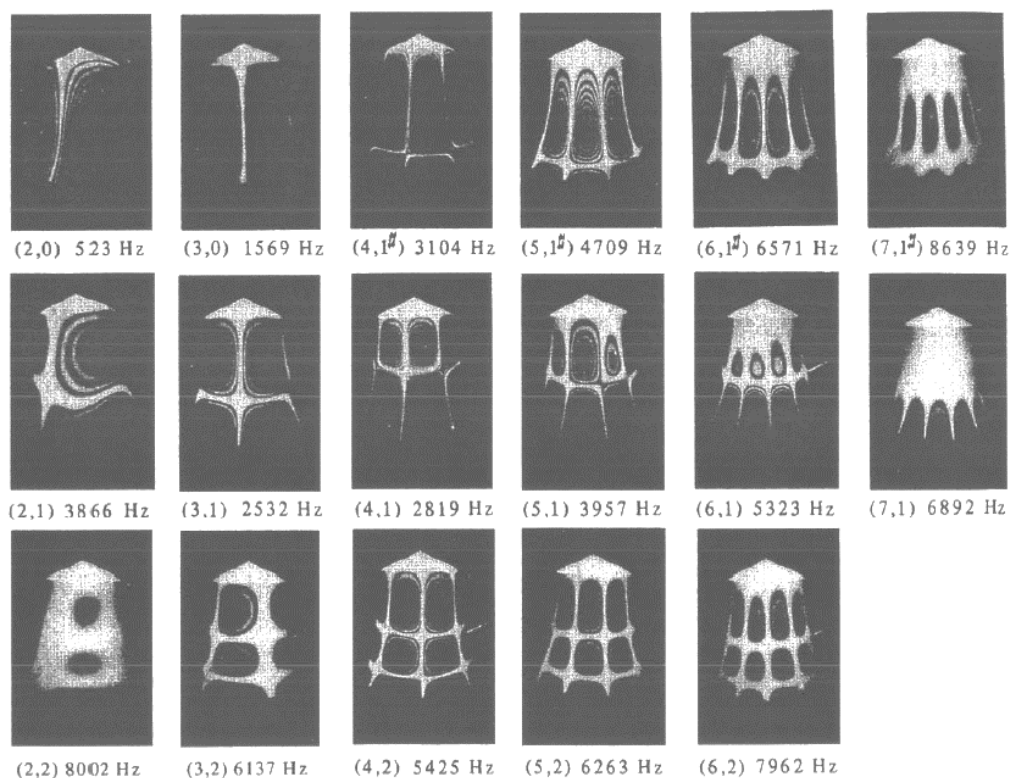


Abbildung 18: Durch holographische Interferenz visualisierte Eigenschwingungszustände einer Handglocke in verschiedenen Frequenzen. Knotenlinien werden durch die hellen Linien gezeigt, die Zentren der Ringe entsprechen den Punkten mit der maximalen Amplitude = Schwingungsbäuche (Rossing & Moore 2002, S. 304).

Die im schwingenden Zustand entstehenden Knotenlinien lassen sich auch an den jeweiligen Bewegungen des Glockenrands illustrieren. Hierbei wird beim Blick von oben auf die Glocke die jeweilige periphere Biegeschwingung ersichtlich (schematisch dargestellt in Abb. 19).

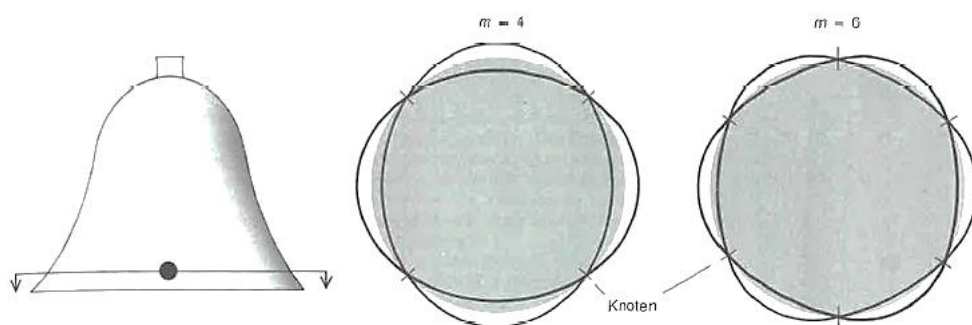


Abbildung 19: Schematische Darstellung von Randbiegungen einer in Schwingung gebrachten Glocke in der 4. ($m = 4$) und der 6. ($m = 6$) Mode, der Punkt zeigt den Aufschlagpunkt an (Shen 1998, S. 123., Hinweis: diese Darstellung widerspricht sich mit der Darstellung von Fletcher & Rossing 1998 – die Modenanzahlen stimmen nicht überein)

Von wesentlicher Bedeutung für die Klangfarbe ist die Ausführung der Glockenrippe. Diese bezeichnet den lotrechten, axialen Schnitt durch eine Glocke und zeigt den Schnittverlauf vom unteren Glockenrand bis zum Glockenboden, der Platte.¹⁸⁴ Generell werden vier Hauptglockentypen unterschieden (siehe Abb. 20).

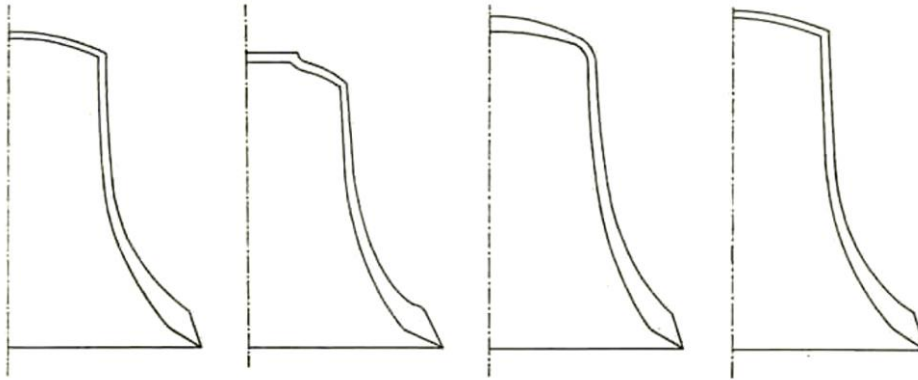


Abbildung 20: Rippenformen der Hauptglockentypen: Sextglocke, Septimglocke, Oktavglocke, Nonglocke (Weissenbäck & Pfunder 1961, S. 34).

Dieser Schnittverlauf (Rippenmensur) bestimmt den Klangcharakter (Dur/Moll Terz) und die Schönheit des Glockenklanges, bzw. die Obertongestaltung.^{185, 186, 187, 188} Maßgeblich für große Glocken (Kirchenglocken) sind die erklingenden Intervalle kleine Terz, Quint, Oktave, Ober-Oktave (jeweils zum Grundton).¹⁸⁹

Die Glockenrippe wird in folgende Bereiche aufgeteilt: Krone, Haube, Körper (von Haube bis unterer Glockenrand, siehe hierzu Abbildung 21).

¹⁸⁴ Weissenbäck & Pfunder 1961, S. 34.

¹⁸⁵ Ebd.

¹⁸⁶ Ellerhorst & Klaus 1957, S. 56.

¹⁸⁷ Hall 2008, S. 181.

¹⁸⁸ Barkowsky 2015, S. 87.

¹⁸⁹ Rossing 2008, S. 133.

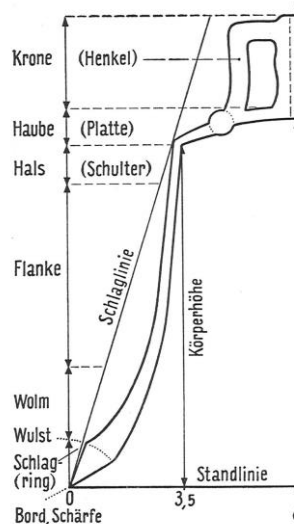


Abbildung 21: Teile der Glocke (Ellenhorst & Klaus 1957, S. 61).

Die Grundfrequenz bei Glocken („Schlagton“) ist ähnlich wie bei Aufschlagrohren oftmals weniger stark ausgeprägt als die der mitschwingenden Partialtöne. Meist wird auch hier durch die dadurch hervorgerufene Residualtonwahrnehmung der fehlende Grundton in der Hörwahrnehmung ergänzt.¹⁹⁰

Grundsätzlich lässt sich für Glocken festhalten, dass eine zunehmende Dicke und somit abnehmende Elastizität des Materials eine steigende Schwingungsfrequenz zur Folge hat bzw. umgekehrt eine Zunahme des Glockendurchmessers oder der Dichte zu einem Absinken der Schwingungsfrequenz führt (ähnlich wie bei Stäben und Platten).¹⁹¹ Jüngere Forschungen ergaben, dass auch die Ausführung (Gestaltung und Aufhängung) des Klöppels eine große Rolle für die subjektive Klangwahrnehmung spielt. Hierbei ändert sich der entstehende Klang bei Änderung der Form, des Gewichts, und des Lätwinkels.^{192, 193}

Kirchenglocken unterscheiden sich von Handglocken durch das differenzierte Erscheinen des Schlagtons: Während der Schlagton bei Kirchenglocken erst zeitversetzt erkennbar ist, wird er bei Handglocken schneller erkannt. Dieser Umstand des früher erkennbaren Schlagtones bei Handglocken lässt sich durch zwei Gründe erklären: Zum einen findet sich beim Aufschlag von Handglocken keine starke Gruppierung von

¹⁹⁰ Barkowsky 2015, S. 85.

¹⁹¹ Shen 1998, S. 122.

¹⁹² Reuter et al. 2022, S. 211.

¹⁹³ Walter 2018, S. 64.

entsprechenden Partialtönen, welche einen später erscheinenden virtuellen Ton hervorrufen könnten (wie vor allem bei den Kirchenglocken). Zum anderen ist das Material des Klöppels bei Handglocken meist aus Holz (nicht wie bei Kirchenglocken aus Metall) was zu einer sanfteren Anregung und Erzeugung tieferer Partialtöne führt und somit zur leichteren Erkennung des Schlagtones führt.^{194, 195}

5.2 Materialbeschaffenheit

Für die Idiophone werden in der Regel feste Materialien wie Ton, Holz, Metall (Messing, Stahl, Bronze etc.),^{196, 197} Fruchtschalen, Glas¹⁹⁸ bis hin zu Stein¹⁹⁹ verwendet. Feste Materialien haben lt. Hornbostel und Sachs die nötige Steifigkeit und Elastizität für die Tonerzeugung, ohne einer Membran oder Saite zu bedürfen.²⁰⁰

Bei den Xylophonen, sowie bei vielen anderen hölzernen Aufschlagstabinstrumenten werden harte Holzarten (z.B. Rosenholz, Palisander, Kirschholz) verwendet.^{201, 202, 203} Die Metallophone (z.B. Glockenspiel, Vibraphon etc.) bestehen meist aus Stahl- oder Leichtmetalllegierungen, um den gewünschten Klang zu erzeugen.²⁰⁴

Die im orchestralen Zusammenhang verwendeten Röhrenglocken werden meist aus Messing²⁰⁵ gebaut. Wie bei Aufschlagstäben gibt es für Röhrenglocken auch zahlreiche andere Anwendungsfälle mit unterschiedlichsten Materialien, weshalb eine Aufzählung dieser hier nicht weiterverfolgt wird.

Besonderes Augenmerk bei den großen Glocken (vor allem bei großen Kirchenglocken) liegt in ihrer Legierung. Diese werden meist aus Bronze gegossen (Zinnanteil zw. 20% und 25%).²⁰⁶ Auch Gusseisen oder Stahlglocken werden als Alternative zu Bronzeglocken hergestellt.²⁰⁷ Kleine Glocken, wie Aufschlagstäbe und -rohre gibt es in unterschiedlichsten Materialien.

¹⁹⁴ Rossing 1981, S. 10.

¹⁹⁵ Fletcher & Rossing 1998, S. 695.

¹⁹⁶ Hall 2008, S. 59.

¹⁹⁷ Stauder 1976, S. 144.

¹⁹⁸ Rossing 2008, S. 182.

¹⁹⁹ Heise 2004, S. 323.

²⁰⁰ Hornbostel & Sachs 1914, S. 563.

²⁰¹ Schwörer-Kohl & Kubik 1994, Sp. 2099.

²⁰² Rossing 2008, S. 53.

²⁰³ Heise 2004, S. 320.

²⁰⁴ Heise 1994, Sp. 1472.

²⁰⁵ Rossing 2008, S. 67.

²⁰⁶ Barkowsky 2015, S. 84.

²⁰⁷ Fletcher & Neville 1998, S. 732.

5.3 Beispiele

Im Folgenden werden praktische Beispiele der Äolsinstrumente in der Gruppe der Idiophone beschrieben. Alle hier gewählten Beispiele, sowie die meisten Tonbeispiele für die Verwendung der folgenden Signalanalyse und des Hörer*innenversuches wurden anhand ihrer prototypischen Eignung gewählt. Hierfür stellen vor allem die Produkte der Firma Woodsock-Chimes durch die hohe weltweite Vertriebstätigkeit (über 5 Millionen verkaufte Windspiele bis 2008)²⁰⁸ eine besonders große Eignung für diesen prototypischen Charakter dar.

5.3.1 Wind Chimes (Aufschlagstäbe / Aufschlagrohre)

Unter dem Sammelbegriff „Wind Chimes“ werden weitläufig Aufschlagstäbe sowie Aufschlagrohre verstanden, die jeweils durch Wind angeregt werden. Bekannt sind hierbei mehrstimmige Windspiele in unterschiedlichsten Ausformungen (Tonhöhen, Materialbeschaffenheit, Form etc.) Im Handel sind alle erdenklichen Varianten erhältlich.

Aufschlagstäbe:

Als Beispiel für von Wind angeregte Aufschlagstäbe wurden zwei verschiedene Windspiele aus dem umfassenden Produktkatalog der bekannten Firma Woodstock Chimes²⁰⁹ gewählt, welche als prototypisch für Windspiele charakterisiert werden können.

Das erste Beispielinstrument besteht aus vier Rundstangen aus Aluminium mit einer geschätzten Länge von 100 - 130 mm (vier unterschiedliche Längen). Diese Stangen verstehen sich als Aufschlagstäbe und sind durch eine Schnur mit einer gemeinsamen Aufhängung verbunden. Auf dieser Aufhängung ist auch zentral das Aufschlagelement angebracht, welches zur Anregung der Stäbe dient. An diesem Aufschlagelement hängt der Windwiderstand (siehe Abb. 22).

²⁰⁸ Rossing 2008, S. 73.

²⁰⁹ Website von Woodstock Chimes, *letzter Zugriff am 26.04.2023*.



Abbildung 22: Windspiel „Flourish Chime – Sun“, Aufschlagstäbe aus Aluminium ID: I-001 / „Chimes of the Forest – Cocoa“, Aufschlagstäbe aus Holz ID: I-002 (aus: Website von Woodstock Chimes, letzter Zugriff am 26.04.2023).

Das zweite Beispiel ist ähnlich wie das erste Beispiel aufgebaut, jedoch mit dem Unterschied, dass es aus sechs Aufschlagstäben aus Vollholz besteht. Die Aufschlagstäbe haben eine Länge ca. von 150 - 200mm (in sechs verschiedenen Längen). Diese sind an einer gemeinsamen Aufhängung angebracht: zentral zwischen ihnen befindet sich das Aufschlagholz mit dem Windwiderstand.

Hängt das Instrument im Freien, kann der natürliche Wind über den Windwiderstand und das Aufschlagelement die Stäbe in Schwingung versetzen. Dies führt zur Klangbildung, wie im Kapitel 5.1.1 beschrieben wurde.

Die Klangbeispiele ID: I-001 und ID: I-002 zeigen jeweils die Klangbilder der beiden beschriebenen Windspiele.

Aufschlagrohre:

Für das Beispiel für von Wind angeregte Aufschlagrohre wurde wegen besagten prototypischen Gründen ein Windspiel aus eigenem Bestand gewählt sowie ein weiteres Windspiel der Firma Woodstock Chimes (siehe Abb. 23). Hierbei handelt es sich um ein Instrument bestehend aus fünf offenen eloxierten Aluminiumrohren mit einem

Durchmesser von 16 mm und einer Materialstärke von 1 mm und unterschiedlichen Längen (217 mm, 243 mm, 260 mm, 282 mm, 300 mm). Diese Rohre sind durch eine Schnur über Lochbohrungen gleichmäßig mit einem Holzkrantz ($d = 115\text{ mm}$) verbunden. Dieser Holzkrantz wird auf einer zentralen Stelle durch eine Schnurverbindung aufgehängt. Auf derselben Aufhängung des Holzkrantzes befindet sich die Aufhängung des Aufschlagholzes (Aufschlag auf Rohr bei 105 mm). An diesem Aufschlagholz hängt der Windwiderstand (Sonne).

Als zweites Beispiel für Aufschlagrohre wird das Windspiel „Natural Ring Bamboo“ angeführt. Wie bei den anderen Beispielen hängen die Klangkörper an einem Kranz, ein Aufschlagholz dient der Anregung der Aufschlagrohre. Insgesamt sind hier sechs unterschiedlich lange Aufschlagrohre aus Bambus mit einer maximalen Länge von 30 cm vorhanden. Das Aufschlagholz ist durch eine Schnur mit einem Windwiderstand verbunden.



Abbildung 23: Windspiel eigenes Exemplar Aufschlagrohre Aluminium ID: I-003 (eigenes Bild): Windspiel „Natural Ring Bamboo“ Aufschlagrohre Bambus ID: I-007 (Website von Woodstock Chimes, letzter Zugriff am 26.04.2023).

Regt nun der Wind den Windwiderstand an, dann setzt sich das Aufschlagholz in Bewegung und schlägt je nach vom Wind vorgegebener Intensität gegen ein zufälliges Rohr. Dieses Rohr wird durch diesen Schlag angeregt, was wiederum zum resultierenden Klang führt (lt. Beschreibung Kapitel 5.1.2).

Die Klangbeispiele ID: I-003 und ID: I-007 zeigen das Klangbild der beschriebenen Windspiele. Abbildung 24 zeigt den typischen Aufbau der beiden Windspielarten.

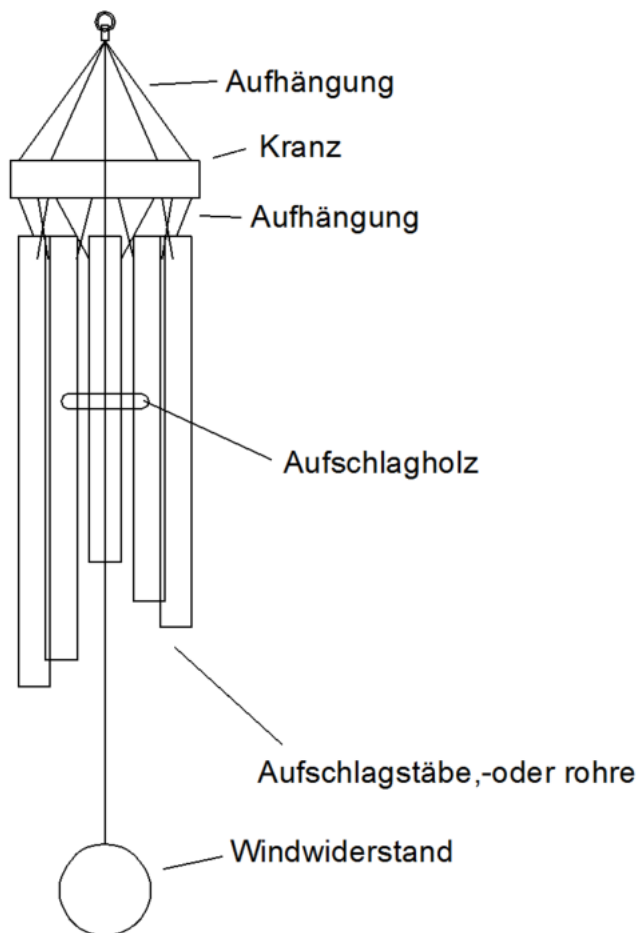


Abbildung 24: Aeolsidiophon (Windspiel), schematische Darstellung (eigenes Bild).

5.3.2 Äolsglocken (Aufschlagglocken)

Aus der Literaturrecherche geht hervor, dass Aufschlagglocken als Äolsinstrumente weniger bekannt sind als die bereits beschriebenen Windspiele („wind chimes“), jedoch gibt es auch hier namhafte Hersteller. Das aufgeführte Beispiel ist ein prototypisches Produkt der Firma US Bells:²¹⁰

Das Instrument besteht aus einer Glocke ohne Klöppel mit einem Durchmesser von 178 mm. Die Metalllegierung der Glocke ist nicht weiter angegeben. Sie hängt

²¹⁰ Website von US-Bells, letzter Zugriff am 26.04.2023.

zusammen mit einem Aufschlagholz aus Mahagoni auf einem Verbindungstück, welches beide weiter mit einem Haken verbindet.



Abbildung 25: Windglocke 7“, Aufschlagglocke ID: I-004, sowie Windspiel „Furin“ ID: I-010 (aus: Website von US-Bells, letzter Zugriff am 26.04.2023; Website von Feines Werkzeug, letzter Zugriff am 26.04.2023).

Das Aufschlagholz bringt im Falle von Windeinfluss die Glocke durch Aufschlag zum Schwingen, somit ertönt der resultierende Klang wie im Kapitel 5.1.3 beschrieben.

Die Klangbeispiel ID: I-004 und ID I-010 zeigen das Klangbild der beschriebenen Instrumente.

Abbildung 26 zeigt den typischen Aufbau einer der beiden Äolsglockenarten.

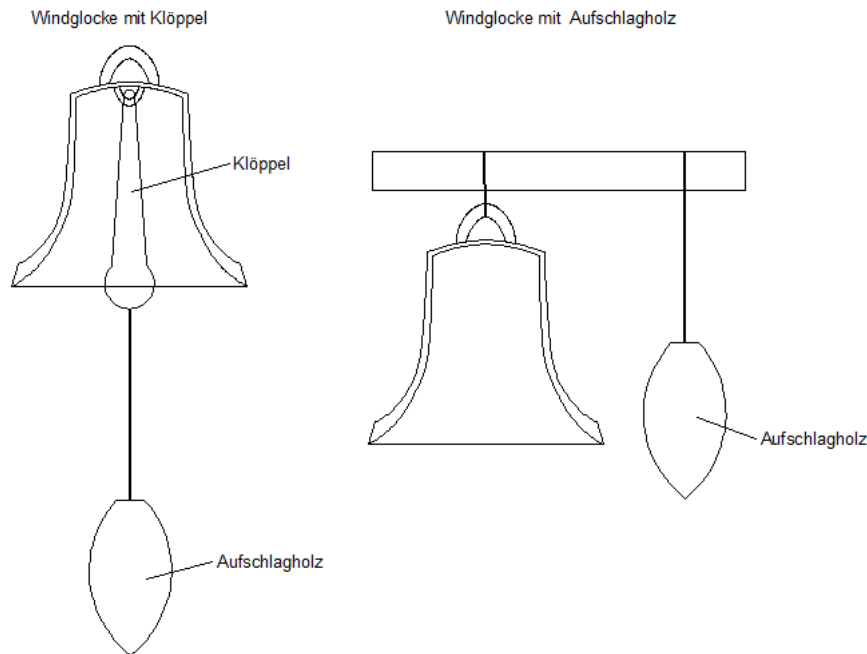


Abbildung 26: Schematische Darstellung Windglocken mit Klöppel und Aufschlagholz (eigene Darstellung).

6. CHORDOPHONE

In der Hornbostel-Sachs Systematik finden sich einfache sowie zusammengesetzte Chordophone.²¹¹²¹² Durch Wind angeregte Chordophone sind unter beiden Arten der Chordophone bekannt, beide meist bezeichnet als „Äolsharfe“ oder „Windharfe“. Die definitorischen Grenzen verschwimmen auch hier bereits bei der Namensgebung der Instrumente. Die in der Forschungsliteratur bekannten Äolsharfen sind lt. Definition entgegen ihren Namen keine Harfen, sondern „rechteckige Kastenzithern mit aufgesetztem Windtrichter“²¹³ (314.12, bei Hornbostel-Sachs²¹⁴) bzw. Harfenzithern (314.22 bei Hornbostel-Sachs²¹⁵). Viele andere Beispiele sind jedoch auffindbar, wo Äolsharfen als eigentliche Harfeninstrumente ausgeführt werden.²¹⁶ Deswegen wird im folgenden Kapitel zuerst auf die grundlegende gemeinsame Funktion von Chordophonen (schwingende Saite) näher eingegangen und in weiterer Folge auf die unterschiedlichen Ausführungen der Schallübertragung und Resonanzkörper von Brettzithern und Harfeninstrumenten.

²¹¹ Brown & Palmer 2001, S. 764.

²¹² Simon 1994, S. 64.

²¹³ Minnsen 1993, S. 55.

²¹⁴ Hornbostel & Sachs 1914. S. 577.

²¹⁵ Ebd. S. 578.

²¹⁶ Z.B. Website von Harmony Harps, letzter Zugriff am 26.04.2023.

Bei Hornbostel und Sachs sind die Brettzithern unter der Ordnungsnummer 314 verzeichnet und die Harfen unter der Ordnungsnummer 322,²¹⁷ wobei die weiteren Unterteilungen innerhalb der Gruppe hier aus praktischen Gründen keiner weiter Beschreibung benötigen.

Spezielle Konstruktionen, welche in diese Instrumentengattung fallen sind das Anemocorde und das Aeroclavicorde.²¹⁸ Diese experimentellen Instrumente aus dem Ende des 18. Jhdt. funktionierten jedoch nur durch künstliche Luftzufuhr (Luftstrom wird auf Saite geleitet), weshalb diese hier nicht weiter behandelt werden.

6.1 Funktion

Bei Chordophonen (dt.: Saitenklinger) geraten im Wesentlichen zuerst die angeregten Saiten (Schallerreger) in Schwingung und übertragen diese Schwingung auf entsprechende Resonanzkörper. Vom Resonanzkörper wird diese Schwingung in die umliegende Luft in Form von Schallwellen übertragen.^{219, 220} Im Gegensatz zu den Schlaginstrumenten haben Saiteninstrumente mit ihren meist langen Saiten ein klareres Eigenschwingverhalten (d.h., sie können nur in der Grundfrequenz und ihren ganzzahligen Vielfachen schwingen), was zu ihren eigentümlichen Klangcharakteristika führt.²²¹

6.1.1 Schallanregung

Die Saiten eines Chordophones können gezupft, geschlagen oder gestrichen werden²²². Bei den Äolschordophonen könnte das Verfahren zur Tonanregung wegen der durchgehenden Anregung durch den Wind als gestrichen beschrieben werden. Die resultierenden Klänge der Äolschordophone entsprechen jedoch am ehesten Sinustönen.²²³ Da die Saite zwar in Schwingung versetzt wird, dies jedoch ohne einer direkten physischen Anregung durch festes Material (z.B. Plektrum, Hammer oder Bogen) geschieht (d.h. die Saite schwingt frei), kann vorerst auf das grundlegende Schwingungsverhalten von gezupften und gehämmerten Saiten Bezug genommen werden. Wie die Schallanregung

²¹⁷ Hornbostel & Sachs 1914, S. 580.

²¹⁸ Költzsch 2012, S. 77.

²¹⁹ Barkowsky 2015, S. 96.

²²⁰ Hall 2008, S. 61.

²²¹ Ebd., S. 192.

²²² Ebd., S. 60.

²²³ Krieger 1997, S. 67.

bei Äölschordophonen an sich zustande kommt, wird im Kapitel 6.3 genauer beschrieben.

Wie bei einer Mehrzahl unter den Chordophonen (u.a. Gitarren, Mandolinen, Cembalos, Klaviere) schwingen die Saiten bei dieser Art von Instrumenten nach einmaliger Anregung weiter. Meist sind hierbei die Saiten des Instrumentes an beiden Enden straff über zwei harten Auflagen gespannt, wobei die eine Auflage als „Steg“ am Klang- bzw. Resonanzkörper montiert ist, um die Saitenschwingungen weiterzuleiten, und die andere als „Sattel“.²²⁴

Zur Berechnung der Frequenz einer idealisierten Saite kann die Formel wie folgt herangezogen werden:

$$f_1 = \frac{c}{2l} = (1/2s) * \sqrt{T/\mu}$$

Wichtig bei dieser Betrachtung ist, dass es sich hier um das Verhältnis der idealisierten Saite mit ihren transversalen Bewegungen und nicht um Schallwellen in der Luft handelt. Durch die Gleichung wird klar, dass eine Verdopplung der Saitenlänge zu einer Halbierung der Grundfrequenz führt (solange die anderen Parameter gleich bleiben). Eine Erhöhung der Spannung (T) erhöht die Frequenz und eine Verringerung der Saitenmasse je Längseinheit (μ) senkt sie. Die Werte beider Einheiten müssen infolge der Quadratwurzel jedoch vervierfacht werden, um eine Frequenzänderung in einer Oktave zu erzielen.^{225, 226}

Im Modell einer idealisierten Saite werden die Eigenschwingungen als ein ganzzahliges Vielfaches der Grundschiwingung dargestellt (siehe Abb. 27). Diese Eigenschwingungen werden oft auch als „stehende Welle“ bezeichnet, weil sie zwar ein wellenartiges Aussehen haben, sich aber nirgendwo hinbewegen (bei Betrachtung der jeweils maximalen Auslenkungen). An dieser Stelle muss ergänzt werden, dass eine „stehende Welle“ auch als das Ergebnis der Überlagerung zweier wandernder Wellen zu betrachten ist. Hierbei wird angenommen, dass die wandernde Welle von einem festen, d.h. eingespannten Ende der Saite reflektiert wird und in negativer Auslenkung wieder denselben Weg zurück verläuft. So kann jede stehende Welle zusammen mit ihren

²²⁴ Hall 2008, S. 193.

²²⁵ Ebd., S. 196.

²²⁶ Barkowsky 2015, S. 110.

Reflexionen als eine Kombination oder Überlagerung von stehenden Wellen beschrieben werden.²²⁷ Diese Annahme wird in den Darstellungen 27 und 28 weiter veranschaulicht.

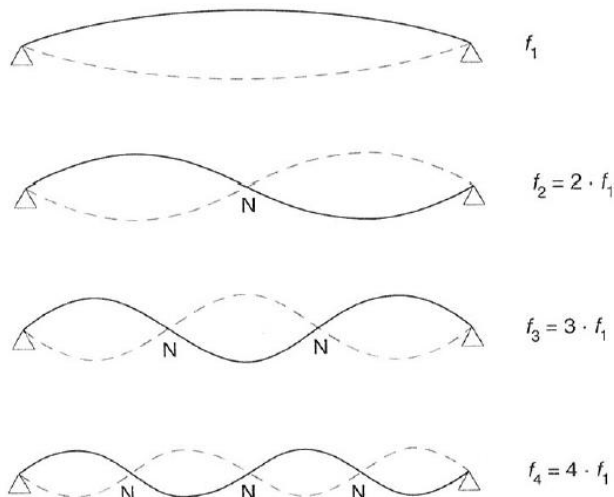


Abbildung 27: Die vier ersten Eigenschwingungen einer idealisierten Saite. Volle und gestrichelte Linien stellen die jeweiligen maximalen Auslenkungen dar, jeweils eine halbe Schwingungsdauer auseinander. Bei den Knotenpunkten N treten keine Auslenkungen auf (Hall 2008, S. 192).

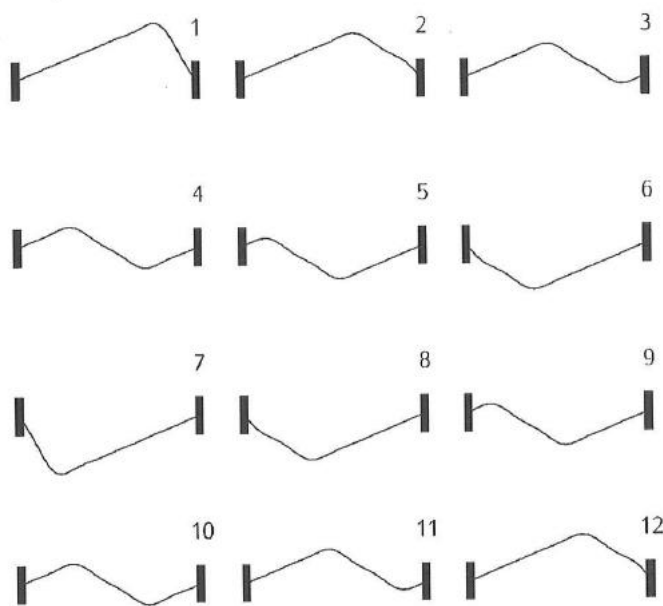


Abbildung 28: Bewegungsablauf einer Saite in zwölf Stationen. Die Saite wurde bei 4/5 ihrer Länge angeregt (Barkowsky 2015, S. 99).

In der Praxis sind die Eigenschwingungen nicht in den hier dargestellten „vollkommenen“ Formen auffindbar (im Modell wird ein völlig biegsames Material angenommen),

²²⁷ Hall 2008, S. 194.

sondern stehen in Abhängigkeit von der jeweiligen Steifigkeit des Materials der Saite.²²⁸ Grundsätzlich gilt: Je steifer das Material der Saite ist, desto weniger Obertöne entstehen bei der Anregung.²²⁹

Auch der Ort, an dem die Saite angeregt wird, spielt eine wesentliche Rolle in der Entwicklung des jeweiligen Saitenklanges. Abbildung 29 illustriert, wie unterschiedliche Anzupfstellen die Auslenkung der Moden (welche schlussendlich die Obertöne bilden) beeinflussen.^{230, 231} Grundsätzlich gilt, dass jede Schwingungsmode ihre eigene Schwingungsfrequenz hat und dass die tatsächliche Saitenbewegung die Summe aller Schwingungsmoden ist.

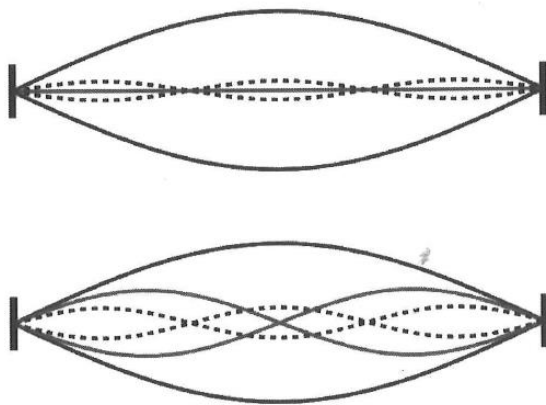


Abbildung 29: Die ersten drei Moden einer in der Mitte gezupften Saite (oben) und einer bei 4/5 ihrer Länge gezupften Saite (unten). In oben gezeigter Darstellung taucht der Teilton $2f_0$ nicht auf (Amplitude gleich null), da er an die Anzupfstelle inmitten des regulären Knotenpunktes der entsprechenden Mode ist (Barkowsky 2015, S. 97).

6.1.2 Resonanzkörper

Die Schwingungen der Saite werden an den Stegen auf den Resonanzkörper übertragen, von wo aus dann die eigentliche Schallabstrahlung stattfindet. Je nach Instrument geschieht dieser Vorgang durch die transversalen Auslenkungskräfte der Saite, entweder direkt auf den Resonanzboden (bzw. die Decke) des Resonanzkörpers (z.B. Harfe) oder über eine entsprechende Stegkonstruktion (z.B. Violine, Gitarre).²³²

Um nun die verhältnismäßig schwache Schwingungsenergie mithilfe des Resonanzkörpers zu amplifizieren, muss dieser entsprechende bauliche Eigenschaften mit sich

²²⁸ Hall 2008, S. 193.

²²⁹ Benade 1976, S. 119.

²³⁰ Barkowsky 2015, S. 97.

²³¹ Hall 2008, S. 197.

²³² Barkowsky 2015, S. 98.

bringen und ist bei jedem Instrument den jeweiligen Klanganforderungen angepasst (Form, Größe, Materialstärke, Materialart, Öffnungen etc.). Eine gute Verstärkung der Saitenschwingung entsteht, wenn die Frequenz der Saitenschwingung mit einer Eigenschwingungsfrequenz des Systems nahezu oder ganz übereinstimmt. Durch diese Übereinstimmung (= Resonanzfall) überträgt sich die Saitenschwingung auf die verhältnismäßig großen Flächen des Resonanzkörpers, was zu einer verstärkten Abstrahlung des Schalls führt.^{233, 234, 235}

Damit der Resonanzkörper die nötigen Eigenschaften für die optimale Schwingungsverstärkung der Saite erhält, wird er meist als Hohlraum umgeben von schwingenden Platten gebaut. Es gilt, dass die Saiten aufgrund ihrer großen Auslenkung einen großen Schalldruck erzeugen, welcher durch Kopplung an Resonanzdecke und Resonanzboden auf eine größere Fläche verteilt wird. Durch diese Flächentransformation (große Amplitude auf kleiner Fläche auf der Saite -> kleine Amplitude auf große Flächen am Resonanzkörper) kommt es schlussendlich zu einer besseren Anpassung an die Schallwellenimpedanz der Luft (d.h., es können sehr viel mehr angrenzende Luftteilchen zum Schwingen gebracht werden). Neben den Decken- und Bodenresonanzen schwingt hier auch das im Resonanzraum eingeschlossene Luftvolumen, wodurch eine Luftresonanz entsteht, welche dem Prinzip des Helmholtz-Resonators entspricht. Hierfür spielen die Luftlöcher im Resonanzkörper eine wesentliche Rolle. Als einfaches Berechnungsmodell für einen idealen Helmholtz-Resonator kann folgende Formel angenommen werden:²³⁶

$$f = \frac{c}{2\pi} * \sqrt{\frac{A}{tV}}$$

Die Resonanzfrequenz f errechnet sich aus der genannten Formel, wobei c die Schallgeschwindigkeit, A der Querschnitt der Resonatoröffnung, t die Länge der Öffnung (Annahme Hals) und V das Volumen des Resonators ist.

²³³ Hall 2008, S. 61.

²³⁴ Ebs., S. 224.

²³⁵ Barkowsky 2015, S. 104.

²³⁶ French 2005, S. 67.

In der Praxis werden über Veränderungen (z.B. Verstärkung/Verjüngung,) der Resonanzkörperwandstärken die Resonanzfrequenzen so weit verstärkt oder gedämpft, bis das optimale Klangbild entsteht.²³⁷

Zur Erklärung der Abstrahlung lässt sich grundsätzlich wieder das physikalische Modell der schwingenden Platten heranziehen. Da die Bauformen der Saiteninstrumente jedoch meist zu komplex für pragmatische physikalische Berechnungen ihrer Schallabstrahlung sind, behilft man sich zur Darstellung dieser mit visuellen Darstellungsmethoden (z.B. Laser-Interferometrie, siehe Abb. 30).

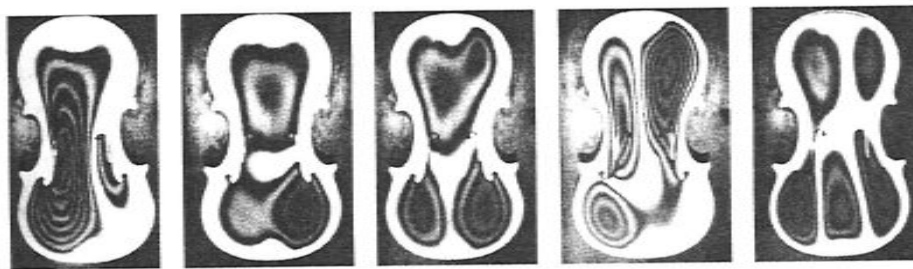


Abbildung 30: Schwingungen einer Violinen-Decke mithilfe von Interferenz-Holographie visualisiert. Helle und dunkle Streifen sind die Konturkanten der Schwingungsamplituden. Folgende Schwingungszustände sind gezeigt: 540 Hz, 775 Hz, 800 Hz, 980 Hz. (Hall 2008, S. 216).

Der Resonanzkörper einer Kastenzither ist meist ein aus Brettern zusammengefügtter Kasten. Dieser ist je nach Bauart in unterschiedlichen Ausführungen geformt und mit den Saiten über Zwirbel und Stege verbunden und kann zusätzlich über Schalllöcher verfügen (siehe Abb. 31). Die Saiten werden je nach Ausführung entweder gezupft oder gehämmert und über einen oder zwei Stege an den Resonanzkörper gedrückt. Diese Stege nehmen die Schwingungen der Saiten auf und transferieren sie in den Kasten, wo die Schwingungen verstärkt abgestrahlt werden.^{238, 239}

²³⁷ Steppat 2014, S. 56.

²³⁸ Wegner & Michel 1994, Sp. 2456.

²³⁹ Fletcher & Rossing 1998, S. 332.

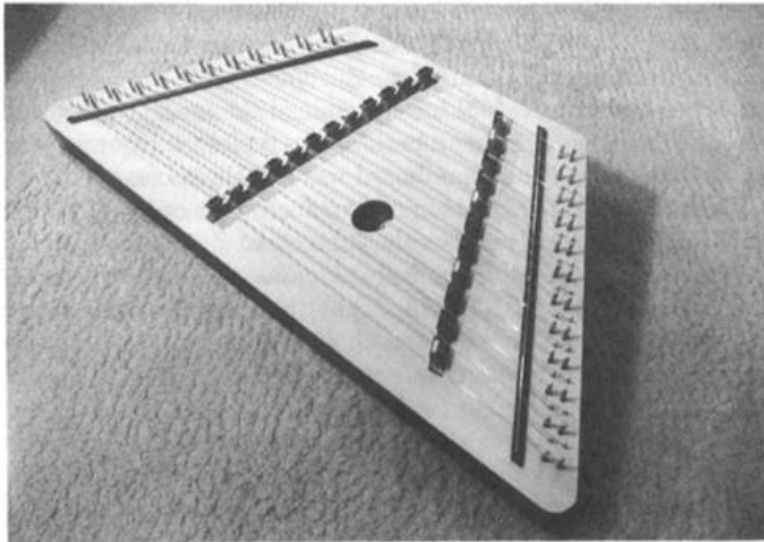


Abbildung 31: typischer Dulcimer (Fletcher/Rossing 1998, S. 333).

Der Resonanzkörper einer Harfe (Konzertharfe) ist in der Regel ein langer, hohler und konisch verlaufender Körper mit Materialstärken von 10–20 mm, wobei der größere Durchmesser im unteren Bereich (Lage der Basssaiten) ist. Aus diesem Resonanzkörper ragen die meist 30–44 Saiten in einem Winkel von 30–40° nach oben, wo sie über den Hals mithilfe der Stimmwirbel gespannt werden. Verbunden ist der Korpus mit dem Resonanzkörper über die Säule, so dass die Konstruktion ein Dreieck bildet. Die Saiten sind in der Resonanzdecke über eine Aufhängeleiste verbunden, welche der Schwingungsübertragung zwischen Saite und Resonanzkörper dient. Am Resonanzboden befinden sich meist 5 Schalllöcher, welche der Luftresonanz dienen.^{240, 241}

Betrachtet man die auftretenden Knotenlinien einer kleinen Harfe (siehe Abb. 32) kann man feststellen, dass bei niedrigen Frequenzen die Vibrationen denen eines einfachen Balkens ähneln. Bei den hohen Frequenzen entwickelt sich ein transversaler Knotenring.²⁴²

²⁴⁰ Fletcher & Rossing 1998, S. 338.

²⁴¹ Lawgren et al. 1994, Sp. 40.

²⁴² Fletcher & Rossing 1998, S. 339.

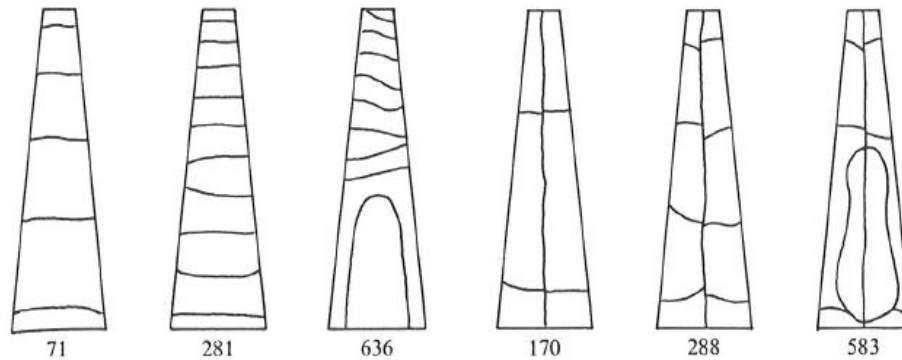


Abbildung 32: Knotenlinien einer kleinen Harfe bei tiefer, mittlerer und hoher Frequenz. Die drei linken Darstellungen zeigen die Knotenlinien eines Resonanzbodens ohne Aufhängeleiste, die drei rechten Beispiele zeigen Knotenlinien mit Aufhängeleiste (Fletcher & Rossing 1998, S. 339).

An der Schallabstrahlung ist hauptsächlich die Decke des Resonanzkörpers beteiligt. Die anderen Flächen sowie die rückwärtigen Öffnungen strahlen nur sehr schwach den Schall ab.²⁴³

6.2 Materialbeschaffenheit

Die Saiten der Kastenzithern und Harfen sind aus Stahl,²⁴⁴ Nylon oder Darm.²⁴⁵

Für die Resonanzkörper werden fast ausschließlich Hölzer verwendet. Diese werden je nach Instrumentenart und Anwendungsfall unterschiedlich ausgewählt²⁴⁶ und haben hauptsächlich die Aufgabe, dass sie in den gewünschten Resonanzen schwingen und bei der Schwingungsübersetzung nur wenig Energie verlieren.²⁴⁷

Die verwendeten Hölzer sind unterschiedlich und werden je nach örtlicher Verfügbarkeit ausgewählt.²⁴⁸ Für moderne Konzertharfen werden Ahornhölzer verwendet.²⁴⁹

6.3 Beispiel Äolsharfe/Windharfe

Die Äols- oder Windharfe ist eines der wenigen Instrumente, welches als Äolsinstrument in der Wissenschaft näher beschrieben wird. Dies kann mit den geschichtlichen Hintergründen und der damit einhergehenden größeren Verbreitung in der Kunstliteratur und der Musik erklärt werden: dazu im Kapitel 4.2 mehr. Hier wird zunächst

²⁴³ Meyer 2015, S. 136.

²⁴⁴ Fletcher & Rossing 1998, S. 239.

²⁴⁵ Krieger 1997, S. 67.

²⁴⁶ Fletcher & Rossing 1998, S. 720.

²⁴⁷ Hall 2008, S. 224.

²⁴⁸ Fletcher & Rossing 1998, S. 261.

²⁴⁹ Bucur.2016, S.249.

schematisch auf die Schallanregung der von Wind angeregten Saite näher eingegangen. In weiterer Folge wird dann zuerst die Äolsharfe als Kastenzither mit Resonator (Kapitel 5.3.1) und danach die Äolsharfe als eigentliche Harfe (Kapitel 5.3.2) beschrieben. Bei Äolsharfen werden im Zuge der Schallanregung die Saiten durch den Wind angeblasen. Hierbei entstehen zuerst Reibungstöne (ähnlich wie bei Flöteninstrumenten), welche jedoch in den meisten Fällen zu leise sind, um direkt gehört zu werden. Die entstehenden Reibungstöne (Grundtöne und Obertöne) sind im Wesentlichen abhängig von der Windstärke und dem Durchmesser der jeweiligen Saite.²⁵⁰ Dieser Vorgang kann mithilfe des Strouhal-Gesetzes des Strömungsphysikers Vincent Strouhal vereinfacht dargestellt werden:

$$N = C * \frac{V}{D}$$

Hierbei gelangt man zur Reibungsfrequenz (N) durch die Multiplikation der Proportionalitätskonstante (C, diese Zahl wurde durch Strouhal auf 0,185 bestimmt. Sie definiert das Verhältnis zwischen Windgeschwindigkeit und Durchmesser; dieser Wert gilt jedoch nicht uneingeschränkt für alle Windgeschwindigkeiten und Durchmesser) und der Windgeschwindigkeit (V) durch den Saitendurchmesser (D).²⁵¹

Die entstehende Reibungsfrequenz entspricht in weiterer Folge der periodischen Wirbelablösung, welche beim Auftreffen einer Strömung auf ein umströmbares Hindernis entstehen. Diese Wirbelablösungen können auch als „Kármán’sche Wirbelstraße“ sichtbar gemacht werden (siehe Abb. 33 und Abb. 34).²⁵²

²⁵⁰ Bäuerle 1997, S. 94.

²⁵¹ Ebd., S. 113.

²⁵² Ebd., S. 101.



Abbildung 33: Bildung einer Kármán'schen Wirbelstraße hinter einem Kreiszylinder. Rauch wurde der Luftströmung von links nach rechts zur Visualisierung beigelegt (Bäuerle 1997, S. 102).

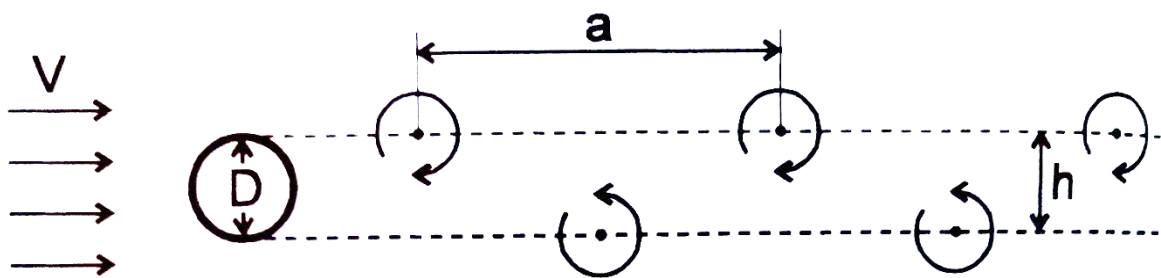


Abbildung 34: Schematische Darstellung einer Kármán'schen Wirbelstraße hinter einem Kreiszylinder mit dem Durchmesser D und der Anströmgeschwindigkeit V . Die Strömung erzeugt in der vom Wind abgewandten Seite des Hindernisses gegensinnig drehende Wirbel mit den Abständen a und Reihenabständen h . Lt. Th. von Kármán stehen die Wirbel bei einer stabilen Anordnung im Verhältnis von $h / a = 0,28$ (Bäuerle 1997, S. 104).

Die Wirbelablösungen sind auch in der Natur hörbar, wenn sich die Ablösungen als Druckschwankungen in der Luft weitentwickeln (z.B. das Summen der Drähte einer Telefonleitung im starken Wind oder das Surren einer durch die Luft geschwungenen Weidenrute).²⁵³ Diese Art von Klangerzeugung kann der Instrumentengruppe der Aerophonen zugerechnet werden (Ablenkungs-aerophone Ordnungsnummer 411 nach Hornbostel & Sachs²⁵⁴). Da der Klang sich von Äolsharfen im Normalfall auf die durch einen Resonator amplifizierte Saite bezieht, wird hier von einer weiteren Betrachtung

²⁵³ Bäuerle 1997, S. 112.

²⁵⁴ Hornbostel & Sachs 1914, S. 582.

des direkten Reibetones abgesehen und mit den Schwingungen der Saiten selbst fortgefahren.

Die periodische Ablösung von Wirbeln ist abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit (V) und einer stabilen Anordnung vom Saitendurchmesser (D) bzw. der kinematischen Viskosität (ν ist der Quotient einer Stoffkonstante η durch die Dichte des Mediums ρ , also $\nu = \frac{\eta}{\rho}$). Diese Abhängigkeit kann wie folgt durch die Reynoldszahl (Re) dargestellt werden:^{255, 256}

$$Re = \frac{D * V}{\nu}$$

Der Re -Bereich, in dem eine Bildung stabiler Wirbelstraßen stattfindet, bewegt sich zwischen 45 und 150, womit sich auch verschiedene Modelle und Zusammensetzungen der entsprechenden Parameter finden lassen.

Auch für genauere Berechnungen verschiedener für die Saitenschwingung wichtiger Parameter kann die Reynoldszahl (Re) herangezogen werden, wenn mithilfe dieser die Strouhalzahl (St , ersetzt C) charakterisiert wird:

Der Wert 0,212 entspricht einem für diese Betrachtung eingeführten Faktor, welcher in der bereits beschriebenen Proportionalitätskonstante (C) beschrieben wurde, und die $4,14 / Re$ resultieren aus Begrenzungen der Reynoldszahl ($Re > 45$). Führt man diese Gleichung in Zusammenhang mit der bereits beschriebenen Strouhal-Gleichung zusammen, kann man die Parameter Saitendicke und Windgeschwindigkeit nach ihrer praktischen Eignung zur Bildung von periodischen Wirbelablösungen berechnen:²⁵⁷

$$D = \sqrt{\frac{St * Re * \nu}{N}}$$

An dieser Stelle muss festgehalten werden, dass es sich hierbei um Modellrechnungen handelt, welche zahlreiche das System beeinflussende Faktoren nicht beinhalten. Bei den Modellen wird davon ausgegangen, dass sich die umströmten Saiten (zylindrische Körper) nicht bewegen. Was jedoch bei Äolsharfen nicht der Fall ist, weil die

²⁵⁵ Bäuerle 1997, S. 105.

²⁵⁶ Bonner & Davies 1974, S.49.

²⁵⁷ Ebd., S. 115.

Wirbelablösungen die Saiten entsprechend ihrer jeweiligen Saitenfrequenzen zum Schwingen anregen. Dieser Vorgang ist der wesentliche Ausgangspunkt für die Klangerzeugung bei Äolsharfen.

Allein diese Bewegung verkompliziert jedoch die physikalische Darstellung des Schwingungssystems erheblich, da hier ein kompliziertes zusammenhängendes Wechselspiel aus Wirbelablösungen und Saitenschwingungen vorliegt. An dieser Stelle enden auch die aktuell verfügbaren Annäherungen zum physikalischen Hergang der Klangerzeugung bei Äolsharfen und lassen somit noch reichlich Möglichkeiten für weitere Betrachtungen und Analysen in diesem Zusammenhang.²⁵⁸

Was man jedenfalls mithilfe der theoretischen Annahmen zusammenfassend feststellen kann ist, dass die Grundfrequenz und die mitschwingenden Obertöne der schwingenden Saite sich hauptsächlich mit den Faktoren Windgeschwindigkeit und Saitendurchmesser ändern. Auch die Punkte der Windintensitätsspitzen entlang der Saite sind entscheidend für die entstehende Frequenz oder die jeweilige Obertonentwicklung.²⁵⁹

Auch kann man bei Äolsharfen von einer nicht klar definierbaren Klangsynthese sprechen, da die Saiten zuerst, ähnlich wie bei Flöteninstrumenten, durch einen Strömungseffekt in Schwingung versetzt werden, andererseits jedoch diese Schwingung, wie bei Chordophonen üblich, weiter an einen Resonator abgeben werden.

Die entstehende Grundfrequenz des Instrumentes wird beim Instrumentenbau oft durch das Zusammenspiel des Klopftones des Resonanzkörpers und der Saitenlänge bestimmt.²⁶⁰

Die gängigsten Ausformungen der Resonatoren werden im Folgenden schematisch bzw. beispielhaft beschrieben.

6.3.1 als Kastenzither mit Resonator

Laut der gängigen Literatur über Windharfen ist das Modell von Wilhelm Peter Melhop bis heute noch eines der am besten funktionierenden Modelle. Diese Version erlangte ab dem 19. Jhdt. größere Bekanntheit und wurde des Öfteren in dieser Form

²⁵⁸ Bäuerle 1997, S. 135.

²⁵⁹ Ebd., S. 124.

²⁶⁰ Minnsen 1993, S. 80.

hergestellt, verwendet und auch abgebildet.²⁶¹ Melhop verbesserte das bestehende Konzept der Windharfen mithilfe von „Einschließen der Saiten“ und „getrennten Windklappen“²⁶². Aus diesem Grund wird speziell diese Version genauer betrachtet.

Die Melhop-Windharfe (siehe Abb. 35 und 36) besteht aus einem hölzernen Resonanzkörper, auf dem fünf Saiten aufgespannt sind. Darüber ist ein abnehmbarer Windtrichter durch eine Steckverbindung angebracht.^{263, 264}

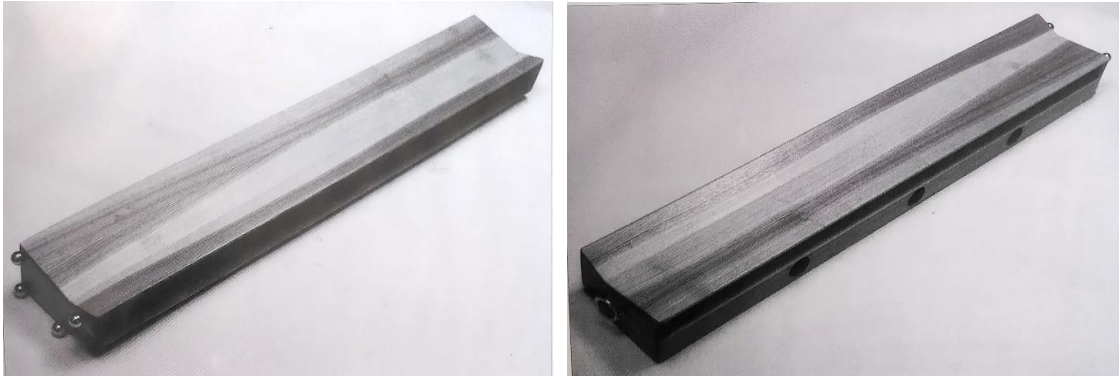


Abbildung 35: Nachbau einer Melhop Windharfe (einhörig), Front- und Rückansicht (Hagen 1993, S. 207).

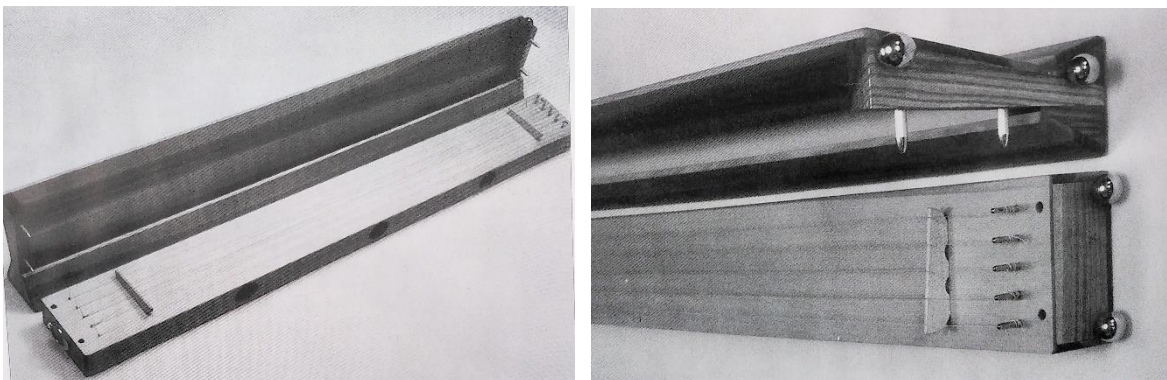


Abbildung 36: Nachbau einer Melhop Windharfe (einhörig), mit abgenommenem Trichter, im Detail (Hagen 1993, S. 208).

Folgende Abbildung gibt Aufschluss über die generelle Bauweise einer Melhop Windharfe:

²⁶¹ Pilipczuk 1993, S. 141.

²⁶² Ebd., S. 157.

²⁶³ Hagen 1993, S. 202.

²⁶⁴ Mansfield 1968, S. 16.

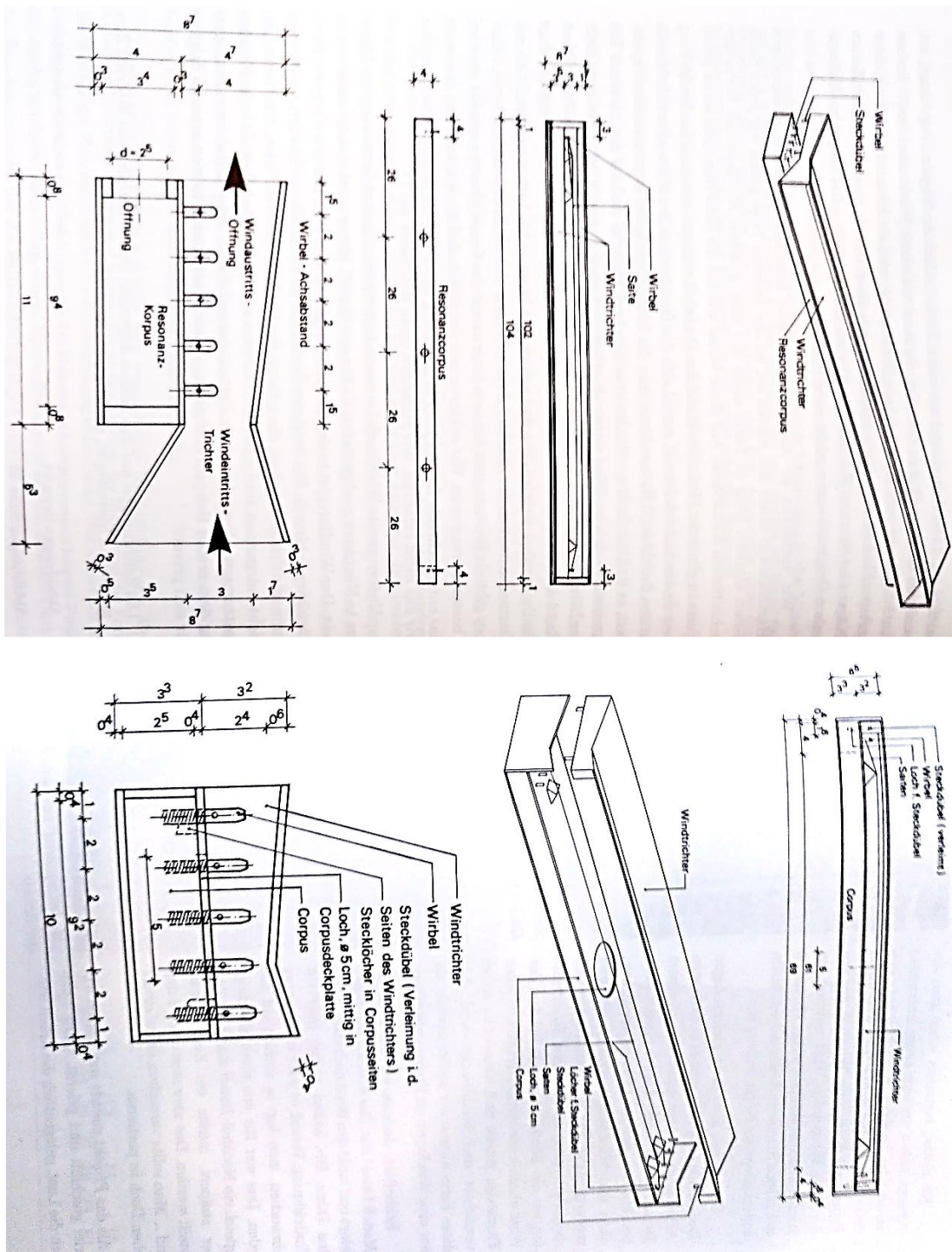


Abbildung 37: Bauzeichnung einer Melhop-Windharfe von Wilfried Zimmermann (Krieger 1993, S. 63).

Das Klangbeispiel ID: C-001 zeigt eine Aufnahme einer schematisch baugleichen Windharfe des Instrumentenbauers Benedikt Quirmbach, Firma Klangacht. Zu hören ist die Windharfe in unterschiedlichen Windintensitäten. Die Windstärke bestimmt wie bereits beschrieben den Obertongehalt: dieser Umstand tritt stark ab 03:10 hervor.

5.3.2 als eigentliche Harfe

Neben der Melhop-Windharfe sind sehr oft auch Windharfenbauformen vorzufinden, die der grundlegenden Bauform einer eigentlichen Harfe²⁶⁵ entsprechen.

Hier findet sich prototypisch für Äolsharfen als eigentliche Harfe die Windharfe der Schlossruine Hohenbaden, gebaut 1999 von Rüdiger Oppermann. Dieses Instrument war zur Zeit ihrer Konstruktion lt. Aushang an der Schlossruine die größte Windharfe Europas: Sie umfasst 120 Nylonsaiten über eine Höhe von 4,10 m. Gestimmt sind die Saiten auf die Grundtöne C und G.²⁶⁶ Der Resonanzkörper dürfte aus Stahl bestehen und ist offensichtlich mittig am Instrument angebracht (siehe Abb. 38).



Abbildung 38: Windharfe Schloss Hohenbaden (aus Website von Stadtwiki Baden, letzter Zugriff am 27.04.2023).

²⁶⁵ De Vale et al. 2001, S. 881.

²⁶⁶ Website von Stadtwiki Baden, letzter Zugriff am 27.04.2023.

Das Klangbeispiel ID: C-002 zeigt Aufnahmen dieses Instrumentes, welche in der CD „Wind Songs“ von Oppermann²⁶⁷ publiziert wurden (siehe Abb. 39).

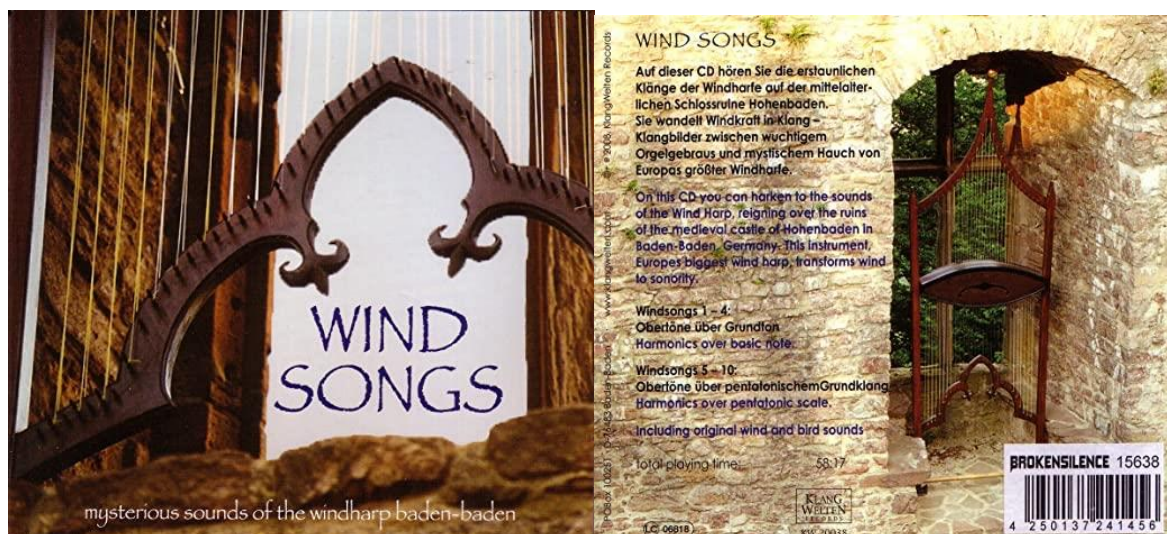


Abbildung 39: CD-Cover von „Wind Songs“ Front- und Rückseite.

7. AEROPHONE

Unter den Aerophonen wird in der Hornbostel-Sachs-Systematik zwischen freien Aerophonen und (eigentlichen) Blasinstrumenten unterschieden. Allein von Wind ange-regte Instrumente sind jedoch nur unter der zweiten Kategorie bekannt (Äolspfeifen, Äolsflöten, Äolsorgeln). Es wird hier beschrieben, dass unter den Ablenkungs-aerophonen (Ordnungsnummer 411) die Peitschen und Säbelklingen durch Bewegung ein pe-riodisches Abbiegen der Luft mit sich bringen (vergleiche Windharfe Kapitel 6.1.1). Je-doch werden diese durch menschliches Zutun erzeugt, weshalb auch hier von einer nä-heren Betrachtung abgesehen wird. Dasselbe gilt für Gegenschlagzungen (z.B.: ange-blasener Grashalm, Ordnungsnummer 412.11), nichtselbstklingende Unterbrechungs-instrumente (z.B. Lochsirene, Schwirrholtz, Ordnungsnummer 412.2) und Explosivae-rophone (z.B. Knallbüchse, Ordnungsnummer 413).²⁶⁸

Äolspfeifen, Äolsflöten und Äolsorgeln sind bei genauerer Betrachtung in ihrem Aufbau jeweils Flöten ohne Kernspalte (Hornbostel-Sachs Ordnungsnummer 421.1).²⁶⁹ Vor al-lem die Namensgebung der Äolsorgel kann zu Verwirrung führen, da diese Instru-mente meist nicht viel mit einer Orgel lt. Definition zu tun haben. Lt. Hornbostel und Sachs sind Orgelpfeifen nämlich Innenspalitflötenspiele (421.222) und gehören der

²⁶⁷ Oppermann, „Wind Songs“, 2013.

²⁶⁸ Hornbostel & Sachs 1914, S. 582.

²⁶⁹ Ebd., S. 583.

Gruppe der Flöten mit Kernspalten an (421.2). Fast alle im Zuge dieser Arbeit gesichteten Äolsorgeln sind jedoch Flöten ohne Kernspalte. Dazu kommt, dass eine Orgel lt. Hans Klotz²⁷⁰ oder auch Kurt Sachs²⁷¹ die drei Bauteile Pfeifen, Bälge und Tastatur beinhalten muss. Die im Zuge der Recherche gefundenen Orgeln hatten jedoch nur die Pfeifen als Bauteil (siehe Kapitel 4), bzw. werden manche Instrumente als Orgeln bezeichnet, obwohl diese über nur einzelne Merkmale lt. dieser Definition verfügen.²⁷² Auch sind einige eigentliche Äolspfeifen bekannt, in Form als Kreisel, Schwingrohr, Drehelement (Jongliergerät: el Diabolo) und singende Pfeile,²⁷³ jedoch ertönen diese nach Anregung durch den Menschen. Deshalb finden diese Instrumente hier auch keine weitere Betrachtung.

7.1 Funktion

Bei Blasinstrumenten kommt es zu periodischen Ableitungen eines Luftstromes, welche die Grundlage für eine Amplifizierung durch einen Resonanzkörper bieten.²⁷⁴ In folgenden Kapiteln wird näher auf diese Mechanismen eingegangen:

7.1.1 Schallanregung

An der Schallanregung von Aerophonen (Luftschwinger) ist immer schwingende oder pulsierende Luft beteiligt. In der Regel wird ein Luftstrom erzeugt, welcher dann in bestimmten zeitlichen Abständen unterbrochen wird bzw. durch eine gleichmäßig wiederholte Wirbelablösung im Luftstrom (bei Flöteninstrumenten) als periodische Luftimpulsfolge in das Instrumentenrohr geleitet wird. Dieser periodisch unterbrochene Luftstrom führt zu Pulsen (bzw. Wirbeln), welche Zonen hoher Luftdichte sind. Diesen folgen Zonen ohne Pulse oder Wirbel mit vergleichsweise geringem Luftdruck. Somit entsteht ein Wechsel zwischen hohem und niedrigem Luftdruck, was wiederum den Verhältnissen in einer Schallwelle entspricht.²⁷⁵ Auf der Grundlage dieser Funktionsweise werden alle Aerophone angeregt: Die Flöteninstrumente aufgrund von

²⁷⁰ Klotz 1938, S. 8.

²⁷¹ Owen et al. 2001, S. 565.

²⁷² Website von Jonas Vorwerk, letzter Zugriff am 28.11.2021.

²⁷³ Armengaud 1983, S. 7–22.

²⁷⁴ Hall 2008, S. 62.

²⁷⁵ Barkowsky 2015, S. 115.

Wirbelablösungen des Luftstroms, die Schalmeeinstrumente (alle Rohrblattinstrumente) durch Öffnen und Schließen des (Doppel-)Rohrblattes und die Blechblasinstrumente durch Öffnen und Schließen der Lippen. Auch die menschliche Stimme funktioniert diesem Vorgang ähnlich.²⁷⁶

Bei Flöteninstrumenten wird ein Luftstrom auf eine Schneide geleitet, von wo aus dieser Luftstrom einmal auf die eine Seite und einmal auf die andere Seite wechselt (siehe Abb. 40).²⁷⁷ Durch die Rückkopplung des Luftstromes im Resonanzraum, bzw. durch die Abstrahlung von Luftströmen (siehe Abb. 41) an der Schneide, kommt es zu einer *positiven Rückkopplung*. Diese führt dazu, dass die einmal in Gang gesetzte Bewegung (Seitenwechsel des Luftstromes) aufrecht bleibt und sich bei einer bestimmten Frequenz stabilisiert.²⁷⁸

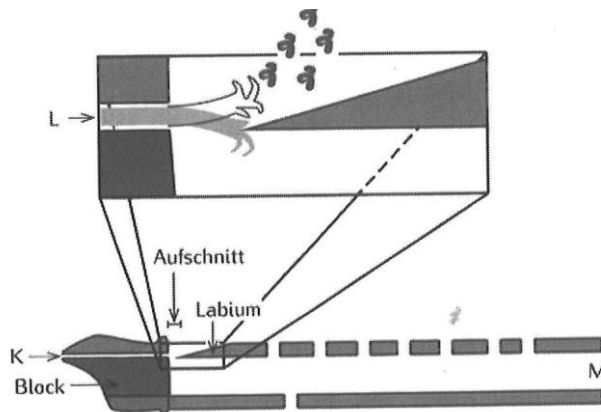


Abbildung 40: Luftstrom (L) trifft auf Kernspalte (K) am Labium einer Blockflöte. M ist die Mündung (Barkowsky 2015, S. 117).

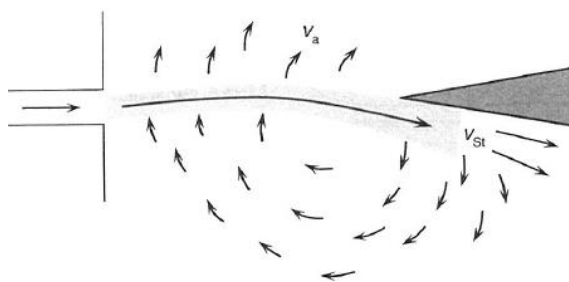


Abbildung 41: Ein Strahl (VSt) strömt mehr auf eine Seite und drängt somit andere Fluidteilchen von der Schneide. Einige dieser Teilchen strömen auf den Ausgangsstrahl zurück (Va) und lenken diesen auf die andere Seite, wo sich dieser Vorgang wie-derholt (Hall 2008, S. 247).

²⁷⁶ Hall 2008, S. 62.

²⁷⁷ Barkowsky 2015, S. 120.

²⁷⁸ Hall 2008, S. 248.

Die in dieser Arbeit untersuchten Aerophone sind Flöten ohne Kernspalte. Bei diesen verhält sich dieser Mechanismus grundsätzlich gleich (siehe Abb. 42)²⁷⁹

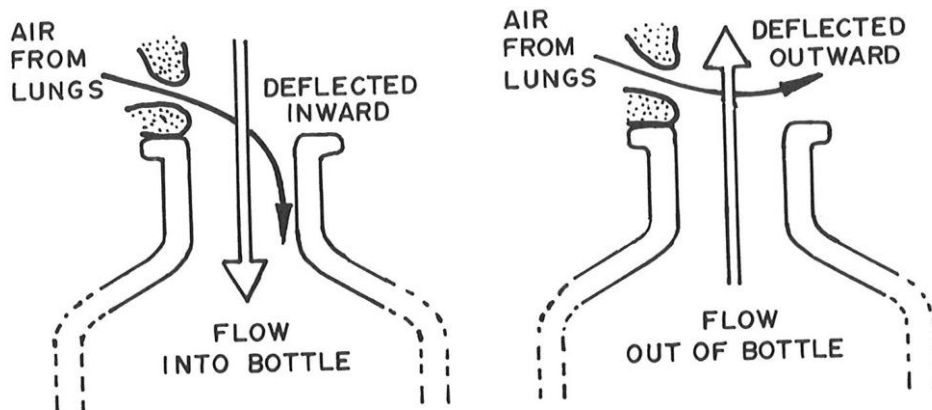


Abbildung 42: Luftstromregulierung in einer Flasche durch kontinuierliches Anblasen (Benade 1976, S. 490).

7.1.2 Resonanzkörper

Die Dauer (Periode), in der dieser Vorgang geschieht, entscheidet die Tonhöhe, jedoch ist diese vom Resonanzkörper durch die eigene Reflexion abhängig. Direkt verbunden mit den jeweiligen Pulsproduzenten sind die Resonanzkörper in Form von Rohren (gerade oder gebogen, konisch oder zylindrisch) bzw. Hohlräumen in verschiedenen Formen. Diese Resonanzkörper schaffen durch ihre räumlichen Begrenzungen zur Umgebung eine Möglichkeit zum Druckaufbau, welcher wiederum zur Rückstrahlung der entstehenden Pulse führt. Diese Rückstrahlung führt je nach Instrumentenart (Flöteninstrument / Schameiinstrument / Trompeteninstrument) zu einer stehenden Welle im System und gleichzeitig zu einer Rückkopplung beim entsprechenden Schallanreger.²⁸⁰

Als Modell für diese Annahme werden zylindrische Rohre mit gleichmäßigem Querschnitt herangezogen (wobei es in der Praxis keinen Unterschied macht, ob das Rohr zylindrisch oder rechteckig ist, vergleiche Orgelpfeifen). Die anhaltende Zuführung von Druckwellen und deren Reflexion am offenen Ende führen im Resonanzkörper zur

²⁷⁹ Hall 2008, S. 246.

²⁸⁰ Barkowsky 2015, S. 117.

schwingenden Luftsäule im Instrument.²⁸¹ Diese Druckwellen sind im Gegensatz zu den transversalen Auslenkungen der Saiten von Saiteninstrumenten longitudinal.²⁸² Die jeweilige Länge der schwingenden Luftsäule entspricht der Länge zwischen Schallerreger und der erstmöglichen Öffnung des Resonanzkörpers. Die Länge der Luftsäule bestimmt die Resonanzfrequenz und ist somit für die resultierende Tonhöhe verantwortlich.²⁸³ Durch verschiedene Techniken können die Längen zwischen Schallanreger und erstmöglicher Öffnung am Instrument variiert werden. Dies geschieht meist durch Grifflöcher am Instrument (z.B. Blockflöte, Klarinette) oder durch eine Möglichkeit der Rohrlängenvariation (z.B. Trompete, Posaune) Somit können verschiedene Tonhöhen mit demselben Instrument erzielt werden.²⁸⁴ Schematisch dargestellt (siehe Bild 43), wird angenommen, dass die tiefste Resonanzfrequenz f_0 einer beidseitig offenen Röhre (Länge= l), durch eine Division von c als Schallgeschwindigkeit durch eine Wellenlänge λ , bzw. zwei Rohrlängen dargestellt werden kann:

$$f_0 = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{2l}$$

Somit wird eine halbe Längenwelle in einer Rohrlänge untergebracht. Würde man eine ganze Welle in einem Rohr unterbringen, wäre immer auf halber Länge ein Nulldurchgang der Druckfunktion, so könnte u.a. ein Fingerloch genau dort liegen ohne jegliche Funktion beim Öffnen und Schließen.²⁸⁵

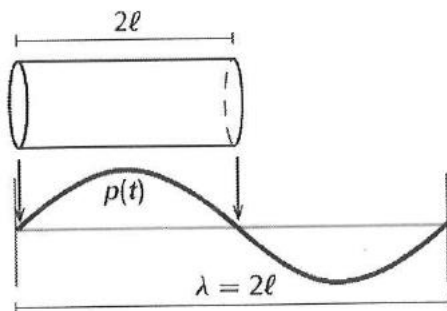


Abbildung 43: λ = Wellenlänge der Schalldruckfunktion $p(t)$. λ ist doppelt so lang wie die physikalische Länge des Resonators (Barkowsky 2015, S. 119).

²⁸¹ Hall 2008, S. 238.

²⁸² Rossing et al. 2002, S. 65.

²⁸³ Barkowsky 2015, S. 118.

²⁸⁴ Hall 2008, S. 258.

²⁸⁵ Barkowsky 2015, S. 119.

Eine besondere Bedingung für die Bildung von Resonanzschwingungen ist, dass an beiden Enden eines beidseitig offenen Resonanzkörpers (z.B. ein Rohr) die Druckfunktion jeweils auf 0 sein muss und die Auslenkung am offenen Ende am Maximum. Erst so ist eine Resonanz der ganzzahligen Vielfachen, also der Obertonbildung möglich. Dies trifft auf beidseitig geöffnete Resonanzkörper (Rohre) sowie auf einseitig geöffnete Resonanzkörper zu.²⁸⁶

Von wesentlicher Bedeutung für die entstehende Frequenzhöhe ist, ob das jeweilige Rohr an einem Ende geöffnet ist oder nicht. Ist ein Resonanzkörper nur einseitig geöffnet, müssen im Resonanzfall die Eigenschwingungen ungeradzahlige Vielfache einer Viertel-Wellenlänge der Rohrlänge aufweisen (z.B. 1/4, 3/4, 5/4). Deswegen werden Instrumente mit beidseitig geöffneten Enden als $\lambda/2$ -Schwinger und Instrumente mit einseitig geschlossenem Ende als $\lambda/4$ -Schwinger bezeichnet. Mathematisch ausgedrückt ist die Formel zur Berechnung der Resonanzschwingung von $\lambda/4$ -Schwingern ähnlich wie die Formel für $\lambda/2$ -Schwinger, mit dem Unterschied, dass eine Viertel-Rohrlänge anstatt einer halben herangezogen wird.

Hierfür ergibt sich für $\lambda/4$ -Schwinger folgende Formel mit denselben Parametern wie in voriger Berechnung:

$$F_0 = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{4l}$$

Im Gegensatz zur Tonbildung bei den $\lambda/2$ -Schwingern, können bei $\lambda/4$ -Schwingern ausschließlich ungerade Vielfache gebildet werden (siehe Abb. 44). Dieser Umstand führt zur Bildung eines um eine Oktave tieferen Grundtons.²⁸⁷

²⁸⁶ Barkowsky 2015, S. 120.

²⁸⁷ Ebd, S. 123.

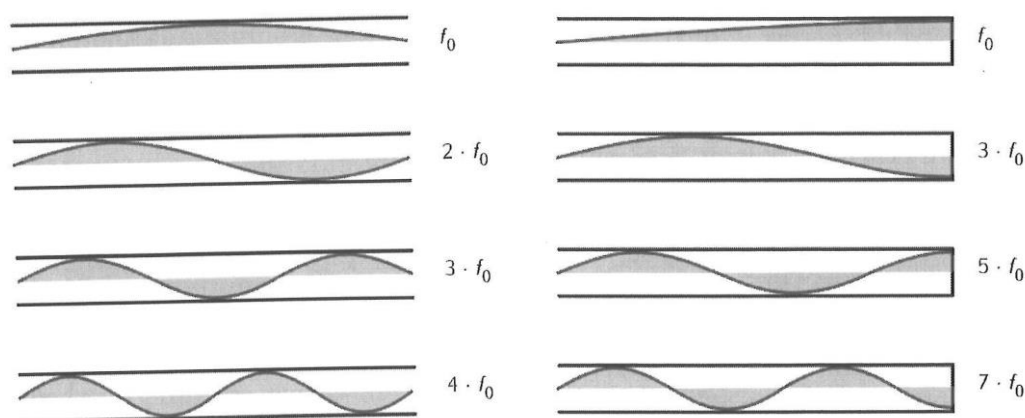


Abbildung 44: Schwingungsfähige Obertonreihen von $\lambda/2$ -Schwingern (links) und $\lambda/4$ -Schwingern (rechts) (Barkowsky 2015, S. 121 + 122).

Generell lässt sich bei Luftschwingern festhalten, dass für eine genaue Bestimmung der Frequenzen eine Vielzahl weiterer Parameter berücksichtigt werden muss. Eine wesentliche Bedeutung bekommt hierbei die Mündungskorrektur, welche bei der Berechnung der Länge zum Tragen kommt. Sie wird im praktischen Gebrauch benötigt, da in einem zylindrischen Körper die Schwingungen der entstehenden Luftsäule etwas außerhalb der Mündung erst in der Außenluft ihre Wirkung ausüben können. Deswegen ist die effektiv schwingende Luftsäule etwas länger als der Resonanzkörper selbst. Um diesen Faktor auszugleichen, wird die tatsächliche Länge des Resonanzkörpers mit einer Mündungskorrektur angeglichen. Diese Angleichung entspricht meist in etwa dem 0,6-Fachen des jeweiligen Zylinderdurchmessers.^{288, 289}

Auch die unterschiedlichen Ausformungen der Instrumentenkörper spielen eine wesentliche Rolle in der Tongebung. Diese können je nach Instrument zylindrisch, konisch, weit, eng, dick, dünn ausgeführt sein. So führt zum Beispiel die Bauform des $\lambda/4$ -Schwingers Klarinette dazu, dass sie beim Überblasen in die Duodezime springt. Anders z.B. beim Saxophon und anderen Holzblasinstrumenten. Sie schwingen wie $\lambda/2$ -Schwinger, da sie im Gegensatz zur Klarinette eine konische Bauform haben oder da deren Trichter nach einer Besselfunktion geformt ist.²⁹⁰

²⁸⁸ Rossing et al. 2002, S. 66.

²⁸⁹ Barkowsky 2015, S. 121.

²⁹⁰ Ebd., S. 122.

Ähnlich wie bei den hier genannten Holzblasinstrumenten führt die Ausformung der Trichter der Trompeteninstrumente dazu, dass die eigentlichen $\lambda/4$ -Schwinger wie $\lambda/2$ -Schwinger schwingen.²⁹¹

7.2 Materialbeschaffenheit

In der Gruppe der (eigentlichen) Blasinstrumente werden die Materialien Holz, Fruchtschalen oder Metall für den Instrumentenbau verwendet. Hinsichtlich der Klanganregung spielt die Wahl der Materialien lediglich bei den Rohrblättern der Rohrblattinstrumente (z.B. Klarinette, Oboe) eine wesentliche Rolle für das Klangbild. Hier entscheiden die Elastizität und die Härte des Materials über die praktische Spielbarkeit und auch über das Klangbild.²⁹² Die Materialien des Resonanzkörpers bestimmen die jeweilig entstehenden Klangbilder mit, wobei hier auch wie bei den Resonanzhölzern die Wandstärken am ehesten eine gewisse Rolle spielen.²⁹³ Vor allem bei den Instrumenten aus Metall (z.B. Trompete) ändert die Metallart bzw. die Zusammensetzung der Metalllegierungen das jeweilige Klangbild, jedoch nicht wesentlich, sondern lediglich in feinen Abstufungen.²⁹⁴

7.3 Beispiel: Äolsflöten/Äolspfeifen

Als Beispiel für durch Wind angeregte Flöten dient ein Instrument von Dan Fox, das dieser im Rahmen des Grizendale Forest Sculpture Park²⁹⁵ erbaut hat. Der für Äolsaerophone prototypische Charakter liegt hierbei im grundlegenden Schema der Klangerzeugung. Hierbei wurden drei aufrecht im Boden befestigte Bambusrohre mit einer unbekannten Anzahl an Längsschlitzten in verschiedenen Richtungen versehen (siehe Abb. 45).

²⁹¹ Barkowsky 2015, S. 129.

²⁹² Fletcher 1998, S. 725.

²⁹³ Ebd. S. 725.

²⁹⁴ Bocur 2019, S. 285.

²⁹⁵ Website von Grizendale Forest Sculpture Park, letzter Zugriff am 27.04.2023.



Abbildung 45: Drei Äolspfeifen, ID: A-001 (aus: Website von Grizendale Forest Sculpture Park, letzter Zugriff am 27.04.2023).

Die Ausführung der Schlitzte dürfte auf folgender Skizze²⁹⁶ basieren (Abb. 46) (in einem Kommentar auf ein Youtube-Video beschreibt der Erbauer selbst auf Anfrage seine Bauanleitung). Hier werden die Schlitzte mit einer Öffnungsbreite von 15 mm angegeben und einem Versatz von 4 mm. Da die Schlitzte auf dem Rohr an unterschiedlichen Stellen angebracht wurden, kann der Wind das Instrument aus verschiedenen Richtungen anregen.

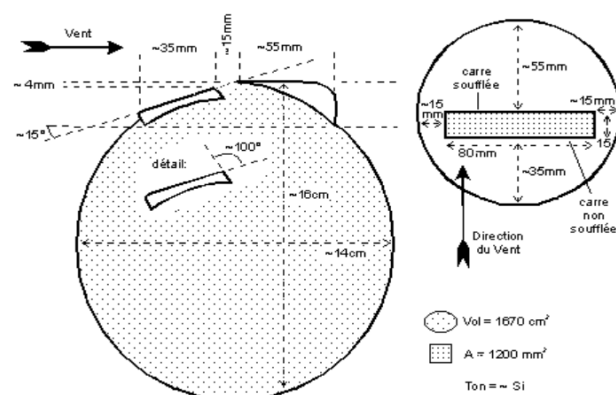


Abbildung 46: Fertigungsskizze für Windorgel (aus: Website von Wahl, letzter Zugriff am 27.04.2023).

²⁹⁶ Website von Wahl, Uli, letzter Zugriff am 27.04.2023.

Da die Bambusstangen durch natürlichen Wuchs vertikal in kleine Abschnitte unterteilt sind, entsprechen sie Rohren, die mit verschiedenen großen geschlossenen Kammern ausgestattet sind. Die Schlitze sind also die Öffnungen zu verschiedenen großen Helmholtz-Resonatoren, die bei Anregung durch die Luft in verschiedenen Tonhöhen erklingen. Dies lässt sich in der Aufnahme der Bambus-Windorgel im Tonbeispiel ID: A-001 gut demonstrieren.

8. DIE KLANGEIGENSCHAFTEN VON ÄOLSINSTRUMENTEN

In diesem Kapitel soll vor allem der ersten Forschungsfrage:

Was sind die typischen Klangmerkmale von Äolsinstrumenten und worin unterscheiden sich jene?

nachgegangen werden und für die zweite Forschungsfrage (siehe Kapitel 9) die Grundlagen gegeben werden.

Hierfür werden zunächst bereits bestehende Annahmen und Beschreibungen zu den Klangeigenschaften von Äolsinstrumenten aus Produktbeschreibungen, Kunst-Literatur und gegenwärtigen Rezensionen beschrieben (Kapitel 8.1). Diese Annahmen werden anschließend vereinfacht und in, für den später durchzuführenden Hörer*innenversuch benötigte Begriffspaare (Kapitel 9), eingeordnet.

Mithilfe einer ausführlichen Signalanalyse (Kapitel 8.2) wurden 34 Tonbeispiele genauer untersucht. Die Tonbeispiele stammen fast zu Gänze aus extrahierten Tonspuren von Videos, welche der Videoplattform www.youtube.com entnommen sind. Es wurde bei der Auswahl darauf geachtet, dass Bild und Klang zusammenpassen, um sicherzustellen, dass es sich um die jeweiligen Bilder entsprechende Aufnahmen handelt. Aus der Vielzahl an analysierten Werten (über 5400 Werte von 160 Features) konnten über weitere Berechnungen (MANOVA) die für die Beantwortung der Forschungsfragen wesentlichen Features gefunden.

Die Darstellungen und Ergebnisse der korrelierenden Features und deren Werte werden anschließend dargestellt und ermöglichen die Beantwortung der ersten Forschungsfrage.

Die verwendeten Klangbeispiele und die Studienergebnisse sind unter <https://muwi-server.synology.me/aeolsinstrumente/> in visualisierter Form zu vorzufinden.

8.1 Annahmen

In der Wissenschafts- sowie in der Kunstliteratur sind an einigen Stellen die Klangeigenschaften von Äolsharfen beschrieben. Wegen der erhöhten Beliebtheit der Äolsharfe ab dem 17. Jhdt. sind Beschreibungen zu Äolsklängen fast ausschließlich den Äolsharfen zuzurechnen, dies spiegelt sich in den hier genannten Annahmen.

Die Zuschreibungen für Äolsidiophone und Äolsaerophone entstammen vor allem den jeweiligen Klangbeschreibungen der Instrumentenhersteller sowie aktueller Rezensionen von Äolsinstrumenten.

8.1.1 Annahmen Äolsidiophone

Die meisten Stimuli von Äolsidiophone entstammen der Produktseite des Produzenten *Woodstock Chimes*, der den Klang seiner Produkte zu wie folgt beschreibt:²⁹⁷

Aufschlagstäbe „Chimes of the Forest“ (ID I-002)

Attribute: *sanft, glatt, heiter*

„The soft, smooth tone of this wooden windchime adds a serene note to its surroundings [...] May our Chimes of the Forest bring the tranquil sounds of nature to your [...]“

Aufschlagrohr „Heroic Windbell Grand Antique“ (ID I-008)

Eine weitere Annahme zur Klangeigenschaft dieses Exemples liegt im Namen selbst: „heroic“ dürfte hierbei eine gewisse Erhabenheit andeuten.

Attribute: *klangliche Tiefe, reich im Klang*

„Sounds like distant harbor bells! These handcrafted, wind-activated bells are toned to unite two important ways the instrument vibrates. One is the sound of the bell itself, the other is the hollow chamber inside the bell that acts like an organ pipe. The slots on the sides of the bell are the secret to this unique coupling and the result is a rich sound with much depth and beauty.“

Aufschlagrohr „Natural Ring Bamboo Chime“ (ID I-007)

Attribute: *dezent, gleitend*

„This subtle chime adds soothing music to your garden.“

²⁹⁷ Website von Woodstock Chimes, letzter Zugriff am 21.07.2023.

Aufschlagrohre „Chimes of Saturn“ (ID I-005) und „Chimes of Pluto“ (ID I-006) sind Teil der „Encore Collection“:

Attribute: *bezaubernd*

„Encore® Collection chimes share a distinct look and an enchanting tuning that sound out of this world in any size.“

Aufschlagrohre „Magical Mystery Chimes – Space Odyssey“ (I-009)

Attribute: *reich im Klang, erhöhte Harmonie*

„These Chimes have an extra rich sound! [...] this special tuning heightens the harmonics, creating a song that must be heard to be believed.“

Zu einem Stimulus lässt lediglich die Namensgebung des Instrumentes Klangeigenschaften vermuten:

Aufschlagstäbe „Flourish Chime“ (ID I-001)

Attribute: *blühend*

Folgende Stimuli beruhen auf den Klangbeschreibungen eines anderen Herstellers:

Aufschlagglocke „5inch“ (ID I-004)²⁹⁸

Attribute: *sanft, friedlich*

„One of our most mellow and peaceful bells. Suggestive of an Asian Temple bell, the soft tone is generated by a wooden clapper.“

Aufschlagglocke „Furin“ (ID I-010)²⁹⁹

Attribute: *angenehm*

„Ein klassisches budistisches [sic] Windglöckchen das mit einem angenehmen Klang das Lied des Wind Spiel“

In der Forschungsliteratur wird der Klang der *Chuong khah* (siehe Kapitel 4.3.1) als „angenehmer Klang, der jeden Ausländer überrascht“³⁰⁰ beschrieben. Somit lässt sich hier auch das Attribut *angenehm* extrahieren.

²⁹⁸ Website von Fisher, US-Bells, letzter Zugriff am 21.07.2023.

²⁹⁹ Website von Feines Werkzeug, letzter Zugriff am 21.07.2023.

³⁰⁰ Buchner 1992, S.7.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass folgende Attribute den Klängen von Äolsidiophonen zuschreibbar sind: *sanft, glatt, heiter, klangliche Tiefe, reich im Klang, dezent, blühend, friedlich, angenehm*.

8.1.2 Annahmen Äolschordophone

Für Annahmen über den Klang von Äolschordophonen sind in der Forschungs- und Kunstliteratur etliche Beispiele zu finden. Für die Annahmen in diesem Kapitel wurden in der Literatur häufig zitiert Beispiele verwendet. Im Folgenden wird eine Auswahl mit ihren jeweils dazugehörigen Klangattributen aus beiden Bereichen aufgeführt:

Athanasius Kircher in *Musurgia Universalis* (1650):

Attribute: *angenehm, geheimnisvoll, staunenswert*

„[...] Dieser Mechanismus ist ebenso neu wie einfach und angenehm [...]“³⁰¹

„[...] geheimnisvoller staunenswerter Klang [...]“³⁰²

James Thomson, in *The Castle of Indolence* (1748/1750)³⁰³

Attribute: *traurig, feierlich*

„Such sweet, such sad, such solemn airs divine“

James Thomson, in *On Aeolus's Harp* (1750)³⁰⁴

Attribute: *himmlisch, schrecklich*

„Methinks I hear the fullcelestial choir

Thro'heavens [sic] high dome their awul [sic] anthem rise“

Georg Christoph Lichtenberg, in *Von der Äolusharfe* (1792)³⁰⁵

Attribute: *angenehmer als Äolsaerophone*

„Zum Beschluß merke ich noch an, daß diese natürliche Äolusharfe also angenehmer klingen muß, als die Musik der natürlichen Äolusorgeln [...]“

³⁰¹ Kircher 1650, Buch 7 S. 353.

³⁰² Ebd. S. 354.

³⁰³ In Brown 1970, S. 15.

³⁰⁴ Ebd., S. 18.

³⁰⁵ Lichtenberg 1792, S 145.

Johann Wolfgang von Goethe, in *Faust* (1808)³⁰⁶

Attribute: *lispelnd, schauerhaft*

„Mein lispelnd Lied, der Äolsharfe gleich,
Ein Schauer fasst mich, Träne folgt den Tränen“

Justinus Kerner, in *Der Grundton der Natur* (1839)³⁰⁷

Attribute: *schmerzvoll*

„Lausch' der Äolsharfe nur! – Schmerz ist Grundton der Natur!“

E.T.A. Hoffmann, in *Die Lebensansichten des Kater Murr* (1819–1821)³⁰⁸

Attribute: *fern, geisterhaft, herzzzerreißend*

„[...] und dazwischen schlugen einzelne Töne der Wetterharfe an, wie ferne Orgelklänge
[...] Die Geister rühren sich in den Lüften, und ihr Choral zerreißt die menschliche Brust!
[...]“

Herman Melville, in *At the Surf Inn* (1888)³⁰⁹

Attribute: *wahnsinnig aufsteigend, schwermütig absteigend*

„Shrieking up in mad crescendo – Dying down in plaintive key!“

Georg Krieger:³¹⁰

Attribute: *langsam aufbauend, obertonreich, elektronisch*

„Bei sanftem, gleichmäßigem Wind baut sich ein Klang allmählich auf, oft ist es ein Dreiklang zum Beispiel aus dem 6., 5., 4. und 3. Teilton, er schwingt sich ein und wird allmählich starker. Wenn der Wind heftiger wird, kommen ganz rasch Töne aus den viel weiter oben angesiedelten Teiltönen, etwa aus der Region des 32. Teiltons, das Ganze bricht dann ab, um sich allmählich von einem anderen Teilton aus wieder aufzubauen. Angenehm ist der Klang dann, wenn der untere Bereich des Teiltonspektrums zu hören ist, weil es sich dabei um einen Dreiklang bis zum 6. Ton handelt. Auch der zu tieferen 7. Teilton, mit dem Kepler nichts mehr anzufangen wußte, wird noch gut akzeptiert, dazu sämtliche Oktaven der tieferen Töne. Sehr gut ist auch der 9. Teilton zu hören. Weiter hinauf werden die Intervalle immer kleiner, oberhalb des 16. sind sie kleiner als ein Halbtonschritt. Bedenkt man, daß diese Teiltöne selbst obertonfrei sind, jedenfalls annähernd, daß es also ziemlich reine Sinustöne sind, so kann man sich vorstellen, daß der Klang etwas Elektronisches hat.“

Zusammenfassend lassen sich folgende Annahmen/Rezeptionen für die Klangwahrnehmung von Äolschordophone festhalten: *angenehm, geheimnisvoll, staunenswert*,

³⁰⁶ Goethe 1808, S. 3.

³⁰⁷ In Tanhaef 2017, S. 78.

³⁰⁸ Hoffmann 1819, S.198 + 200.

³⁰⁹ In Brown 1970, S. 79.

³¹⁰ Zitiert in Minnsen 1993, S. 57.

traurig, feierlich, himmlisch, schrecklich, angenehmer als Äolsaerophone, lispelnd, schauerhaft, fern, geisterhaft, herzerreißend, wahnsinnig aufsteigend, schwermütig absteigend, langsam aufbauend, obertonreich, elektronisch

8.1.3 Annahmen Äolsaerophone

Bei den Äolsaerophonen sind schriftlich belegbare Annahmen und Rezeptionen zur klanglichen Beschaffenheit wenig bis gar nicht vorhanden. Dies lässt auf geringe Verbreitung dieser Instrumente zurückführen.

Für folgende Beispiele lassen sich Annahmen bzw. Rezeptionen hauptsächlich aus den Beschreibungen und Kommentaren der Videos entnehmen, von welchen die Klangstimuli stammen:

Flöte: „Windorgel Vlissingen“ (ID A-002)

Attribute: *sonores Summen, hohe Klänge, lärmend, gespenstisch, launenhaft*

„Zwischen den Orgelpfeifen hört man je nach Wind eine oft besondere Mischung aus sonorem Summen und hohen Flötenklängen“³¹¹

„Die Windorgel in Vlissingen aan Zee macht schon bei ´normalen´ Wind schon viel Lärm, bei dem Sturm mit Windstärke neun war es ein wahres Konzert.“³¹²

„You should hear the wind organ when there’s a storm coming, it’s insanely spooky/moody“³¹³

Flöte: „The Singing Ring Tree“ (ID A-005)

Attribute: *seltsam, gruselig, unheimlich, schön, majestätisch, kryptisch*

„The collection of tubes makes the strangest sounds when the wind blows, [...]“³¹⁴

„Expectation: Relaxing sound / Peaceful Sound – Reality: Creepy Sound“³¹⁵

„So beautiful, so majestic, but also so cryptic and eerie“

Flöte: „Aeolus at Eden“ (ID A-006)

Attribute: *hypnotisierend*

„[...] was mesmerized. [...]“³¹⁶

³¹¹ Kommentar von User DerkvanL, Übersetzung aus der Videobeschreibung, letzter Zugriff am 20.07.2023.

³¹² Kommentar von User etceteratv, Übersetzung aus der Videobeschreibung, letzter Zugriff am 20.07.2023.

³¹³ Kommentar des User sdziscool, letzter Zugriff am 20.07.2023.

³¹⁴ Videobeschreibung von User RailMon, letzter Zugriff am 20.07.2023.

³¹⁵ Kommentar des User remaagunan732, letzter Zugriff am 20.07.2023.

³¹⁶ Kommentar des User frannybeeuk, letzter Zugriff am 20.07.2023.

Zusammenfassend kann man folgende Attribute für die Annahmen hinsichtlich der Klangqualität von Äolsaerophonen festhalten: *sonores Summen, hohe Klänge, lärmend, gespenstisch, launenhaft, seltsam, gruselig, unheimlich, schön, majestätisch, kryptisch, hypnotisierend*

8.1.4 Annahmen Vereinfachung

Die Annahmen über die klanglichen Eigenschaften von Äolsinstrumenten lassen sich in der folgenden Übersicht innerhalb einiger deutungsklaaren Gegensatzpaaren zuordnen (**Grün** für Äolsidiophone, **Lila** für Äolschordophone, **Blau** für Äolsaerophone):

fremd (vs. vertraut)

fremd: *geheimnisvoll, staunenswert, kryptisch, seltsam,*

hart vs. weich

hart: *herzzerreißend, obertonreich, lärmend*

weich: *sanft, glatt, langsam aufbauend, traurig, schwermütig absteigend*

unangenehm vs. angenehm

unangenehm: *wahnsinnig aufsteigend, schauerhaft, geisterhaft, gespenstisch, gruselig, launenhaft, unheimlich*

angenehm: *heiter, dezent, angenehm, angenehm*

schön (vs. hässlich)

hässlich: *lispelnd*

schön: *reich im Klang, blühend, feierlich, schön, majestätisch*

kalt vs. warm

kalt: *elektronisch, sonores Summen, hohe Klänge, hypnotisierend*

warm: *friedlich, klangliche Tiefe,*

Die Adjektive, welche das „Gespenstische“, oder „Schauerhafte“ umschreiben wurden bewusst einfachen Gegensatzpaaren zugeordnet, um beim nachfolgenden Hörer*innenversuch keine Prädispositionen der Versuchspersonen zu erzeugen.

8.2 Signalanalyse

Mithilfe einer Signalanalyse^{317, 318, 319, 320, 321} wurden 34 Tonbeispiele analysiert. Konkret setzten sich die Stimuli zusammen aus 9 Äolsflöten, 13 Äolsharfen und 12 Äolsglocken.

Eine Liste aller verwendeter Instrumente mit Informationen zu Datenname, Instrumentenart, Materialbeschaffenheit, Medienquelle, Ort und Erbauer sowie die via Signalanalyse erhobenen Klangmerkmale ist in der Tabelle A.1 und A.2 im Anhang zu finden.

Via Signalanalyse wurden pro Instrument 160 klangliche Parameter erhoben, über die Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den Klängen der verschiedenen Instrumentengattungen ermittelt werden konnten (Abb. 48). Über eine Multivariante Varianzanalyse³²² (MANOVA, siehe Abb. 47) wurden die Merkmale ermittelt, anhand derer sich die Instrumentengruppen am deutlichsten unterscheiden.

Eine Beschreibung der erhobenen Werte finden sich in Czedik-Eysenberg 2021³²³ und Lartillot 2021³²⁴

³¹⁷ Lartillot et al. 2008, S. 261–268.

³¹⁸ Lartillot 2019, S. 489.

³¹⁹ Bogdanov et al. 2013, S. 493–498.

³²⁰ Pearce et al. 2017.

³²¹ McFee et al. 2015, S. 18–25.

³²² Warne 2014, S. 5.

³²³ Czedik-Eysenberg 2021, S. 260–265..

³²⁴ Lartillot 2021, S. 19–216.

MANOVA: Pillai Test

Cases	df	Approx. F	Trace _{Pillai}	Num df	Den df	p
(Intercept)	1	124.956	0.959	5	27.000	< .001
Art	2	9.673	1.267	10	56.000	< .001
Residuals	31					

ANOVA: brightnessHighFrequency

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
(Intercept)	2.796	1	2.796	55.087	< .001
Art	2.245	2	1.123	22.115	< .001
Residuals	1.574	31	0.051		

ANOVA: eventDensity

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
(Intercept)	199.792	1	199.792	108.201	< .001
Art	68.786	2	34.393	18.626	< .001
Residuals	57.241	31	1.846		

ANOVA: spectralFluxMean

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
(Intercept)	53574.118	1	53574.118	136.310	< .001
Art	21452.088	2	10726.044	27.291	< .001
Residuals	12183.966	31	393.031		

ANOVA: spectralRolloff

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
(Intercept)	2.379×10 ⁺⁸	1	2.379×10 ⁺⁸	57.728	< .001
Art	1.476×10 ⁺⁸	2	7.382×10 ⁺⁷	17.909	< .001
Residuals	1.278×10 ⁺⁸	31	4.122×10 ⁺⁶		

ANOVA: timbral_hardness

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
(Intercept)	51478.449	1	51478.449	564.502	< .001
Art	4442.812	2	2221.406	24.359	< .001
Residuals	2826.974	31	91.193		

Abbildung 47: MANOVA Klangeigenschaften (eigene Darstellung).

Es zeigte sich, dass die Klänge der einzelnen Instrumentengruppen sich am deutlichsten durch die Merkmale *brightness* ($F = 22.115$, $p < 0,001$), *event density* ($F = 18.626$; $p < 0,001$), *spectral flux* ($F = 27.291$; $p < 0,001$), *spectral rolloff* ($F = 17.909$; $p < 0,001$), *timbral hardness* ($F = 224.359$; $p < 0,001$) am besten unterscheiden lassen.

Da die *event density* dem *spectral flux* in einem größeren Maßstab entspricht, ebenso wie der *spectral rolloff* gut mit der klanglichen *brightness* vergleichbar ist, können die

gefundenen Unterschiede auf die drei Merkmale *brightness*³²⁵³²⁶, *spectral flux*³²⁷ und *timbral hardness*³²⁸ reduziert werden.

Abbildung 48 zeigt einen 3D-Plot dieser drei Klangmerkmale und die Verortung der jeweiligen Instrumentengruppe darin.

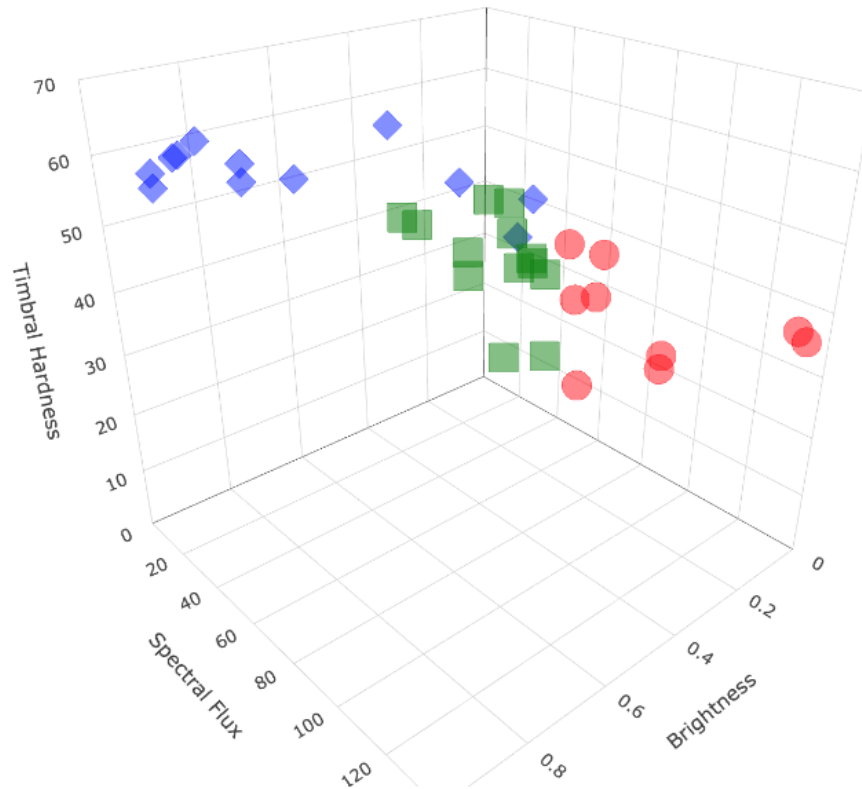


Abbildung 48: *Timbre Feature Space* der klanglichen Eigenschaften von Äolsinstrumenten. Blau / Raute = Äolsidiophone, Grün / Quadrat = Äolschordophone, Rot / Kreis = Äolsaerophone (eigene Darstellung).

Aus der gesamtheitlichen Betrachtung lassen sich folgende Schlüsse ziehen (graphische Darstellung mit Werten siehe Tabelle A 4.1 bis A 4.3 im Anhang):

- Äolsidiophone weisen die höchste *timbral hardness* (klangfarbliche Härte) und die höchste *brightness* (klangliche Helligkeit) der getesteten Gruppen auf.
- Äolsflöten weisen den höchsten *spectral flux* und die geringste klangliche Helligkeit auf.
- Äolsharfen befinden sich hinsichtlich klanglicher Härte und Helligkeit zwischen den Äolsglocken und den Äolsflöten.

³²⁵ Juslin 2000, S. 1802.

³²⁶ Bismarck 1972, S. 80.

³²⁷ Giannoulis et al. 2013, S. 719.

³²⁸ Pierce 2017, S. 6.

8.2.1 Äolsidiophone

Bei den Äolsidiophonen stellte sich die höchste klangfarbliche Härte (*timbral hardness*: 62,705–35,297), sowie die höchste Helligkeit (*brightness*: 0,081–0,989) ein (siehe Abb. 49). Der *spectral flux* bewegt sich in einem niedrigen bis mittleren, eingegrenzten Bereich (7,781–40,454). Betrachtet man die Tabelle zu *brightness* A 4.1 (im Anhang) ist es auffallend, dass die drei einstimmigen Klangbeispiele (ID: I-008, Aufschlagrohr „Heroic Windbell Grand Antique“, ID: I-004.1, Glocke 5inch) eine wesentlich niedrigere Helligkeit aufweisen als die mehrstimmigen Stimuli (0,081–0,136).

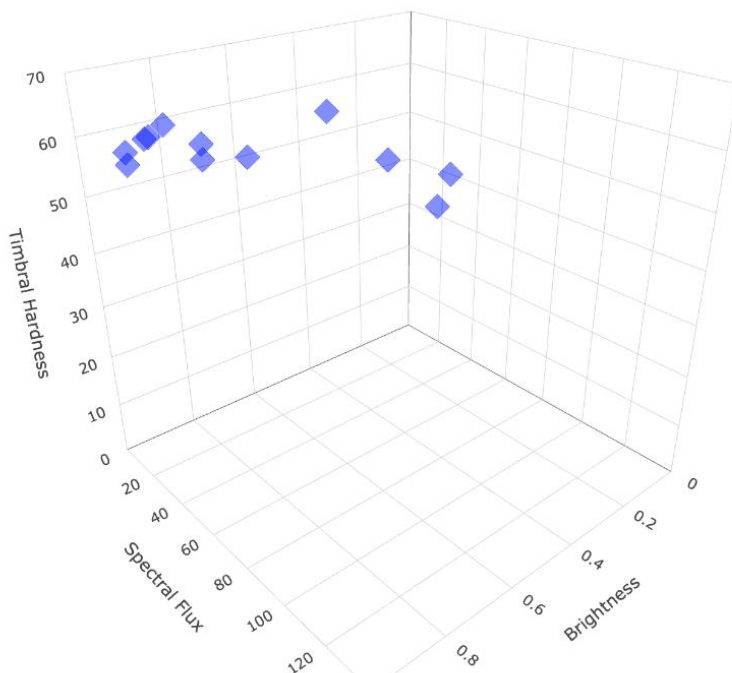


Abbildung 49: Timbre Feature Space der klanglichen Eigenschaften von Äolsinstrumenten: Blau / Raute = Äolsidiophone (eigene Darstellung).

8.2.2 Äolschordophone

Die Äolschordophone weisen das einheitlichste Klangbild der Testreihe auf (siehe Abb. 50, vgl. mit Tab. A 4.2 im Anhang). Die *timbral hardness* verortet sich im mittleren bis unteren Bereich (10,723–40,932), wobei die beiden Beispiele C-005.1 (Wert: 10,723; einfache Harfe) und C-002.1 (Wert: 11,684; Harfe Hohen-baden) als einzige Stimuli die beiden untersten Werte bilden. Der *spectral flux* bewegt sich im unteren Bereich (9,073–45,165), die *brightness* liegt im unteren bis mittleren Bereich (0,002–0,334).

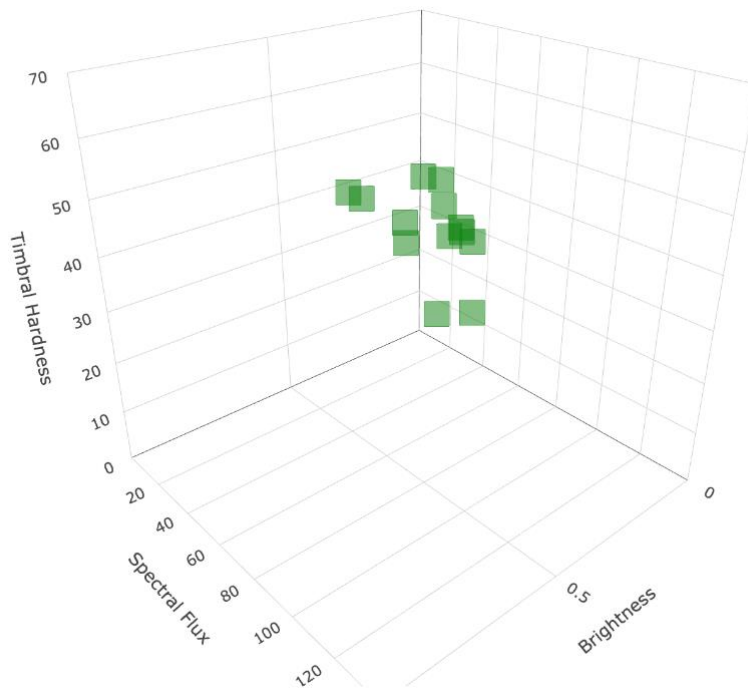


Abbildung 50: Timbre Feature Space der klanglichen Eigenschaften von Äolsinstrumenten: Grün / Quadrate = Äolschordophone (eigene Darstellung).

8.2.3 Äolsaerophone

Die analysierten Äolsidiophone weisen hinsichtlich ihrer klanglichen Brightness ein nahezu einheitliches Bild auf (siehe Abb. 51, vgl. mit Tab. A 4.3 im Anhang), die Messwerte finden sich alle im unteren Bereich (0,004-0,126). Die Werte für *spectral flux* sind bei den Äolsaerophonen wiederum die höchsten (47,704–135,3244). Hier ist anzumerken, dass die Spitzenwerte (A-005.1: 135,324; A-005.2: 131,912) durch ein Instrument erreicht wurden (beide sind Tonbeispiele von „The singing Ring Tree“). Die *timbral hardness* findet sich im mittleren bis unteren Bereich wieder (8,965–37,528), wobei das Beispiel A-001.1 (Flöte „Bambus“) als einziger Stimulus den Boden der Messergebnisse bildet.

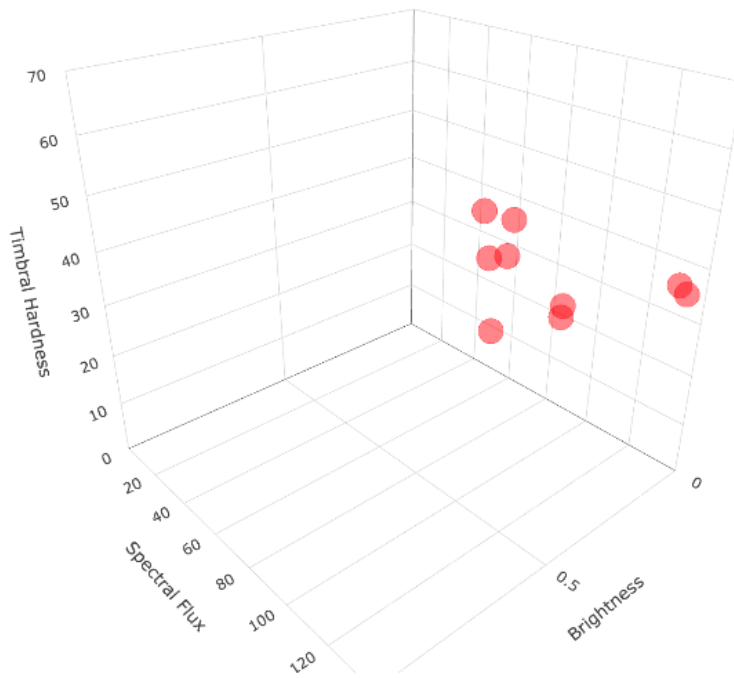


Abbildung 51: Timbre Feature Space der klanglichen Eigenschaften Äolsinstrumenten. Rot / Kreise = Äolaeophone (eigene Darstellung).

9. EMPIRISCHE STUDIE: „THE ANSWER IS BLOWING IN THE WIND“

Um ein möglichst breites Verständnis über die Klangwirkung der Äolsinstrumente und ihrer Rezeption zu erhalten, wurden dieser Arbeit ein Hörer*innenversuch angelegt, in dem über die Hörbewertungen von Proband/innen die bereits beschriebenen Tonbeispiele beurteilt wurden.

Ziel dieses Versuches ist es die zweite Forschungsfrage

Welche Klangmerkmale tragen dazu bei, dass Äolsinstrumente als besonders fremd / vertraut, hart / weich, unangenehm / angenehm, hässlich / schön oder kalt / warm empfunden werden?

zu beantworten und nach Möglichkeit zu überprüfen, ob die gesammelten Annahmen aus den Produktbeschreibungen, der Kunstliteratur und den Rezensionen mit den Ergebnissen zusammenpassen.

Zuerst wird über die Methode selbst näher eingegangen (Kapitel 9.1) und im Anschluss ausgewertet (9.2).

Die verwendeten Klangbeispiele und die Studienergebnisse sind unter <https://muwi-server.synology.me/aeolsinstrumente/> in visualisierter Form zu vorzufinden.

9.1 Methodendesign

Innerhalb einer Online-Hörbewertungsstudie wurden die 34 Tonbeispiele von 36 Versuchspersonen (♂: 16, ♀: 20, Alter: 12–75, Jahre, Mittelwert: 35,36 Jahre) auf ihre Angenehmheit, Weichheit, Wärme, Vertrautheit und Schönheit bewertet. Die Proband*innen wurden zu Beginn der Studie aufgefordert, die Lautstärke mittels eines Testtons auf einen Wert in der Nähe der Hörschwelle einzustellen, so dass für die nachfolgenden Klangbeispiele vergleichbare Lautheitsverhältnisse herrschen. Über eine Melodie bestehend aus Huggins-Pitches, die nur via Kopfhörer wahrnehmbar sind,³²⁹ wurde sichergestellt, dass die Versuchspersonen die nachfolgenden Klänge tatsächlich über Kopfhörer hörten. Die Bewertungsstudie fand anonymisiert und freiwillig statt. Die Aufgabe der Proband*innen war es jedes Tonbeispiel nach folgenden Begriffspaaren auf einer Auswahl von 0–100 bewerten, wobei 0 am meisten dem jeweils ersten Adjektiv und 100 am meisten dem jeweils zweiten Adjektiv entsprach. Folgende im Zuge der Recherche definierten Gegensatzpaare kamen zur Anwendung:

fremd – vertraut
hart – weich
kalt – warm
hässlich – schön
unangenehm – angenehm

Die Beispiele wurden in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Folgende soziodemografische Angaben wurden von den 36 Teilnehmer*innen erhoben:

9.2 Auswertung

Bei einer Korrelationsanalyse über die eingesetzten Gegensatzpaare zeigte es sich, dass einige der Skalen für die Bewertungen nahezu gleichbedeutend verwendet wurden, so dass diese auf eine einzige Skala reduziert werden konnten (Kapitel 9.2.1). Über eine MANOVA wurden anschließend die am besten abgrenzbaren Werte ermittelt, welche im Kapitel 9.2.2 näher beschrieben werden.

³²⁹ Culling 1999, S. 143.

Die Kapitel 9.2.3–9.2.5 geben Aufschluss über spezifische Zusammenhänge zwischen einzelnen Klangeigenschaften und den jeweiligen Hörer*innenbewertungen der drei Instrumentengruppen. Sämtliche Auswertungen sind im Anhang Tab. A. 6 zu finden.

9.2.1 Korrelationen innerhalb der Hörer*innenbewertungen

Erste Korrelationsanalysen³³⁰ über die Bewertungsskalen zeigen, dass die Gegensatzpaare „kalt – warm“, „hässlich – schön“ und „unangenehm – angenehm“ sehr stark miteinander korrelierten ($r > .9$; $p < 0.001$, siehe Tab. 5 und Abb. 52). Dadurch konnten diese drei Begriffspaare unter der Bezeichnung „unangenehm – angenehm“ zusammengefasst werden.

		Pearson's r	p
fremd/vertraut mean	- hart/weich mean	0.318	0.067
fremd/vertraut mean	- kalt/warm mean	0.710***	< .001
fremd/vertraut mean	- h.sslich/sch.n mean	0.842***	< .001
fremd/vertraut mean	- unangenehm/angenehm mean	0.747***	< .001
hart/weich mean	- kalt/warm mean	0.815***	< .001
hart/weich mean	- h.sslich/sch.n mean	0.692***	< .001
hart/weich mean	- unangenehm/angenehm mean	0.790***	< .001
kalt/warm mean	- h.sslich/sch.n mean	0.931***	< .001
kalt/warm mean	- unangenehm/angenehm mean	0.934***	< .001
h.sslich/sch.n mean	- unangenehm/angenehm mean	0.963***	< .001

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Tabelle 5: Korrelationen der Begriffspaare, Pearson's r = Korrelationskoeffizient, p = Signifikanz (eigene Darstellung).

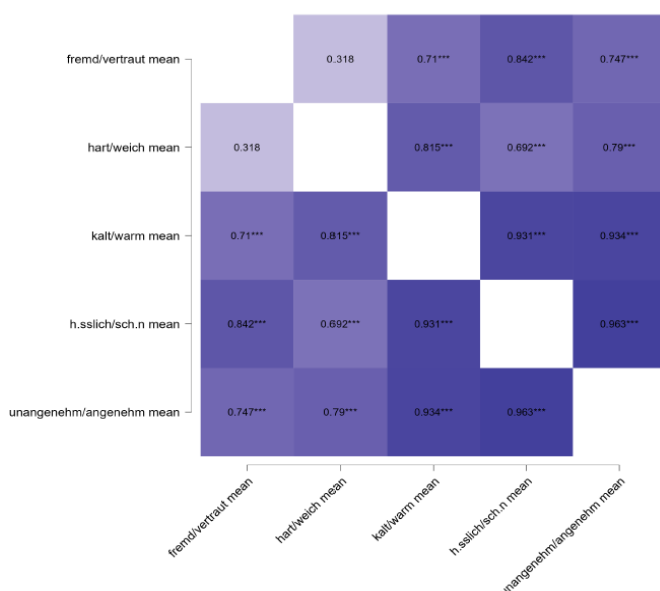


Abbildung 52: Heatmap der Korrelationen, Je dunkler das Feld, desto höher die Korrelation. Die Werte in den Feldern sind die jeweilige Korrelationskoeffiziente (eigene Darstellung).

³³⁰ Martens 2003, S. 185.

9.2.2 Hörer*innen Bewertungen gesamt

Die Bewertungen über die Gegensatzpaare haben ein nahezu einheitliches Gesamtbild ergeben. Dieses ergibt sich aus meist klaren Tendenzen in den Mittelwerten sowie den durchwegs niedrigen Standardabweichungen (zwischen 15 und 29). Über eine MANOVA³³¹ (siehe Abb. 53) wurden die eindeutigsten Unterschiede ermittelt, welche die Begriffspaare „fremd – vertraut“, „kalt – warm“ und „hässlich – schön“ beschreibt.

MANOVA: Pillai-Test						
Cases	Df	Approx. F	Trace _{Pillai}	Num df	Den df	p
(Intercept)	1	596.568	0.991	5	27.000	< .001
Art	2	7.356	1.136	10	56.000	< .001
Residuals	31					

ANOVA: fremd/vertraut mean					
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
(Intercept)	108423.529	1	108423.529	2625.427	< .001
Art	7628.248	2	3814.124	92.357	< .001
Residuals	1280.222	31	41.297		

ANOVA: hart/weich mean					
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
(Intercept)	103842.382	1	103842.382	935.451	< .001
Art	113.376	2	56.688	0.511	0.605
Residuals	3441.241	31	111.008		

ANOVA: kalt/warm mean					
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
(Intercept)	91209.441	1	91209.441	1024.241	< .001
Art	1818.984	2	909.492	10.213	< .001
Residuals	2760.575	31	89.051		

ANOVA: hässlich/schön mean					
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
(Intercept)	103842.382	1	103842.382	1131.407	< .001
Art	3577.387	2	1788.693	19.489	< .001
Residuals	2845.231	31	91.782		

ANOVA: unangenehm/angenehm mean					
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
(Intercept)	98604.735	1	98604.735	706.994	< .001
Art	2650.684	2	1325.342	9.503	< .001
Residuals	4323.581	31	139.470		

Abbildung 53: MANOVA Hörer*innenbewertung (eigene Berechnung).

³³¹ Warne 2014, S. 5.

Hinsichtlich der Vertrautheit („fremd – vertraut“) kam es zu einer klaren Abgrenzung (siehe Abb. 54): Äolsidiophone wurden als am vertrautesten wahrgenommen (Wert: 66–79; hier ist auch die Standardabweichung im niedrigeren Bereich). Gefolgt von den Äolschordophonen (Wert: 37–63) und den Äolsaerophonen (Wert: 31–53).

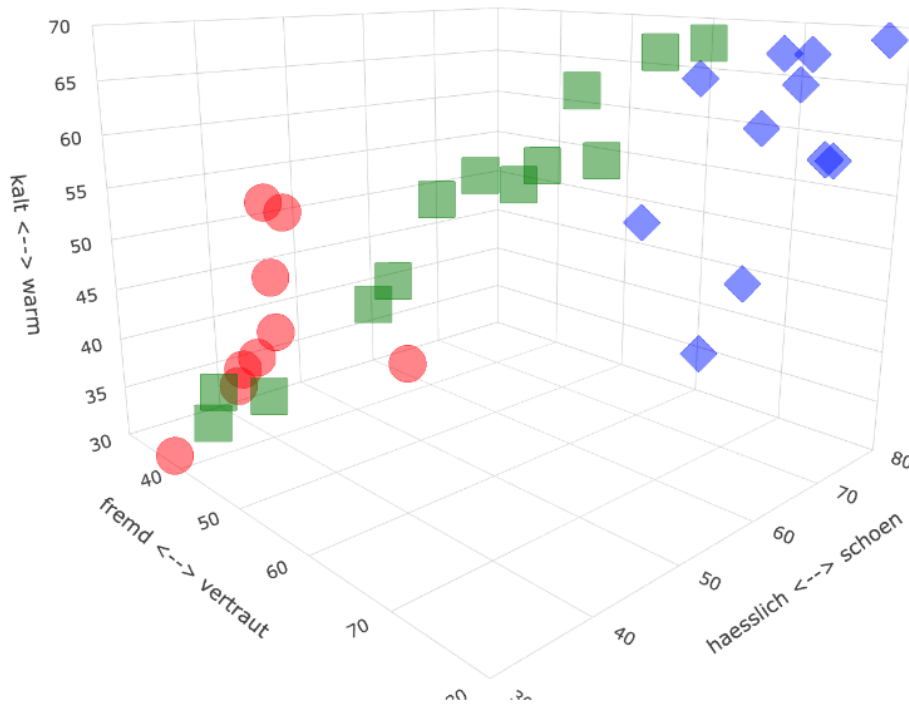


Abbildung 54: 3D Plot über die Hörer*innenbewertungen: Blau / Raute = Äolsidiophone, Grün / Quadrat = Äolschordophone, Rot / Kreis = Äolsaerophone (eigene Darstellung).

9.2.3 Klangliche Bewertung der Äolsidiophone

Bei der Korrelationsanalyse der Hörer*innenbewertungen bezogen auf die Klangeigenschaften der Äolsidiophone zeigten sich bei der Bewertung von „fremd – vertraut“ starke Zusammenhänge zwischen den Features *percussive energy*, *spectral contrast* und *majoriness* und dem Grad der Vertrautheit (siehe Abb. 55).

Durch diese Korrelationen sind folgende Aussagen möglich:

- Je stärker die Dur-Terz bzw. Terz im Spektrum vertreten ist (*majoriness* $r = 0,725$; $p = 0,012$), als desto vertrauter wird der Klang wahrgenommen.
- Je stärker die Differenz zwischen Maxima und Minima im Bereich zwischen 3200 und 6400 vorhanden ist (*spectral contrast* $r = 0,705$; $p = 0,01$), als desto vertrauter wird der Klang wahrgenommen.

- Je schwächer die *percussive energy* ($r = -0,755$; $p = 0,004$) (d.h. das Anschlagsgeräusch) im Klang vorhanden ist, als desto vertrauter wird der Klang wahrgenommen.

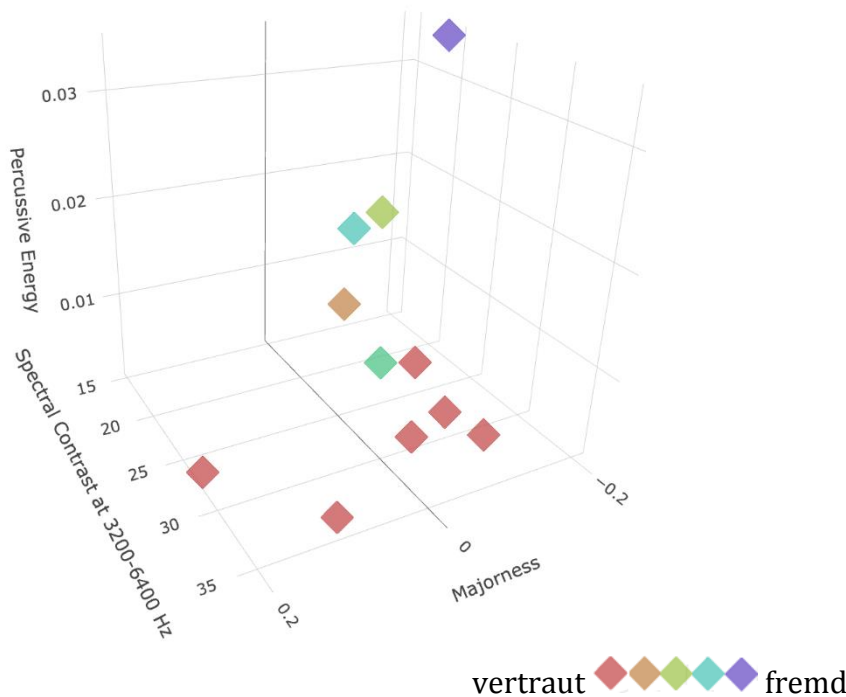
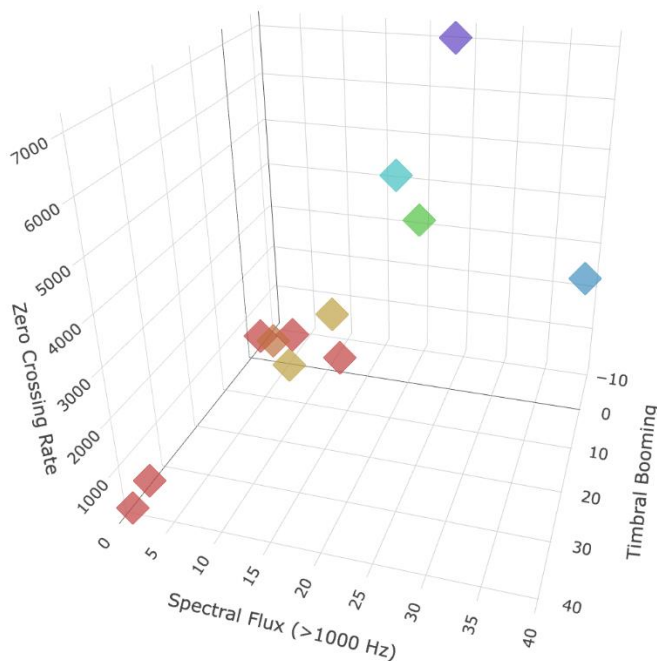


Abbildung 55: Timbre Feature Space zu Hörer*innenbewertungen der Äolsidiophone: Vertrautheit (eigene Darstellung).

Die Äolsidiophone weisen in den weiteren Korrelationsanalysen erneut eine mögliche Vereinfachung auf: Da die Skalen „hart – weich“ und „unangenehm – angenehm“ nahezu gleich verwendet wurden, konnten sie auf die Skala „angenehm – unangenehm“ reduziert werden. Hierbei zeigten die Features *spectral flux* (> 1000 Hz), *timbral booming* und *zero crossing rate* die größten Zusammenhänge mit der empfundenen Angenehmheit bzw. klanglichen Weichheit (siehe Abb. 56). So können folgende weitere Aussagen zur Rezeption der Äolsaerophon-Klänge getroffen werden:

- Je ausgeprägter das *timbral booming* ($r = 0,733$; $p = 0,007$), die *timbral depth* ($r = 0,711$; $p = 0,009$), die *timbral warmth* ($r = 0,698$; $p = 0,017$) und je geringer der *spectral flux* ($r = -0,821$; $p = 0,001$) oberhalb von 1000 Hz ist, als desto weicher wird der Klang wahrgenommen.
- Je tiefer das *spectral centroid* ($r = -0,888$; $p < 0,001$) gelegen ist, als desto weicher wird der Klang empfunden.

- Je weniger scharf (*timbral sharpness*, $p = -0,887$; $p < 0,001$) der Klang und je geringer die *zero crossing rate* ($p = 0,88$; $p < 0,001$) ist, als desto weicher wird der Klang wahrgenommen.
- Je ausgeprägter eine Tonart wahrnehmbar ist (*keystrength*, $r = 0,588$; $p = 0,044$), als desto angenehmer wird der Klang wahrgenommen.



weich / angenehm hart / unangenehm

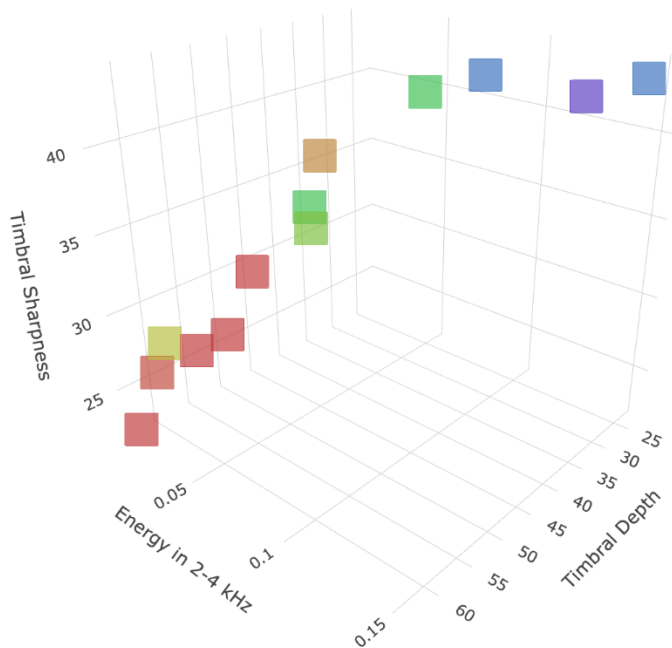
Abbildung 56: Timbre Feature Space zu Hörer*innenbewertungen der Äolsidiophone: hart – weich / unangenehm – angenehm (eigene Darstellung).

9.2.4 Klangliche Bewertung der Äolschordophone

Bei den Äolschordophonen konnten durch nahezu gleichartige Verwendung der Skalen „fremd – vertraut“, „hart – weich“ und „unangenehm – angenehm“ die Bewertung auf eine einzige Skala reduziert werden („unangenehm – angenehm“) (siehe Abb.57).

Unter den am stärksten mit den Bewertungen korrelierenden Werten lassen sich folgende Aussagen zur Angenehmheit, Vertrautheit und Weichheit von Äolschordophon-Klängen treffen:

- Je stärker die im Klang enthaltene *percussive energy* ($r = 0,805$; $p < 0,001$), desto vertrauter, weicher und angenehmer ist die Klangwahrnehmung. (hier ließe sich das Gegenteil vermuten)
- Je *mehr timbral depth* ($r = 0,815$; $p < 0,001$), *timbral warmth* ($r = 0,767$; $p = 0,002$) und tiefe spektrale Anteile (*spectral energy 150–800 Hz*, $r = 0,791$; $p = 0,001$) im Klang vorhanden sind, als desto vertrauter, weicher und angenehmer wird der Klang wahrgenommen.
- Je stärker im Klang im Laufe der Zeit eine harmonische Ähnlichkeit wiederkehrt (*chroma recurrence* $r = 0,622$; $p = 0,023$), desto vertrauter und weicher ist die Klangwahrnehmung.
- Je periodischer die Schwankungen im Klang (*pulse clarity* $r = 0,574$; $p = 0,04$) sind, als desto weicher und angenehmer wird der Klang wahrgenommen.
- Je stärker das *timbral booming* ($r = 0,664$; $p = 0,013$) ausgeprägt ist, als desto weicher und angenehmer wird der Klang wahrgenommen.
- Je ausgeprägter der erste und zweite Formant im Klang ist (*formant1*, $r = -0,873$; $p < 0,001$, *formants2*, $r = -0,788$; $p = 0,001$), desto fremder, härter und unangenehmer ist die Klangwahrnehmung.
- Je schärfer und heller der Klang in Erscheinung tritt (*timbral sharpness* $r = -0,88$; $p < 0,001$, *timbral brightness* $r = -0,87$; $p < 0,001$), desto fremder, härter und unangenehmer ist die Klangwahrnehmung.
- Je stärker der Bereich zwischen 2 und 4 kHz ausgeprägt ist ($r = -0,798$; $p = 0,001$), als desto fremder, härter und unangenehmer wird der Klang empfunden.
- Je ausgeprägter die klangliche Helligkeit (*zero crossing rate* $r = -0,858$; $p < 0,001$) ist, als desto fremder, härter und unangenehmer wird der Klang wahrgenommen



Vertraut / weich / angenehm ◆ ◆ ◆ ◆ ◆ fremd / hart / unangenehm

Abbildung 57: Timbre Feature Space zu Hörer*innenbewertungen der Äolschordophone: fremd – vertraut / hart – weich / unangenehm – angenehm (eigene Darstellung).

9.2.5 Klangliche Bewertung der Äolsaerophone

Beim Gegensatzpaar „fremd – vertraut“ zeigten sich im Falle der Äolsaerophone folgende Zusammenhänge zwischen den klanglichen Merkmalen und den Urteilen der Versuchspersonen (siehe Abb. 58):

- Je rauer der Klang ist (*roughness (Zwicker)* $r = 0,789$; $p = 0,011$), als desto vertrauter wird er wahrgenommen.
- Je mehr dissonante Anteile im Klangspektrum vorhanden sind (*dissonance* $r = -0,702$; $p = 0,035$), desto fremder erscheint der Klang.
- Je komplexer das Klangspektrum ausgeprägt ist (*spectral complexity* $r = -0,677$; $p = 0,049$), als desto fremder wird der Klang wahrgenommen.

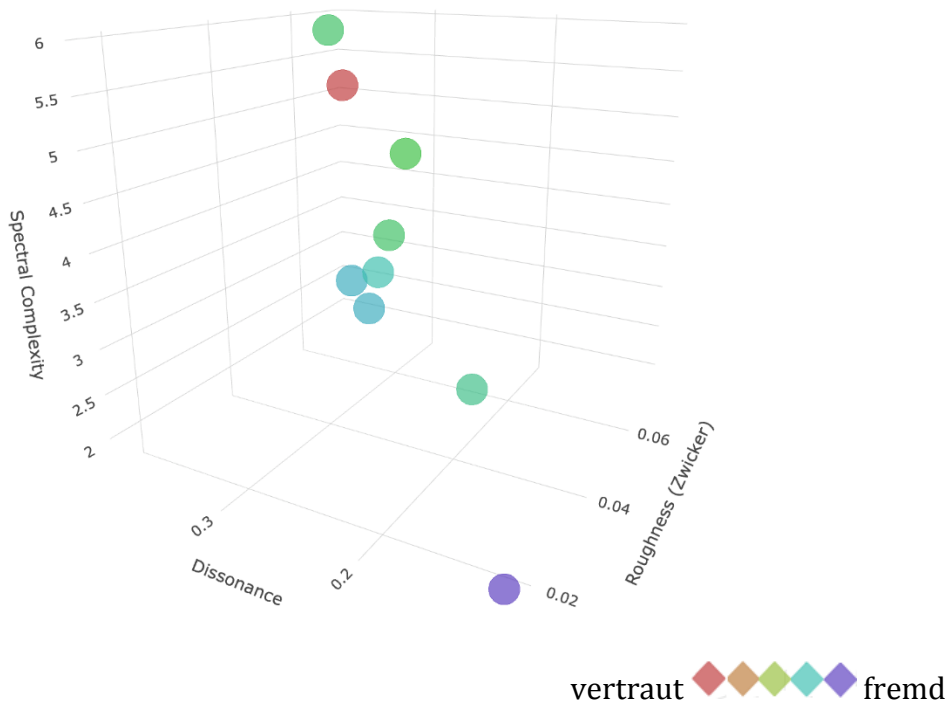


Abbildung 58: Timbre Feature Space zu Hörer*innenbewertungen der Äolsaerophone: fremd – vertraut (eigene Darstellung).

Die Korrelationen der Bewertungen von Äolsaerophonen hinsichtlich des Bewertungs-paares „hart – weich“ ermöglichen folgende Aussagen (siehe Abb. 59):

- Je mehr tieffrequente Anteile (*timbral warmth* $r = 0,887$; $p = 0,001$, *timbral depth* $r = 0,891$; $p = 0,001$, *timbral booming* $r = 0,866$; $p = 0,003$) im Klang vorhanden sind, also desto weicher wird der Klang empfunden.
- je mehr tonale Anteile im Klang enthalten sind (*harmonic energy* $r = 0,768$; $p = 0,016$), als desto weicher wird er empfunden.
- Je schärfer und rauer der Klang ist (*timbral sharpness* $r = -0,933$; $p < 0,001$, *timbral roughness* $r = -0,91$; $p < 0,001$), als desto härter wird dieser wahrgenommen.
- Je ausgeprägter der erste und zweite Formant ist, als desto härter wird der Klang wahrgenommen.

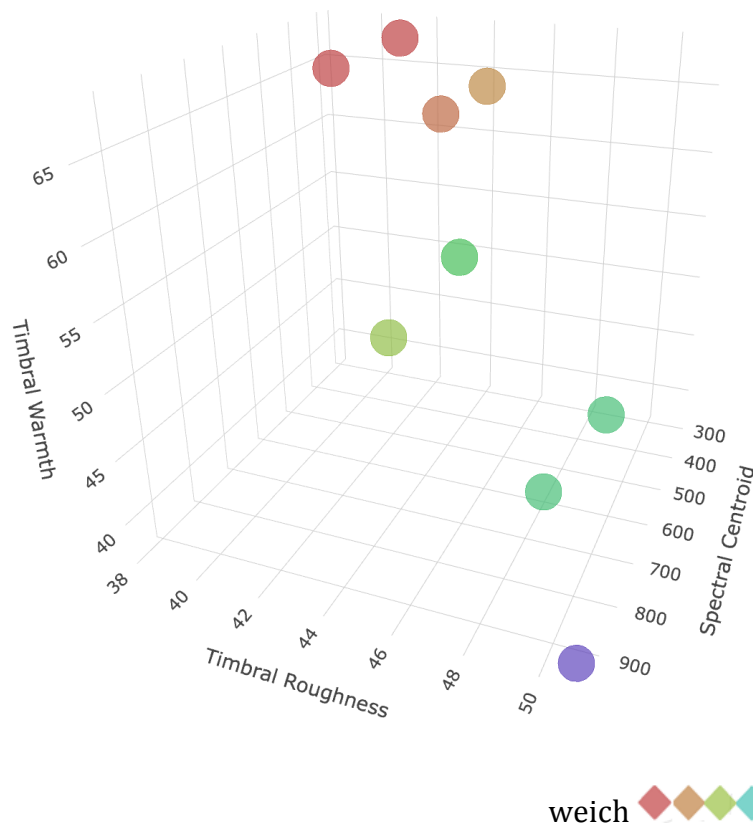


Abbildung 59: Timbre Feature Space Hörer*innenbewertungen zu Äolsaerophone: hart – weich (eigene Darstellung).

Die Korrelationsanalysen zur Bewertung der Klänge von Äolsaerophonen hinsichtlich des Begriffspaares „unangenehm – angenehm“ (siehe Abb. 60) lassen folgende Schlüsse zu:

- Je mehr tieffrequente Anteile (geringer *fundamental peak* $r = -0,837$; $p = 0,005$, *timbral warmth* $r = 0,874$; $p = 0,002$, *timbral depth*, $r = 0,691$; $p = 0,039$) im Spektrum vorhanden sind, als desto angenehmer wird der Klang empfunden.
- Je ausgeprägter der erste Formant (*formants1* $r = -0,731$; $p = 0,025$) und die klanglichen Mitten (*spectral contrast* $r = -0,761$; $p = 0,01$) sind, als desto angenehmer wird der Klang wahrgenommen.

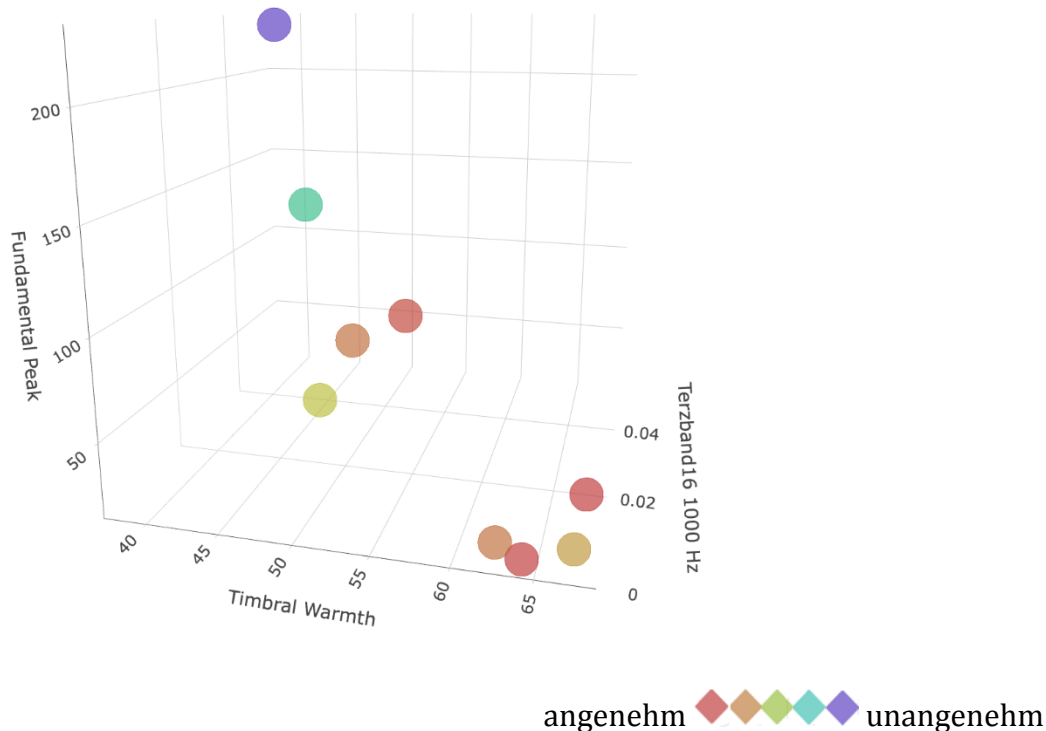


Abbildung 60: Timbre Feature Space zu Hörer*innenbewertungen der Äolsaerophone: unangenehm – angenehm (eigene Darstellung).

9.3 Angenommene Klangeigenschaften im Spiegel der ermittelten Audiomerkmale

Bei der gemeinsamen Betrachtung der vorliegenden klanglichen Bewertungen und den Annahmen der Klangeigenschaften aus Produktbeschreibungen, Literatur und Rezensionen lassen sich die ermittelten Features auf die klanglichen Annahmen übertragen. Die Annahmen lassen sich wie folgt interpretieren:

fremd (vs. vertraut)

Da keine Annahmen zur Klangbeschaffenheit von Äolsidiophonen hinsichtlich ihrer Fremdheit gefunden wurden, fällt dies aus der Betrachtung.

Für die Äolschordophone kann angenommen werden, dass

- je weniger *timbral depth / warmth* und tiefe spektrale Anteile (*spectral energy 150–800 Hz*) vorhanden sind,
- je schärfer der Klang ist (*timbral sharpness / brightness*),
- je stärker der Bereich zwischen 2 und 4 kHz hervortritt,

desto eher wird der Klang als *geheimnisvoll* und *staunenswert* beschrieben.

Für die Äolsaerophone kann angenommen werden, dass

- je weniger rau (*roughness (Zwicker)*) der Klang ist,
- je mehr dissonante Anteile im Spektrum (*dissonance*) vorhanden sind,
- je komplexer das Klangspektrum (*spectral complexity*) ist,

desto eher wird der Klang als *kryptisch* und *seltsam* bezeichnet.

hart (vs. weich):

Für die Äolsidiophone kann angenommen werden, dass

- je ausgeprägter das *timbral booming, depth, warmth* ist,
- je tiefer das *spectral centroid* gelegen ist,
- je geringer der *spectral flux* oberhalb von 1000 Hz ist,

desto eher wird der Klang als *weich* und *glatt* beschrieben.

Für die Äolschordophone kann angenommen werden, dass

- je schärfer und heller der Klang ist (*timbral sharpness / brightness*),
- je stärker der Bereich zwischen 2 und 4 kHz und die *zero crossing rate* ausgeprägt sind,

desto eher wird der Klang als herzerreißend und obertonreich beschrieben. Und

- je mehr tiefe spektrale Anteile (*timbral depth / warmth*),
- je periodischer die Schwankungen im Klang enthalten sind,

desto eher wird der Klang als *langsam, traurig, schwermütig* beschrieben.

Für die Äolsaerophone kann angenommen werden, dass

- je schärfer und rauer der Klang ist (*timbral sharpness/roughness*),
- je ausgeprägter der zweite Formant ist,

desto eher wird der Klang als *lärmend* beschrieben.

unangenehm (vs. angenehm)

hässlich (vs. schön)

kalt (vs. warm)

Da bei den Hörer*innenbewertungen die Begriffspaare „hässlich – schön“, „kalt – warm“ und „unangenehm – angenehm“ so stark miteinander korrelierten, können für die Adjektivzuweisungen dieselben Features angenommen werden. Somit ergeben sich folgende Interpretationen:

Für die Äolsidiophone kann angenommen werden, dass

- je ausgeprägter eine Tonart wahrnehmbar ist (*keystrength*),

desto eher wird der Klang als *heiter, dezent, angenehm, reich im Klang, blühend und friedlich* beschrieben.

Für die Äolschordophone kann angenommen werden, dass

- je stärker der Bereich zwischen 2 und 4 KHz und die *zero crossing rate* ausgeprägt sind,

desto eher wird der Klang als *wahnsinnig, schauerhaft, geisterhaft, lispelnd und elektronisch* beschrieben und

- je mehr tiefe spektrale Anteile (*spectral energy 150 – 800 Hz, timbral depth/warmth*) im Klang vorhanden sind,
- je periodischer die Schwankungen im Klang (*pulse clarity*) sind,

desto eher wird der Klang als *angenehm* und *feierlich* beschrieben.

Für die Äolsaerophone kann angenommen werden, dass

- je weniger tieffrequente Anteile (niedrige *fundamental peak* und *timbral warmth / depth*) vorhanden sind,

desto eher wird der Klang als *gespenstisch, gruselig, launenhaft, unheimlich, sonorer, höher im Klang* und *hypnotisierender* beschrieben und

- je mehr tiefe spektrale Anteile (*timbral depth / warmth*),

desto eher wird der Klang als *schön* und *majestätisch* beschrieben.

Bei allen Interpretationen ist zu beachten, dass hier von Oberbegriffen (z.B. „fremd“) auf damit zusammenhängende Adjektive (z.B. *geisterhaft, staunenswert*) geschlossen wird, sodass eine Einordnung der Annahmen möglich ist. Dieses Vorgehen erweist sich nicht in allen Fällen als ganz schlüssig, da gewisse Ausdrücke in sich schon mehrere Möglichkeiten der Deutung bergen (z.B. Ist *glatt* als „hart“ oder „weich“ einzuordnen?). Da für die meisten Adjektive eine Einordnung klar möglich ist, lässt die gegebenen Darstellung dennoch schlüssige Interpretationen zu.

10. CONCLUSIO

10.1 Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit ermöglicht einen übersichtlichen und praktischen Einblick in die Welt der von Wind betriebenen Instrumente. Darüber hinaus konnte sie hinsichtlich der klanglichen Eigenheiten dieser Instrumentengruppe weitere Erkenntnisse erbringen und bestehende Annahmen zum großen Teil bestätigen.

Die große Begeisterung für Äolsinstrumente, welche auf die Qualität ihrer oft als „gespenstisch“ oder „herzzerreißend“ bezeichneten Klänge zurückzuführen sein könnte, wirft die für diese Arbeit zentrale Forschungsfrage auf:

Was sind die typischen Klangmerkmale von Äolsinstrumenten und worin unterscheiden sich jene?

Zur Beantwortung dieser Frage wurden zuerst Annahmen zu der Beschaffenheit der Klänge aus Produktbeschreibungen, Kunstliteratur und aktuellen Rezensionen entnommen und für den im Zuge der Arbeit durchgeführten Hörer*innenversuch in gegensätzlichen Begriffspaaren geordnet. Im Zuge dieser Einordnung wurde eine zweite spezifischere Forschungsfrage formuliert:

Welche Klangmerkmale tragen dazu bei, dass Äolsinstrumente als besonders fremd / vertraut, hart / weich, unangenehm / angenehm, hässlich / schön oder kalt / warm empfunden werden?

In einer Audio-Signalanalyse äolstypischer Klänge konnten eine Vielzahl an Werten gewonnen werden. Mithilfe einer weiteren Korrelationsanalyse des beschriebenen Hörer*innenversuchs und der Ergebnisse der Signalanalyse konnten die zur Beantwortung relevanten Werte ermittelt werden.

Der Vergleich der korrelierenden Klang-Features zeichneten ein klares Bild und bietet die Möglichkeit zur klaren Unterscheidung der Äolsinstrumentenarten:

- Äolsidiophone weisen die höchste *timbral hardness* (klangfarbliche Härte) und gleichzeitig die höchste *brightness* (klangliche Helligkeit) der getesteten Gruppen auf.
- Äolsflöten weisen den höchsten *spectral flux* und die geringste klangliche Helligkeit auf.

- Äolsharfen befinden sich hinsichtlich ihrer klanglichen Härte und Helligkeit zwischen den Äolsglocken und den Äolsflöten.

In vorliegender Darstellung werden die Ergebnisse der Analysen im Detail samt dem vollen Ausmaß der möglichen Unterscheidungsmerkmale zwischen den Äolsinstrumentengruppen vorgestellt.

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage verhält es sich vor allem wegen der Vielzahl an Termini um einiges komplexer. Hier konnten durch weitere Korrelationsanalysen und durch Zusammenfassungen von stark korrelierenden Begriffspaaren, folgende Zusammenhänge zusammengefasst werden:

fremd (vs. vertraut)

- Je ausgeprägter *spectral flux* ($r = -0,547$; $p < 0,001$), *timbral booming* ($r = -0,454$; $p = 0,007$) und *timbral depth* ($r = -0,463$; $p = 0,006$) vorhanden sind, als desto fremder wird der Klang wahrgenommen.
- Je mehr tiefe spektrale Anteile im Spektrum vorhanden sind (*spectral energy 150 – 800 Hz* $r = -0,469$; $p = 0,005$), als desto fremder wird der Klang wahrgenommen.
- Je heller (*brightness* $r = 0,66$; $p < 0,001$), härter und schärfer (*timbral hardness* $r = 0,626$; $p < 0,001$, *timbral sharpness* $r = 0,598$; $r < 0,001$) der Klang ausgeprägt ist, als desto vertrauter wird er wahrgenommen.

hart (vs. weich)

- Je höher der *spectral flux* ($r = -0,546$; $p = 0,001$) und die *dynamic complexity* ($r = -0,391$; $p < 0,022$) im Klang vorhanden sind, desto härter ist der Höreindruck
- Je schärfer (*timbral sharpness*, $r = -0,47$; $p = 0,005$) und heller (*timbral brightness*, $r = -0,0486$; $p = 0,004$) der Klang ist, desto härter wird er wahrgenommen.
- Je formantenhaltiger (*formants1* $r = -0,481$; $p = 0,004$, *formants2* $r = -0,464$; $p = 0,006$; *formants3* $r = -0,442$; $p = 0,009$) der Klang ist, als desto härter wird er wahrgenommen.
- Je ausgeprägter das *timbral booming* ($r = 0,472$; $p = 0,005$) / *timbral depth* ($r = 0,515$; $p = 0,002$) und tiefe spektrale Anteile (*spectral energy 150–800 Hz*, $r = 0,422$; $p = 0,013$) vorhanden sind, als desto weicher wird der Klang empfunden.

- Je stärker die harmonische Ähnlichkeit über die Zeit (*croma recurrence* $r = 0,351$; $p = 0,042$) und je größer der Anteil von Terzen und Quinten im Spektrum (*tonnetz harmonicity strength* $r = 0,048$; $p = 0,048$), als desto weicher wird der Klang empfunden.

unangenehm (vs. angenehm)

hässlich (vs. schön)

kalt (vs. warm)

Da bei den Hörer*innenbewertungen die Begriffspaare „hässlich – schön“, „kalt – warm“ und „unangenehm – angenehm“ so stark miteinander korrelierten, können die resultierenden Aussagen zusammengefasst werden. Die jeweiligen Negativ- und Positiv Konnotationen werden als „unangenehm – angenehm“ gedeutet:

- Je stärker die Anteile bei 800 bis 1000 Hz vorhanden sind (*rmsTerzband16 1000 Hz* $r = -0,552$; $p < 0,001$, *rmsOktavband6 1000 Hz* $r = -0,393$; $p = 0,021$, *rmsTerzband15 1000 Hz* $r = -0,382$; $p = 0,026$), als desto unangenehmer wird der Klang empfunden.
- Je höher der *spectral flux* ($r = -0,373$; $p = 0,03$) und die Ereignisdichte im Klang (*event density* $r = -0,385$; $p = 0,025$) sind, desto unangenehmer ist die Hörwahrnehmung.
- Je mehr Terzen und Quinten im Klang vorhanden sind (*tonnetz harmonicity strength* $r = 0,469$; $p = 0,005$), als desto angenehmer wird der Klang empfunden.

Hinsichtlich der Bewertung der Annahmen aus Produktbeschreibungen, Kunstliteratur und aktuellen Rezensionen kann festgestellt werden, dass diese zum großen Teil mit den allgemeinen Aussagen der Proband*innen übereinstimmen. Für einige Vergleiche erweist sich die spezifische Klangbewertung der jeweiligen Instrumentengruppen als geeigneter als die Allgemeinaussagen. (vor allem bei den Betrachtungen des Gegensatzpaare „unangenehm – angenehm“).

10.2 Diskussion und Ausblick

Zur Diskussion können nach Betrachtung der Erkenntnisse und Ergebnisse einige Themen gelangen:

Der Terminus Äolsinstrument als gesamtheitliche Kategorie im musikwissenschaftlichen Diskurs ist nur zum Teil etabliert. Möglich ist hierbei eine tiefgreifende theoretische Auseinandersetzung mit der Frage, ab wann etwas als ein Instrument oder ein Musikautomat gedeutet werden kann (siehe hierzu Beiträge von Krieger³³² und Simon³³³). Ist ein von Wind angeregtes Instrument ein Musikautomat, oder doch als ein eigenständiges Instrument anzusehen? Oder gar als beides? Damit einhergehend wäre eine gesamtheitliche und vollständige Betrachtung (möglicherweise in Form einer Datenbank) der Instrumentengruppe, hinsichtlich ihrer gesamten Organologie und Vorkommen in den hier genannten Bereichen sicherlich ein lohnendes Unterfangen. Für die Äolsharfen gibt es bereits eine ähnliche umfassende Forschung von Walter Windisch-Laube (2004).³³⁴ Vor allem der Blick über die Grenzen Europas wäre für ein Projekt wie dieses sicherlich sehr aufschlussreich, da die hier angeführte Literatur ihren Fokus im europäischen Raum hat.

Hinsichtlich des analytischen Teils lässt sich festhalten, dass in Produktbeschreibungen, Kunstliteratur und aktuellen Rezensionen weit mehr mögliche Aussagen zur Rezeption von Äolsinstrumenten zur Verfügung stehen. Die hier ausgewählten Annahmen stellen nur eine Stichprobe aus möglichen Beschreibungen dar. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt könnte demnach eine möglichst vollständige Analyse aus Klangzuschreibungen von Äolsinstrumenten aller verfügbaren Bereiche sein – zwar mit einer ähnlichen Fragestellung wie in dieser Arbeit, jedoch wesentlich differenzierter (z.B.: „Welche Klangeigenschaften sind dafür verantwortlich, dass Äolsidiophone besonders heiter klingen?“, „Klingen Äolschordophone tatsächlich geisterhaft?“ oder „Wie unterscheiden sich die Klangmerkmale der verschiedenen Äolsharfen und spiegeln diese die Entwicklung in der Kunstliteratur wider?“)

³³² Krieger 1997, S. 59.

³³³ Simon 1980, S. 16.

³³⁴ Windisch-Laube 2004

Letztendlich lässt sich festhalten, dass die vermeintlich unbekannten Äolsinstrumente weit mehr zu bieten haben, als es einfach im Garten aufgehängte Windspiele vermuten lassen.

LITERATUR

Printquellen

Ahrens, Christian: „Harmonium“ in: Valentin, Erich (Hrsg.) *Handbuch der Musikinstrumentenkunde*, Kassel: Bosse 2004, S. 277.

Armengaud, Christine: *Musiques éoliennes*, Paris: Dessain et Tolra 1983.

Apel, Willi: *Harvard Dictionary of Music*, Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press, 2000 (21).

Barkowsky, Johannes: *Einführung in die musikalische Akustik*, Bd. 2, Wilhelmshaven: Florian Noetzel Verlag, 2015.

Bäuerle, Erich: „Physikalische Gesichtspunkte bei der Tonbildung an Windharfen-Saiten“, in Minnsen, Mins / Krieger, Georg / Bäuerle, Erich / Pilipczuk, Alexander / Hagen, Jürgen (Hrsg.) *Äolsharfen. Der Wind als Musikant*, Frankfurt am Main: Erwin Bochinsky 1997, Fachbuchreihe Das Musikinstrument; Bd. 64, S. 89–139.

Benade, Arthur H.: *Fundamentals of musical acoustics*, New York / London / Toronto: Oxford University Press, 1976.

Bismarck, Gottfried: *Extraktion und Messung von Merkmalen der Klangfarbenwahrnehmung stationärer Schalle*, in *Sonderforschungsbereich 50 „Kybernetik“*, München 1972.

Blades, James & Holland, James: „Tubular Bells“ in: Edie, Stanley & Tyrrell, John (Hrsg.), *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, 2. Auflage, Bd. 25, London: Macmillan Publishers 2001, S. 866–867.

Blades, James & Holland, James: „Wind Machine“ in: Edie, Stanley & Tyrrell, John (Hrsg.), *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, 2. Auflage, Bd. 27, London: Macmillan Publishers 2001, S. 434.

Bocur, Voichita: *Handbook of Materials for Wind Musical Instruments*, Melbourne: Springer 2019.

Bocur, Voichita: *Handbook of Materials for String Musical Instruments*, Melbourne: Springer 2016.

Bogdanov, Dmitry / Wack, Nicolas / Gómez, Emilia / Gulati, Sankalp / Herrera, Perfecto / Mayor, Oscar / Roma, Gerard / Salomon, Justin / Zapata, José / Serra, Xavier: „Essentia: An Audio Analysis Library for Music Information Retrieval“, in *Proceedings of the 14th ISMIR Conference*, Curitiba 2013, S. 493–498.

Bonner, Stephen: „The history and organology of the Aeolian harp“, in ders. (Hrsg.) *Aeolian Harp*, Vol. 2, Cambridge: Bois de Boulogne 1970.

Bonner, Stephen & Davies, M. G.: „The acoustics of the aeolian harp: Supplement to volumes 1-3“, in Bonner, Stephen (Hrsg.) *Aeolian Harp*, Vol. 4 (1st ed), o.O.: Bois de Boulogne 1974.

Brauers, Jan: *Von der Äolsharfe zum Digitalspieler. 2000 Jahre mechanische Musik 100 Jahre Schallplatte*, München: Klinkhardt & Biermann 1984.

Bröcker, Marianne: „Äolsharfe“ in: Ludwig, Finscher (Hrsg.) *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, 2. Auflage, Sachteil Bd. 1, Kassel u.a.: Bärenreiter / Stuttgart, Weimar: Metzler 1994, Sp. 671–675.

Brown, Andrew: „The Aeolian harp in European literature. 1591-1892“ in Bonner, Stephen *Aeolian Harp*, Cambridge: Bois de Boulogne 1970.

Brown, Howard & Mayer, Frances Palmer: „Chordophone“ in: Edie, Stanley & Tyrrell, John (Hrsg.), *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, 2. Auflage, Bd. 5, London: Macmillan Publishers 2001, S. 763–765.

Brown, Howard & Mayer, Frances Palmer: „Idiophone“ in: Edie, Stanley & Tyrrell, John (Hrsg.), *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, 2. Auflage, Bd. 12, London: Macmillan Publishers, 2001, S. 73–74.

Buchner, Alexander: *Mechanische Musikinstrumente*, Hanau / Main: Werner Dausien 1992.

Bucht, Gunnar: *Aeolian harp: An essay concerning the nature of tone*. O.O.: Peter Lang 2012.

Chapinal-Heras, Diego: *Experiencing Dodona. The Development of Epirote Sanctuary from Archaic to Hellenistic Times*, Berlin / Boston: De Gruyter 2021.

Chambers, Stephen. „An Annotated Catalogue of Historic European Free-Reed Instruments from My Private Collection.“, in *Michaelsteiner Konferenzberichte. Harmonium und Handharmonika*, 1999 (62): 181–194.

Chladni, Ernst Florens Friedrich: *Die Akustik*, Leipzig: Breitkopf & Härtel 1830.

Chladni, Ernst Florens Friedrich: *Entdeckungen über die Theorie des Klangs*, Leipzig: Weidmanns Erben & Reich 1787.

Chulling, John F.: „The existence region of Huggins' pitch“, in *Hearing Research*, Vol. 127, Issues 1–2, 1999, S. 143–148.

Czedik-Eysenberg, Isabella: *Semantische Modellierung wahrnehmungspsychologischer Musikdimensionen auf Basis von akustischen Signaleigenschaften*, Dissertation Universität Wien 2021.

Della Porta, Giambattista: *Magia Naturalis 1*, Nürnberg 1715.

Della Porta, Giambattista: *Magia Naturalis 1*, Maurer, Felix (Hrsg.), Nürnberg 1713.

DeVale, Sue Carole / Bo, Lawergren / Rimmer, Joan/ Evans, Robert / Taylor, William / Bordas, Cristina / Fulton, Cheryl Ann / Schechter, John M. / Thym-Hochrein, Nancy / Devaere, Hannelore / McMaster, Mary: „Tubular Bells“ in: Edie, Stanley / Tyrrell, John (Hrsg.), *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, 2. Auflage, Bd. 10, London: Macmillan Publishers, 2001, S. 881–892.

Ellerhorst, Winfried: *Handbuch der Glockenkunde. Die akustischen, technischen und künstlerischen Grundlagen sowie die Geschichte und Pflege der Glocken*, in Klaus, Gregor (Hrsg.), Weingarten: Verlag der Martinus-Buchhandlung 1957.

Fastl, Hugo & Zwicker, Eberhard: *Psychoacoustics: Facts and Models*, Berlin: Springer 1999.

Fink, Gottfried Wilhelm: „Recensionen“, in *Allgemeine Musikalische Zeitung* 32 (6. August 1828), S. 529–530.

French, R.M.: „A POP BOTTLE AS A HELMHOLZ RESONATOR“, in *Experimental techniques*, Vol. 29(3), Bethel: Springer Nature 2005, S. 67–68.

Fletcher, Neville H. & Rossing, Thomas D.: *The physics of musical instruments*, Bd. 2, New York: Springer 2000.

Gál, Bernhard: „Klangkunst“, in Hiekel, Jörn Peter & Utz, Christian (Hrsg.): *Lexikon Neue Musik*, Stuttgart: J.B. Metzler, S. 337–341.

Gathy, August: „Aeolodikon, Aeoline, Aeolodion“, in: ders. (Hrsg.) *Musikalisches Conversations-Lexikon. Encyclopädie der gesamten [sic] Musik-Wissenschaft für Künstler, Kunstfreunde und Gebildete*, Bd. 2, Hamburg: Niemeyer 1840, S. 7.

Giannoulis, Dimitros / Massberg, Michael / Reiss, Joshua D.: „Parameter Automation in a Dynamic Rage Compressor“, in *Journal of the Audio Engineering Society* 61(10) 2013, S. 716–726.

Goethe, Johann Wolfgang: *Faust. Der Tragödie Erster und Zweiter Teil*, Tübingen: Cotta 1808 (erster Teil) / Stuttgart: Cotta 1832 (zweiter Teil), Nachdruck: Reclam 2020.

Guggenheimer, Heinrich W.: *Tractate Berakhot: Edition, Translation, and Commentary*. Berlin, Boston: De Gruyter, 2000.

Hagen, Jürgen: „Bericht über Bau und Klang neuer Äolsharfen“, in Minnsen, Mins / Krieger, Georg / Bäuerle, Erich / Pilipczuk, Alexander / Hagen, Jürgen (Hrsg.) *Äolsharfen. Der Wind als Musikant*, Frankfurt am Main: Erwin Bochinsky 1997, Fachbuchreihe Das Musikinstrument; Bd. 64, S. 199–211.

Hankins, Thomas L. & Silverman, Robert J.: „The Aeolian Harp and the Romantic Quest of Nature“ in: ders. (Hrsg.) *Instruments and the Imagination*, Princeton: Princeton University Press, 2014, S. 86–112.

Hall, Donald E.: *Musikalische Akustik. Ein Handbuch*, Mainz: Schott Music 2008.

Hatano, S. & Hashimoto, T.: „Booming index as a measure for evaluating booming sensation“, in *Proceedings of the 29th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering (internoise2000) 27-30 August 2000, Nice FRANCE*, 2000, S. 1–6.

Heise, Birgit: „Schlaginstrumente“, in: Valentin, Erich (Hrsg.) *Handbuch der Musikinstrumentenkunde*, Kassel: Gustav Bosse Verlag 2004, S. 299–326.

Heise, Birgit: „Vibraphon“ in: Finscher, Ludwig (Hrsg.) *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, 2. Auflage, Sachteil Bd. 9, Kassel u.a.: Bärenreiter / Stuttgart, Weimar: Metzler 1994, Sp. 1472–1474.

Hoffmann, Ernst Theodor Amadeus: *Lebensansichten des Kater Murr. Nebst fragmentarischer Biographie des Kapellmeisters Johannes Kreisler in zufälligen Makulaturblättern*, Berlin / Leipzig in zwei Bänden 1820/1822 (1819/1821), Nachdruck: Anaconda 2021.

Hofmann, Johann Jakob: „ÆOLIUM Instrumentum“, in *Joh. Jacobi Hofmanni ... lexicon universale: historiam sacram et profanam omnis aevi, omniumque gentium; chronologiam ad haec usque tempora; geographiam et veteris et novi orbis; principum per omnes terras familiarium ... tum mythologiam, ritus, caerimonias ... explanans. 1 Literas A,B,C continens*, Lugduni Batavorum: Hackius, Botesteyn, Vander Aa, Luchtmans 1698, S. 88–89.

Holland, James: „Mallet“ in: Edie, Stanley & Tyrrell, John (Hrsg.), *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, 2. Auflage, Bd. 15, London: Macmillan Publishers 2001, S. 706.

Holland, James: „Wind Chime“ in: Edie, Stanley & Tyrrell, John (Hrsg.), *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, 2. Auflage, Bd. 27, London: Macmillan Publishers 2001, S. 432–433.

Holland, James: *Practical percussion. A guide to the instruments and their sources*. Lanham: Scarecrow Press 2005.

Hornbostel, von Erich M. & Sachs, Curt: „Systematik der Musikinstrumente. Ein Versuch“, in *Zeitschrift für Ethnologie* 1914 (46), S. 553–590.

Juslin, Patrick N.: „Cue utilization in Communication of Emotion in Music Performance: Relating Performance to Perception“ in *Journal of experimental psychology. Human perception and performance* 26(6) 2000, S. 1797–1813.

Kastner, Georges: *La Harpe d'Éole et la musique cosmique: Études sur les rapports des phénomènes sonores de la nature avec la science et l'art. Suivies de Stéphen ou La Harpe d'Éole grand monologue lyrique avec choers. (Paroles de Francis Maillan, musique de G. Kastner)*, Paris / u.a.: Brandus / u.a. 1856.

Kircher, Athanasius: *Musurgia Universalis sive ars magna consoni et dissoni in X libros digesta*, Rom 1650.

Kircher, Athanasius: *Neue Hall und Thonkunst*, übersetzt von Carione, Agatho, Reprint nach dem Original aus dem Jahr 1684, Hannover: Schäfer 1983.

Keylin, Vadim: „Unauthored Music and Ready-Made Landscapes: Aeolian Sound Sculpture“, in *Gli spazi della musica* 4/2 2015, S. 68–85.

Költzsch, Peter: „Von den Äolstönen bis zur Strouhal-Zahl. Eine Einführung in die Geschichte der Strömungsakustik“ in Deutsche Gesellschaft für Akustik (Hrsg.): *Schriftreihe zur Geschichte der Akustik* (Heft 5), Berlin: Pro BUSINESS 2014.

Klotz, Hans: *Das Buch von der Orgel. Über Wesen und Aufbau des Orgelwerkes, Orgelpflege und Orgelspiel*, Kassel: Bärenreiter 1938.

Krabath, Stefan: „Porzellan – Asien inspiriert Europa“, in *Archäologie in Deutschland* 2018 (4), S. 36–39.

Krieger, Georg: „Windharfe und Musik“, in Minnsen, Mins / Krieger, Georg / Bäuerle, Erich / Pilipczuk, Alexander / Hagen, Jürgen (Hrsg.): *Äolsharfen. Der Wind als Musikant*, Frankfurt am Main: Erwin Bochinsky 1997, Fachbuchreihe Das Musikinstrument; Bd. 64, S. 57–89.

Lartillot, Olivier / Toiviainen, Petri / Eerola, Tuomas: „A Matlab Toolbox for Music Information Retrieval“, in Preisach Christine (Hrsg.): *Data Analysis, Machine Learning and Applications*, Berlin / Heidelberg: Springer 2008, S. 261–268.

Lartillot, Olivier: „Minigsuite: A comprehensive Matlab framework for signal, audio and music analysis“, in *Proceedings of the 16th SMC*, Malaga 2019, S. 489.

Lartillot, Olivier: „MIRtoolbox 1.8.1: User's Manual“, in *MIRAGE project*, Oslo 2021.

Laurier, Cyril et al.: „Indexing music by mood: design and integration of an automatic content-based annotator“, in *Multimedia tools and applications*, Vol. 48(1) 2010, S. 161–184.

Lawergren, Bo / Iowa-Winter, Sylvia / Kubik, Gerhard / Schwörer-Kohl, Gretel: „Harfen“ in: Finscher, Ludwig (Hrsg.) *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, 2. Auflage, Sachteil Bd. 4, Kassel u.a.: Bärenreiter / Stuttgart, Weimar: Metzler 1994, Sp. 39–115.

Lehr, André / Gimm, Martin / Hickmann, Ellen / Kubik, Gerhard: „Glocken und Glockenspiele“ in: Finscher, Ludwig (Hrsg.) *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, 2. Auflage, Sachteil Bd. 3, Kassel u.a.: Bärenreiter / Stuttgart, Weimar: Metzler 1994, Sp. 1420–1481.

Lichtenberg, Georg Christoph: „Von der Äolsharfe“, in ders. (Hrsg.): *Göttinger Taschen Kalender für das Jahr 1792*, Göttingen 1972, S. 137–145.

Mansfield, Jonathan: „The design and construction of an Aeolian harp“ in Bonner, Stephen (Hrsg.) *Aeolian Harp*, Vol. 1, Cambridge: Bois de Boulogne 1968.

Martin, Dr. erv: „Les Pigeons Eoliens de Pékin“, in *La Nature, Revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie*, Paris 1893.

Martens, Jul: *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows*, zweite Auflage, München / Wien: R. Oldenbourg 2003.

Meyer, Jürgen: *Akustik und musikalische Aufführungspraxis. Leitfaden für Akustiker, Tonmeister, Musiker, Instrumentenbauer und Architekten* Bd. 6, Bergkirchen: PPVMEDIEN 2015.

McFee, Brian / Raffel, Colin / Liang, Dawen / Ellis, Daniel P.W. / McVicar, Matt / Battenberg, Eric / Nieto, Oriol: "librosa: Audio and Music Signal Analysis in Python", in *Proceedings of the 14th python in science conference*, Austin 2015, S. 18–25.

Minnsen, Mins: „Die Windharfe als Stimme der Natur. Eine Kulturgeschichte“, in Kremer Armin / Stäudle Lutz (Hrsg.): *Natur – Umwelt – Unterricht. Zwischen sinnlicher Erfahrung und gesellschaftlicher Bestimmtheit*, Marburg: Redaktionsgemeinschaft Soznat 1993 (Kritisches Forum Naturwissenschaft und Schule, Bd. 6), S. 53–84.

Mitchell, Clark: „Chinese Instruments in de Galupin Collection of the Museum of Fine Arts, Boston, with a Focus on Sound Makers“, in *The Galpin Society Journal*, Vol 95, 2006, S. 207–216, 262–265.

Montague, John: „Windharp“, in MacMonagle, Niall (Hrsg.): *Windharp. Poems of Ireland since 1916*, UK / u.a.: Penguin Books 2015, S. 86.

Morse, Philip M: *Vibration and Sound*, New York: American Inst. of Physics for the Acoustical Society of America 1981.

Moule, Christopher Arthur: „A List of the Musical and Other Sound-Producing Instruments of the Chinese“, in *Journal of the North-China branch of the Asiatic Society*, Vol XXXIX 1908, S. 105–106.

Owen, Barbara / Williams, Peter / Bucknell, Stephen: „Organ“ in: Edie, Stanley / Tyrrell, John (Hrsg.), *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, 3. Auflage, Bd. 27, London: Macmillan Publishers 2001, S.565–650.

Pierce, Andy / Brookes, Timothy / Manson, Russel: „Timbral attributes for sound effect library searching“ in *Semantic Audio 2017. Proceedings of the International Audio Engineering Society Conference, June 22–24 2017* 2017, S. 1–8.

Pilipczuk, Alexander: „Zur Instrumentengeschichte der Windharfe unter besonderer Berücksichtigung des Hamburger Herstellers Wilhelm Peter Melhop (1802–1868)“ in Minnsen, Mins / Krieger, Georg / Bäuerle, Erich / Pilipczuk, Alexander / Hagen, Jürgen (Hrsg.) *Äolsharfen. Der Wind als Musikant*, Frankfurt am Main: Erwin Bochinsky 1997, Fachbuchreihe Das Musikinstrument; Bd. 64, S. 139–198.

Plomp, R. & Levelt, W.J.M.: „Tonal Consonance and Critical Bandwidth“, in: *Journal of the Acoustical Society of America* 1965, S. 548–560.

Prince, Percival: „Bells“ in: Edie, Stanley / Tyrrell, John (Hrsg.), *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, 3. Auflage, Bd. 1, London: Macmillan Publishers 2001, S. 169–183.

Rabenstein, Rudolf / Koch, Tilman / Popp, Christian: „Tubular Bells: A Physical and Algorithmic Model“, in *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, Vol 18 (4) 2010, S. 881–890.

Rombouts, Luc: „Carrilon“ in: Edie, Stanley / Tyrrell, John (Hrsg.), *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, 2. Auflage, Bd. 5, London: Macmillan Publishers 2001, S. 128–134.

Reuter, Christoph / Plitzner, Michael / Roos, Marik / Czedik-Eysenberg, Isabella / Weber, Veronika / Siddiq, Saleh / Oehler, Michael / Rupp, Andreas: „Geläute heute – Automatisch extrahierte Audiomerkmale zur Klangbeurteilung von läutenden Glocken“, in *3. Glockensymposium ECC-ProBell 20.–21. September 2022 Konferenzbericht*, Göttingen: Cuvillier Verlag 2022, S. 202–211.

Rossing, Thomas D.: „Acoustics of Tuned Handbells“, in *Overtones*, 27(1), 1981, S. 4–10.

Rossing, Thomas D.: *Science of percussion instruments*, Singapore: World Scientific Publishing 2008.

- Rossing, Thomas D. & Moore, Richard F. / Wheeler, Paul A.: *The Science of Sound*, San Francisco u.a.: Addison Wesley 2002(3).
- Riewe, F.: „Aeolodion, Aeolodikon, Aeoline“, in: ders. (Hrsg.) *Handwörterbuch der Tonkunst. Sachlich und biografisch*, Bd. 1, Münster: Bertelsmann 1879, S. 10.
- Sachs, Kurt: *Real-Lexikon der Musikinstrumente. Zugleich ein Polyglossar für das gesamte Instrumentengebiet*, Hildesheim: Olms 1962 (Nachdruck der Ausgabe Berlin 1913).
- Schumann, Robert: „12 Etuden für Pianoforte von Friedrich Chopin“, in *Neue Zeitschrift für Musik*, Leipzig, Dezember 22, 1837, S. 199–200.
- Schwörer-Kohl, Gretel & Kubik, Gerhard: „Xylophone“ in: Finscher, Ludwig (Hrsg.) *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, 2. Auflage, Sachteil Bd. 9, Kassel u.a.: Bärenreiter / Stuttgart, Weimar: Metzler 1994, Sp. 2099–2022.
- Shen, Sinyan: „Das Glockenspiel im alten China“, in Winkler, Klaus (Hrsg.): *Die Physik der Musikinstrumente*, Heidelberg / Berlin: Spektrum 1998(2).
- Simon, Ernst: *Mechanische Musikinstrumente früherer Zeiten und ihre Musik*, Wiesbaden: Breitkopf & Härtel 1980.
- Simon, Peter: „Die Hornbostel-Sachs'sche Systematik der Musikinstrumente. Merkmalarten und Merkmale“, in *Instrumentenbau* 1994 (5), S. 64.
- Stauder, Wilhelm: *Einführung in die Akustik*, in Schaal, Richard (Hrsg.): *Taschenbücher der Musikwissenschaft* (22), Wilhelmshaven: Heinrichshofen 1976.
- Steppat, Michael: „Grundlagen der Schwingungs- und Wellenlehre. Schwingungen in Platten und Stäben“ in: Reuter, Christoph / Auhagen, Wolfgang (Hrsg.) *Kompendien Musik. Musikalische Akustik*, Bd. 16, Laaber: Laaber-Verlag 2014, S. 55.
- Tanhaef, Peter: „Nachwort“, in: ders. (Hrsg.): *Äolsharfen-Romantik. Eine Blütenlese von Beschreibungen, Gedichten, Prosa, Reflexionen, Bildern, Musik*, Berlin: Noack & Block / Frank & Timme 2017.
- Tagore, Sourindro Mohun: *Yantra Kosha or treasury of the musical instruments of ancient and of modern India and of various other countries*, Kalkutta: Aubhoi Churun Ghose 1875.
- Tzanetakis, George & Cook, Perry: „Multifeature audio segmentation for browsing and annotation“, in *Proceedings of the 1999 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio Acoustics. WASPAA'99 (Cat. No.99TH8452)* 1999, S. 103–106.
- Vassilakis, Pantelis N.: „SRA: A Web-based Research Tool for Spectral and Roughness Analysis of Sound Signals“, in *Proceedings of the 4th Sound and Music Computing (SMC) Conference, July 11–13 2007, Lefkada, Greece* 2007, S. 319–325.
- Walter, Matthias: „Klangbildung und Klangwirkung – Beobachtungen zum Einfluss des technischen Umfelds auf die Glockenmusik“, in Rupp, Andreas / Plitzner, Michael (Hrsg.): *2. Glockensymposium ECC-Pro-Bell 21.–22.März 2018 Konferenzbericht*, Göttingen: Cuvillier Verlag 2018, S. 45–74.
- Warne, Russell: „A Primer on Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) for Behavioral Scientists“, in *Practical Assessment, Research and Evaluation*: Vol. 19, Article 17, 2014, S. 1–10.
- Weissenböck, Andreas & Pfundner, Joseph: *Tönendes Erz. Die abendländische Glocke als Toninstrument und die historischen Glocken in Österreich*, in Institut für österreichische Kunstforschung des Bundesdenkmalamt (Hrsg.), Graz / Köln: Verlag Hermann Böhlaus Nachf. 1961.

Wegner, Ulrich & Michel, Andreas: „Zithern“ in: Finscher, Ludwig (Hrsg.) *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, 2. Auflage, Sachteil Bd. 9, Kassel u.a.: Bärenreiter / Stuttgart, Weimar: Metzler 1994, Sp. 2412–2466.

Online-Quellen

Art. „Aeoliphone“ (2014), in *Grove Music Online*, <https://doi.org/10.1093/gmo/9781561592630.article.L2267666>, letzter Zugriff am 22.03.2023.

Art. „Blas“ (2014), in *Grove Music Online*, <https://doi.org/10.1093/gmo/9781561592630.article.03248>, letzter Zugriff am 22.03.2023.

Britannica, T. Editors of Encyclopaedia: „wind-bell.“ *Encyclopedia Britannica*, September 23, 2013. <https://www.britannica.com/art/wind-bell>.

Davies, Hugh: Art. „Sound sculpture“ (2001), in *Grove Music Online*, <https://doi.org/10.1093/gmo/9781561592630.article.47630>, letzter Zugriff am 20.07.2023.

Libin, Laurence: Art. „Aeolian (aerophones)“ (2014), in *Grove Music Online*, <https://doi.org/10.1093/gmo/9781561592630.article.L2267664>, letzter Zugriff am 22.03.2023.

Libin, Laurence: Art. „Äolsklavier“ (2014), in *Grove Music Online*, <https://doi.org/10.1093/gmo/9781561592630.article.L2261360>, letzter Zugriff am 29.03.2023.

Wahl, Uli, Kite Musical Instruments & Aeolian Musical Instruments: <http://www.windmusik.com/>, letzter Zugriff am 25.04.2023.

Website von Aeolian Harps (Musik): <https://open.spotify.com/intl-de/track/5Uiumrk-ZkWvM10ss7z92iL?si=840b06a010a94e01>, letzter Zugriff am 18.07.2023.

Website von Aeolian Soundmap: www.aeoliansoundmap.co.uk, letzter Zugriff am 25.05.2023.

Website von Feines Werkzeug: <https://www.feines-werkzeug.de/>, letzter Zugriff am 15.06.2023.

Website von Grizedale Forest Sculpture Park: <https://grizedaleforestsculpturepark.wordpress.com/aeolian-flutes/>, letzter Zugriff am 27.04.2023.

Website von Harmony Harps: <https://harmonywindharps.com/>, letzter Zugriff am 26.04.2023.

Website von Hochzeitstaubenservice Deubelli: <https://hochzeitstauben-deubelli.jimdofree.com/>, letzter Zugriff am 21.07.2023.

Website von Jonas Vorwerk: <https://jonasvorwerk.nl/>, letzter Zugriff am 15.06.2023.

Website von US Bells: www.usbells.com, letzter Zugriff am 26.04.2023.

Website von Vent de Guitars <https://ventdeguitares.com>, letzter Zugriff am 25.05.2023.

Website von Woodstock Chimes: <https://chimes.com/>, letzter Zugriff am 26.04.2023.

Website von Stadtwiki Baden <https://www.stadtwiki-baden-baden.de/wiki/Windharfe/>, letzter Zugriff am 27.04.2023.

Audio Quellen

Oppermann, Rüdiger: *Wind Songs*, CD, Germany: Klangwelten KW 20038, 2013.

Winfield, Roger: *Windsongs – The Sound of Aeolian Harps*, CD, UK: Saydisc CD-SDL 394, 1991.

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Gegenüberstellung Begriffe Idiophone (eigene Tabelle) S. 29

Tab. 2: Abhängigkeit der Frequenz und der jeweiligen Wellenlänge in einem frei gelagerten Balken (aus: Rossing 2008, S. 48).32

Tab 3: Frequenzen f der Stimmungsmoden m als Verhältnis zur Frequenz der Mode $m = 1$ bei Stab oder Balken. Der Grundton f_0 wird geliefert von der ersten Mode und ist hier gleich 1 gesetzt. (eigene Tabelle, Werte aus: Barkowsky 2015, S. 81, Hinweis: bei Barkowsky sind hier die Spalten vertauscht)33

Tab. 4: Verhältnisse der Eigenschwingungen der ersten acht Moden (n) von dünnen Stäben (Thin rod) bzw. Rohren (Tube) (Rossing 2008, S. 69).37

Tabelle 5: Korrelationen der Begriffspaare, Pearsons's r = Korrelationskoeffizient, p = Signifikanz (eigene Darstellung).....88

Tab. A.1: Stimuli Beschreibung (Fortsetzung von vorherigen Seiten).....118

Tab. A.2: Stimuli, Herkunft.....119

Tab. A.3: Extrahierte Audiosignale, Werte in **fett** wurden für die Arbeit verwendet.....123

Tab. A.4.1: Klangliche Eigenschaften von Äolsinstrumenten: brightness; Hinweis: alle Instrumente mit dem Präfix „H“ sind Äolschordophone, welche in der ID- Ordnung unter „C“ zu finden sind, nach Juslin 2000 und Bismarck 1972.....124

Tabelle A.4.2: Klangliche Eigenschaften von Äolsinstrumenten: spectral flux, Hinweis: alle Instrumente mit dem Präfix „H“ sind Äolschordophone, welche in der ID- Ordnung unter „C“ zu finden sind, nach Giannoulis / Massberg / Reiss 2013.....125

Tab. A.4.3: Klangliche Eigenschaften von Äolsinstrumenten: Timbral Hardness, Hinweis: alle Instrumente mit dem Präfix „H“ sind Äolschordophone, welche in der ID- Ordnung unter „C“ zu finden sind, nach Pierce 2017.....126

Tabelle A.6: Korrelationen Hörer*innenbewertung und Klangeigenschaften-Gesamt.....129

Tabelle A.7: Korrelationen Hörer*innenbewertung und Klangeigenschaften-Äolsidiophone.....130

Tabelle A.8: Korrelationen Hörer*innenbewertung und Klangeigenschaften-Äolschordophone.....131

Tabelle A.9: Korrelationen Hörer*innenbewertung und Klangeigenschaften-Äolsaerophone.....133

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: hölzerner Resonanzkasten (ABCD) mit aufgespannten Saiten auf zwei Bündeln (KI, V), Metallring (S) und drei Resonanzöffnungen (Kircher 1650, Buch 7, S. 352).	14
Abbildung 2: Luftstrom (E) wird durch die geöffneten Türen (BCDEFV) über den Kasten (K) zum mit Saiten bespannten Resonanzkasten (OR) geleitet, dieser ist über ein Brett (SN) am Kasten angebracht (Kircher 1684, S. 106).	14
Abbildung 3: Röhrenkonstruktion (EAFLM) mit integriertem, versteckten Saiteninstrument (IKGH). Der Wind dringt in die Röhre von der rechten Seite ein, regt das Saiteninstrument an und erzeugt somit vermeintlich versteckte Klänge Die Konstruktion dreht sich auf dem Untergestell (V) mit dem Wind (Kircher 1684, S. 104).	15
Abbildung 4: Blendwerk fliegender Fisch wird durch den Wind (A) angeregt, welcher in die Mundöffnung (B) strömt und dort das versteckte Saiteninstrument (VB) anregt. (Kircher 1650, Buch 7, S. 354).	15
Abbildung 5: sechs Typen der Äolsharfe: a. horizontal, einchörig, rechteckig, populärstes Modell in England bis 1803; b. horizontal, einchörig, rechteckig, mit geneigten Resonanzboden, ebenso populär, nur in England; c. vertikal, einchörig, rechteckig, verwendet von Kircher, Jones, Melhop; d.: vertikal, doppelchörig, rechteckig, mit Flügel zur Luftverstärkung, verwendet von Steudal und Dietz; e. vertikal, einchörig, halbrund, bekannt in der Schweiz; f. vertikal, zwei-bis dreichörig, dreieckig, populär in Frankreich (Bonner 1970, S. 27).	17
Abbildung 6: Feng Zheng (mit zerstörter Bambussehne) und Yaoqin, ca. 19.Jhdt., aus der Sammlung Galpin (Clark 2006, S. 265).	19
Abbildung 7: Darstellung einer Taube mit Taubenflöte und Taubenflötenformen (Martin 1893, S. 29).	20
Abbildung 8: Flugdrache „großer Drache mit Gong“, die Windschaukeln befinden sich links und rechts neben der Flötenspielerdarstellung, die Gongs befinden sich hinter dem Drachen (Armengaud 1983, S. 37).	25
Abbildung 9: Flugdrache „Layang Layang“, die schwingende Saite ist im hinteren Bereich des Drachen angebracht und ragt bis zum oberen Ende (Armengaud 1983, S. 46).	27
Abbildung 10: Flugdrache Cai Sao, die Flöte ist über den Drachen angebracht (Armengaud 1983, S. 34).	28
Abbildung 11: Die ersten vier Eigenschwingungen eines frei gelagerten Stabs mit gleichmäßig verteilter Masse und gleichmäßigem Querschnitt, bei angepasstem Querschnitt verschieben sich auch die Schwingungsknoten (aus: Hall 2008, S. 176).	32
Abbildung 12: Die ersten vier Eigenschwingungen eines an einem Ende eingespannten Stabs mit gleichmäßig verteilter Masse und gleichmäßigem Querschnitt (aus: Hall 2008, S. 174).	34
Abbildung 13: Konvertieren eines Rohres in eine Platte (Rabenstein/Koch/Popp 2010, S. 882).	35
Abbildung 14: Knotenlinien der ersten acht Moden einer quadratischen Platte mit eingespannten Ecken. Relative Frequenzen sind unter den Darstellungen angegeben, über den Darstellungen sind die Schwingungsformen indexiert (z.B. 1,0 = 1 Mode in x-Achse, 0,1 = 1 Mode in y-Achse) (Fletcher 1998, S. 87).	36
Abbildung 15: drei-dimensionale Darstellung der ersten vier Moden einer rechteckigen Platte. Pfeile zeigen auf die jeweilige Knotenlinie (Morse 1976, S. 180).	36

Abbildung 16: Schwingungsmoden einer runden Platte: m = Anzahl radialer Knotenlinien, n = Anzahl kreisförmiger Knotenlinien, f =Frequenzmultiplikation. Die weiß und rot gekennzeichneten Felder entsprechen den Bereichen jeweils entgegengesetzter Schwingung (Shen 1998, S. 122).	38
Abbildung 17: Tabelle der Schwingungsmoden einer Handglocke. Unter jeder Zeichnung sind die relativen modalen Frequenzen einer C5- Handglocke bezeichnet. Die Zahlen in der Klammer (jeweils links unten m,n) bezeichnen die Anzahl der meridianen Knoten, n und die Anzahl der Kreisknoten m . Die unterste Reihe zeigt die dazugehörigen Ansichten von oben mit ihren Randbiegungen in den entsprechenden Moden (Fletcher & Rossing 1998, S. 694).	39
Abbildung 18: Durch holographische Interferenz visualisierte Eigenschwingungszustände einer Handglocke in verschiedenen Frequenzen. Knotenlinien werden durch die hellen Linien gezeigt, die Zentren der Ringe entsprechen den Punkten mit der maximalen Amplitude = Schwingungsbäuche (Rossing & Moore 2002, S. 304).	40
Abbildung 19: Schematische Darstellung von Randbiegungen einer in Schwingung gebrachten Glocke in der 4. ($m = 4$) und der 6. ($m = 6$) Mode, der Punkt zeigt den Aufschlagpunkt an (Shen 1998, S. 123., Hinweis: diese Darstellung widerspricht sich mit der Darstellung von Fletcher & Rossing 1998 – die Modenanzahlen stimmen nicht überein)	40
Abbildung 20: Rippenformen der Hauptglockentypen: Sextglocke, Septimglocke, Oktavglocke, Nonglocke (Weissenböck & Pfunder 1961, S. 34).	41
Abbildung 21: Teile der Glocke (Ellenhorst & Klaus 1957, S. 61).	42
Abbildung 22: Windspiel „Flourish Chime – Sun“, Aufschlagstäbe aus Aluminium ID: I-001 / „Chimes of the Forest – Cocoa“, Aufschlagstäbe aus Holz ID: I-002 (aus: Website von Woodstock Chimes, letzter Zugriff am 26.04.2023).	45
Abbildung 23: Windspiel eigenes Exemplar Aufschlagrohre Aluminium ID: I-003 (eigenes Bild): Windspiel „Natural Ring Bamboo“ Aufschlagrohre Bambus ID: I-007 (Website von Woodstock Chimes, letzter Zugriff am 26.04.2023).	46
Abbildung 24: Aeolsidiophon (Windspiel), schematische Darstellung (eigenes Bild).	47
Abbildung 25: Windglocke 7“, Aufschlagglocke ID: I-004, sowie Windspiel „Furin“ ID: I-010 (aus: Website von US-Bells, letzter Zugriff am 26.04.2023; Website von Feines Werkzeug, letzter Zugriff am 26.04.2023).	48
Abbildung 26: Schematische Darstellung Windglocken mit Klöppel und Aufschlagholz (eigene Darstellung).	49
Abbildung 27: Die vier ersten Eigenschwingungen einer idealisierten Saite. Volle und gestrichelte Linien stellen die jeweiligen maximalen Auslenkungen dar, jeweils eine halbe Schwingungsdauer auseinander. Bei den Knotenpunkten N treten keine Auslenkungen auf (Hall 2008, S. 192).	52
Abbildung 28: Bewegungsablauf einer Saite in zwölf Stationen. Die Saite wurde bei $4/5$ ihrer Länge angeregt (Barkowsky 2015, S. 99).	52
Abbildung 29: Die ersten drei Moden einer in der Mitte gezupften Saite (oben) und einer bei $4/5$ ihrer Länge gezupften Saite (unten). In oben gezeigter Darstellung taucht der Teilton $2f_0$ nicht auf (Amplitude gleich null), da er an die Anzupfstelle inmitten des regulären Knotenpunktes der entsprechenden Mode ist (Barkowsky 2015, S. 97).	53

Abbildung 30: Schwingungen einer Violinen-Decke mithilfe von Interferenz-Holographie visualisiert. Helle und dunkle Streifen sind die Konturkanten der Schwingungsamplituden. Folgende Schwingungszustände sind gezeigt: 540 Hz, 775 Hz, 800 Hz, 980 Hz. (Hall 2008, S. 216).	55
Abbildung 31: typischer Dulcimer (Fletcher/Rossing 1998, S. 333).	56
Abbildung 32: Knotenlinien einer kleinen Harfe bei tiefer, mittlerer und hoher Frequenz. Die drei linken Darstellungen zeigen die Knotenlinien eines Resonanzbodens ohne Aufhängeleiste, die drei rechten Beispiele zeigen Knotenlinien mit Aufhängeleiste (Fletcher & Rossing 1998, S. 339).	57
Abbildung 33: Bildung einer Kármán'schen Wirbelstraße hinter einem Kreiszylinder. Rauch wurde der Luftströmung von links nach rechts zur Visualisierung beigelegt (Bäuerle 1997, S. 102).	59
Abbildung 34: Schematische Darstellung einer Kármán'schen Wirbelstraße hinter einem Kreiszylinder mit dem Durchmesser D und der Anströmgeschwindigkeit V . Die Strömung erzeugt in der vom Wind abgewandten Seite des Hindernisses gegensinnig drehende Wirbel mit den Abständen a und Reihenabständen h . Lt. Th. von Kármán stehen die Wirbel bei einer stabilen Anordnung im Verhältnis von $h/a = 0,28$ (Bäuerle 1997, S. 104).	59
Abbildung 35: Nachbau einer Melhop Windharfe (einchörig), Front- und Rückansicht (Hagen 1993, S. 207).	62
Abbildung 36: Nachbau einer Melhop Windharfe (einchörig), mit abgenommenem Trichter, im Detail (Hagen 1993, S. 208).	62
Abbildung 37: Bauzeichnung einer Melhop-Windharfe von Wilfried Zimmermann (Krieger 1993, S. 63).	63
Abbildung 38: Windharfe Schloss Hohenbaden (aus Website von Stadtwiki Baden, letzter Zugriff am 27.04.2023).	64
Abbildung 39: CD-Cover von „Wind Songs“ Front- und Rückseite.	65
Abbildung 40: Luftstrom (L) trifft auf Kernspalte (K) am Labium einer Blockflöte. M ist die Mündung (Barkowsky 2015, S. 117).	67
Abbildung 41: Ein Strahl (V_{St}) strömt mehr auf eine Seite und drängt somit andere Fluidteilchen von der Schneide. Einige dieser Teilchen strömen auf den Ausgangsstrahl zurück (V_a) und lenken diesen auf die andere Seite, wo sich dieser Vorgang wie-derholt (Hall 2008, S. 247).	67
Abbildung 42: Luftstromregulierung in einer Flasche durch kontinuierliches Anblasen (Benade 1976, S. 490).	68
Abbildung 43: λ = Wellenlänge der Schalldruckfunktion $p(t)$. λ ist doppelt so lang wie die physikalische Länge des Resonators (Barkowsky 2015, S. 119).	69
Abbildung 44: Schwingungsfähige Obertonreihen von $\lambda/2$ -Schwingern (links) und $\lambda/4$ -Schwingern (rechts) (Barkowsky 2015, S. 121 + 122).	71
Abbildung 45: Drei Äolspfeifen, ID: A-001 (aus: Website von Grizendale Forest Sculpture Park, letzter Zugriff am 27.04.2023).	73
Abbildung 46: Fertigungsskizze für Windorgel (aus: Website von Wahl, letzter Zugriff am 27.04.2023).	73
Abbildung 47: MANOVA Klangeigenschaften (eigene Darstellung).	82

Abbildung 48: Timbre Feature Space der klanglichen Eigenschaften von Äolsinstrumenten. Blau / Raute = Äolsidiophone, Grün / Quadrat = Äolschordophone, Rot / Kreis= Äolsaerophone (eigene Darstellung).	83
Abbildung 49: Timbre Feature Space der klanglichen Eigenschaften von Äolsinstrumenten: Blau / Raute = Äolsidiophone (eigene Darstellung).	84
Abbildung 50: Timbre Feature Space der klanglichen Eigenschaften von Äolsinstrumenten: Grün / Quadrate = Äolschordophone (eigene Darstellung).	85
Abbildung 51: Timbre Feature Space der klanglichen Eigenschaften Äolsinstrumenten. Rot / Kreise = Äolsaerophone (eigene Darstellung).	86
Abbildung 52: Heatmap der Korrelationen, Je dunkler das Feld, desto höher die Korrelation. Die Werte in den Feldern sind die jeweilige Korrelationskoeffiziente (eigene Darstellung).	88
Abbildung 53: MANOVA Hörer*innenbewertung (eigene Berechnung).	89
Abbildung 54: 3D Plot über die Hörer*innenbewertungen: Blau / Raute = Äolsidiophone, Grün / Quadrat = Äolschordophone, Rot / Kreis = Äolsaerophone (eigene Darstellung).	90
Abbildung 55: Timbre Feature Space zu Hörer*innenbewertungen der Äolsidiophone: Vertrautheit (eigene Darstellung).	91
Abbildung 56: Timbre Feature Space zu Hörer*innenbewertungen der Äolsidiophone: hart – weich / unangenehm – angenehm (eigene Darstellung).	92
Abbildung 57: Timbre Feature Space zu Hörer*innenbewertungen der Äolschordophone: fremd – vertraut / hart – weich / unangenehm – angenehm (eigene Darstellung).	94
Abbildung 58: Timbre Feature Space zu Hörer*innenbewertungen der Äolsaerophone: fremd – vertraut (eigene Darstellung).	95
Abbildung 59: Timbre Feature Space Hörer*innenbewertungen zu Äolsaerophone: hart – weich (eigene Darstellung).	96
Abbildung 60: Timbre Feature Space zu Hörer*innenbewertungen der Äolsaerophone: unangenehm – angenehm (eigene Darstellung).	97

ANHANG

A.1 Stimuli Beschreibung

Instrument ID	Filename	Instrument	Material	Ort	Erbauer
A-001.1	A-001.1_opt.wav	Flöte	Bambus	Dilston Physic Garden, UK	Dan Fox
A-002.1	A-002.1_opt.wav	Flöte "Windorgel Vlissingen"	Bambus	Vlissingen, NL	Raphael Augusts Opstaele
A-002.2	A-002.2_opt.wav	Flöte "Windorgel Vlissingen"	Bambus	Vlissingen, NL	Raphael Augusts Opstaele
A-002.3	A-002.3_opt.wav	Flöte "Windorgel Vlissingen"	Bambus	Vlissingen, NL	Raphael Augusts Opstaele
A-003.1	A-003.1_opt.wav	Flöte "Ko-Ling"	Bambus	Internet	unbekannt
A-004.1	A-004.1_opt.wav	Flöte "Cai-Sao"	Bambus	Internet	unbekannt
A-005.1	A-005.1_opt.wav	Flöte "The Singing Ring Tree"	Stahl	Burnley UK	Tonkin Liu
A-005.2	A-005.2_opt.wav	Flöte "The Singing Ring Tree"	Stahl	Burnley UK	Tonkin Liu
A-006.1	A-006.1_opt.wav	Flöte "Aeolus at Eden"	Stahl	Cornwall UK	Luke Jerram
C-001.1	H-001.1_opt.wav	Kastenzither Melhop	Nylonsaiten	Internet	Klangach
C-002.1	H-002.1_opt.wav	Harfe HohenBaden	Nylonsaiten	Baden, DE	Oppermann
C-003.1	H-003.1_opt.wav	Kastenzither Kircher	Nylonsaiten	Internet	Zozowanbarkhussen
C-003.2	H-003.2_opt.wav	Kastenzither Kircher	Nylonsaiten	Internet	Zozowanbarkhussen
C-004.1	H-004.1_opt.wav	Kastenzither 7x Melhop	unbekannt	Internet	Zozowanbarkhussen
C-004.2	H-004.2_opt.wav	Kastenzither 7x Melhop	unbekannt	Internet	Zozowanbarkhussen
C-005.1	H-005.1_opt.wav	Harfe	unbekannt	Internet	unbekannt
C-005.2	H-005.2_opt.wav	Harfe	unbekannt	Internet	unbekannt
C-006.1	H-006.1_opt.wav	Harfe (elektronische Pick up)	unbekannt	Internet	unbekannt
C-006.2	H-006.2_opt.wav	Harfe (elektronische Pick up)	unbekannt	Internet	unbekannt
C-007.1	H-007.1_opt.wav	Harfe	unbekannt	Internet	Mohican
H-008.1	H-008.1_opt.wav	Harfe "The Nature Company - 22 - Aeolian Harp"	unbekannt	CD (Pulse of the Planet)	unbekannt
H-008.2	H-008.2_opt.wav	Harfe "The Nature Company - 22 - Aeolian Harp"	unbekannt	CD (Pulse of the Planet)	unbekannt
I-001.1	I-001.1_opt.wav	Aufschlagstäbe "Flourish Chime"	Aluminium	Internet	Woodstock Chimes

I-002.2	I-002.2_opt.wav	Aufschlagstäbe "Chimes of the Forest"	Bubinga (Hartholz)	Internet	Woodstock Chimes
I-003.1	I-003.1_opt.wav	Aufschlagrohr	Aluminium	Wien	Unbekannt
I-004.1	I-004.1_opt.wav	Glocke 5inch	Bronze	Internet	US Bells
I-005.1	I-005.1_opt.wav	Aufschlagrohr "Chimes of the Saturn"	Aluminium	Internet	Woodstock Chimes
I-006.1	I-006.1_opt.wav	Aufschlagrohre "Chimes of Pluto"	Aluminium	Internet	Woodstock Chimes
I-007.1	I-007.1_opt.wav	Aufschlagrohre "Natural Ring Bamboo Chime - Large"	Bambus	Internet	Woodstock Chimes
I-008.1	I-008.1_opt.wav	Aufschlagrohr "Heroic Windbell Grand Antique"	Stahl	Internet	Woodstock Chimes
I-008.2	I-008.2_opt.wav	Aufschlagrohr "Heroic Windbell Grand Antique"	Stahl	Internet	Woodstock Chimes
I-009.1	I-009.1_opt.wav	Aufschlagrohre "Magical Mystery Chimes - Space Odyssey"	Aluminium	Internet	Woodstock Chimes
I-009.2	I-009.2_opt.wav	Aufschlagrohre "Magical Mystery Chimes - Space Odyssey"	Aluminium	Internet	Woodstock Chimes
I-010.1	I-010.1_opt.wav	Aufschlagglocke "Furin"	Gusseisen	Internet	Feines Werkzeug

Tab. A.1: Stimuli Beschreibung (Fortsetzung von vorherigen Seiten).

Diese Tabelle zählt die für die Signalanalyse und empirische Studie verwendeten Klangbeispiele auf. Der erste Buchstabe in der ID weist auf die Instrumentengattung hin (A=Aerophone, C=Chordophone, I=Idiophone)

A.2 Stimuli, Herkunft

Instru- ment ID	Link
A-001.1	https://www.youtube.com/watch?v=CjvZFzvb66A
A-002.1	https://www.youtube.com/watch?v=4wnVNOc8CCc ; https://www.youtube.com/watch?v=7bK-uGW0z44 ; https://www.youtube.com/watch?v=bvtWL-5hyqM ; https://www.youtube.com/watch?v=oMf6rFemNtk
A-002.2	https://www.youtube.com/watch?v=4wnVNOc8CCc ; https://www.youtube.com/watch?v=7bK-uGW0z44 ; https://www.youtube.com/watch?v=bvtWL-5hyqM ; https://www.youtube.com/watch?v=oMf6rFemNtk
A-002.3	https://www.youtube.com/watch?v=4wnVNOc8CCc ; https://www.youtube.com/watch?v=7bK-uGW0z44 ; https://www.youtube.com/watch?v=bvtWL-5hyqM ; https://www.youtube.com/watch?v=oMf6rFemNtk
A-003.1	http://www.windmusik.com/html/page3.htm
A-004.1	http://www.windmusik.com/html/caisao.htm
A-005.1	https://www.youtube.com/watch?v=4B0hGyKV9qs ; https://www.youtube.com/watch?v=Ve6PTriLGOU
A-005.2	https://www.youtube.com/watch?v=4B0hGyKV9qs ; https://www.youtube.com/watch?v=Ve6PTriLGOU
A-006.1	https://www.youtube.com/watch?v=LOPBospfiU0
C-001.1	https://klangacht.de/aeolsharfe/
C-002.1	https://soundcloud.com/rudiger-oppermann/sets/wind-songs-2
C-003.1	https://www.youtube.com/watch?v=od1PjjCrHfg
C-003.2	https://www.youtube.com/watch?v=od1PjjCrHfg
C-004.1	https://www.youtube.com/watch?v=TcMGluiAmhg&t=0s
C-004.2	https://www.youtube.com/watch?v=TcMGluiAmhg&t=0s
C-005.1	https://www.youtube.com/watch?v=rmP5XaNYlkl
C-005.2	https://www.youtube.com/watch?v=rmP5XaNYlkl
C-006.1	https://www.youtube.com/watch?v=L07yiuOEyFI
C-006.2	https://www.youtube.com/watch?v=L07yiuOEyFI
C-007.1	https://www.youtube.com/watch?v=l9BQ_KeSfW4
C-008.1	Beispiel CD (Pulse of the Planet)
C-008.2	Beispiel CD (Pulse of the Planet)
I-001.1	https://chimes.com/products/flourish-chime-tree-of-life
I-002.2	https://chimes.com/products/chimes-of-the-forest-cocoa
I-003.1	Eigene Aufnahme
I-004.1	https://www.youtube.com/watch?v=vSfH-82NZQc&t=8s
I-005.1	https://chimes.com/products/encore-chimes-of-saturn-black
I-006.1	https://chimes.com/products/encore-chimes-of-pluto-ever-green?_pos=3&_sid=8a6423630&_ss=r
I-007.1	https://chimes.com/products/natural-ring-bamboo-chime-large
I-008.1	https://chimes.com/products/heroic-windbell-grand-antique-copper
I-008.2	https://chimes.com/products/heroic-windbell-grand-antique-copper
I-009.1	https://chimes.com/products/magical-mystery-chimes-space-odyssey
I-009.2	https://chimes.com/products/magical-mystery-chimes-space-odyssey
I-010.1	https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&v=OmpuugNB8QQ&embeds_referring_euri=https%3A%2F%2Fwww.feines-werkzeug.de%2F&feature=emb_title

Tab. A.2: Stimuli, Herkunft.

A.3 Extrahierte Audiosignalmerkmale, Werte

Instrument ID	brightness-High Frequency	dissonance	khz2to4Energy	fundamental-Peak	major-nessMS
A-001.1	0,00386117	0,114320926	0,012687863	19,2587762	-0,2410463
A-002.1	0,1042024	0,382974505	0,025556913	45,8608084	-0,046157
A-002.2	0,0753782	0,292375207	0,021924533	111,270637	-0,0217253
A-002.3	0,12579697	0,331633598	0,045544485	93,6564462	-0,0108332
A-003.1	0,04528168	0,280056268	0,014095513	139,450374	-0,0640355
A-004.1	0,05873895	0,322413087	0,013922525	226,80878	-0,1115659
A-005.1	0,02555647	0,309602112	0,013936232	24,7390269	-0,13454
A-005.2	0,02123843	0,268894732	0,013221245	22,9926629	-0,0228352
A-006.1	0,0216933	0,166030526	0,011550021	71,8329576	-0,2314709
C-001.1	0,27468093	0,294815898	0,077698027	277,223072	-0,1503463
C-002.1	0,00878783	0,251872718	0,012092848	68,3838869	-0,0735535
C-003.1	0,33413327	0,229890406	0,152376835	298,056439	-0,090026
C-003.2	0,05726026	0,262722433	0,01021038	99,8685905	-0,3128744
C-004.1	0,00214869	0,111579299	0,010942935	119,372816	-0,1248641
C-004.2	0,08644424	0,238699913	0,016430363	118,491933	-0,0701417
C-005.1	0,07497564	0,148354128	0,012109085	71,8019849	-0,0678435
C-005.2	0,0615001	0,350707352	0,010824058	75,7340599	-0,0022922
C-006.1	0,03853794	0,226466581	0,012086989	101,96408	-0,1022547
C-006.2	0,02840187	0,241384625	0,011670501	101,800244	-0,0990966
C-007.1	0,07862148	0,264559835	0,010897647	62,1665131	0,19952593
C-008.1	0,34421704	0,271744043	0,120090648	271,980611	-0,1118712
C-008.2	0,29097252	0,232935742	0,046055005	269,626375	-0,1021044
I-001.1	0,98902186	0,495767742	0,060151899	250,117185	-0,0004724
I-002.2	0,97665307	0,473703653	0,749659844	84,7470508	-0,2055014
I-003.1	0,88088681	0,449897349	0,408297153	189,822738	0,20754783
I-004.1	0,13635926	0,210441187	0,009470105	1071,57653	-0,1038795
I-005.1	0,95776631	0,49349612	0,56615779	123,547031	0,12604117
I-006.1	0,76181617	0,423868507	0,329242772	222,361238	-0,0858556
I-007.1	0,50307568	0,269201547	0,118028255	123,647725	-0,1726911
I-008.1	0,08117445	0,2351491	0,015495722	118,995851	-0,0771603
I-008.2	0,08869028	0,244805261	0,021704974	80,3260254	-0,0917553
I-009.1	0,73341423	0,399297565	0,263467846	292,954315	-0,0338279
I-009.2	0,61168364	0,370896757	0,334001133	368,356305	-0,1013467
I-010.1	0,86758406	0,497728944	0,517110658	94,8295179	

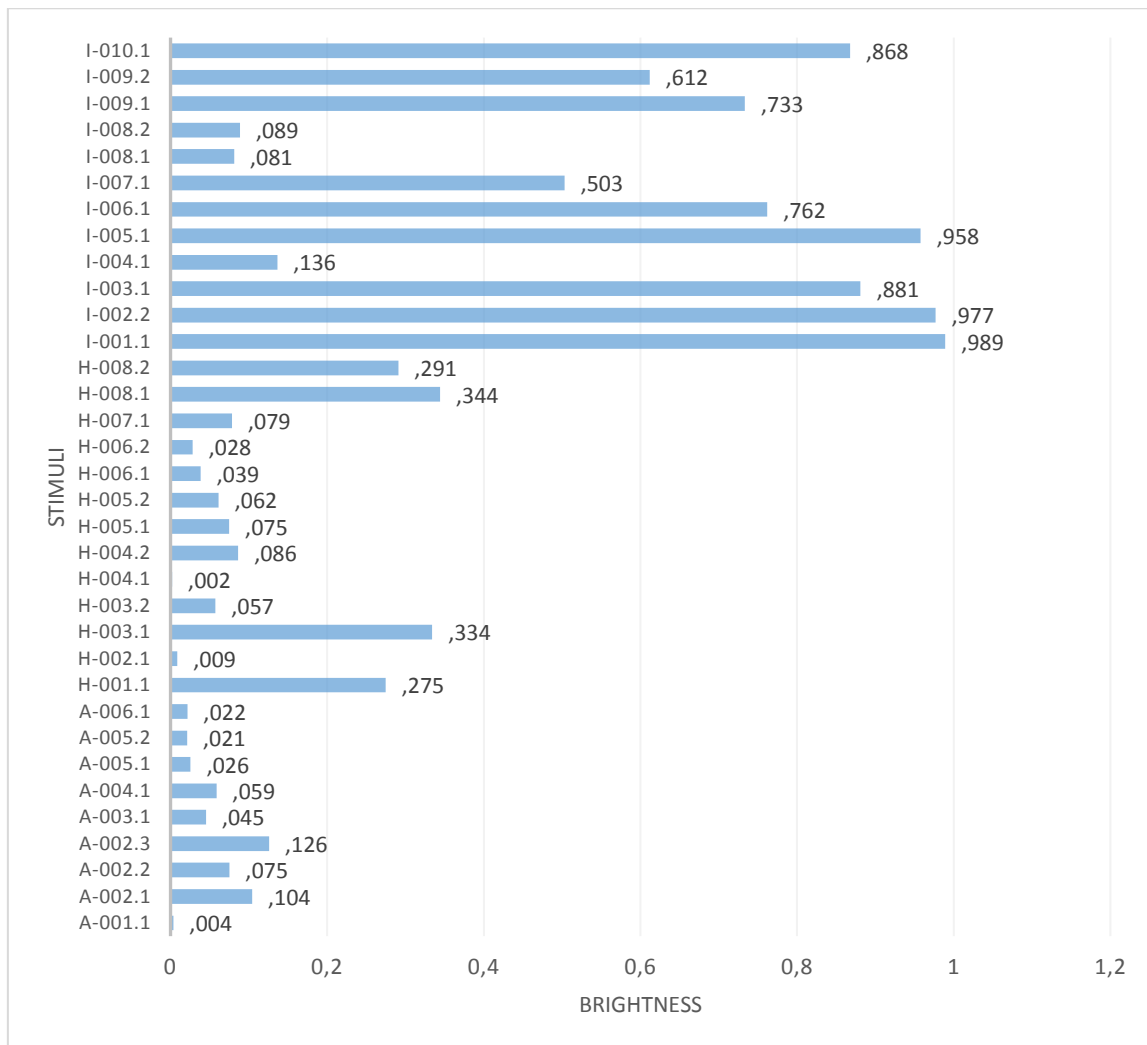
Instru- ment ID	percussive- Energy	roughness AsperZwi- cker	spectral Centroid	spectral_ complexity	spectral_con- trast_ 3200_6400Hz
A-001.1	0,00298003	0,0164615	297,146708	1,74447513	21,9920626
A-002.1	0,0241974	0,07204396	628,229654	5,0625	23,9970857
A-002.2	0,0102614	0,04369212	636,501096	3,28368783	24,2895804
A-002.3	0,009956	0,05202363	849,478013	5,91411066	28,4598106
A-003.1	0,00819494	0,05601161	833,020556	4,55818987	20,7308114
A-004.1	0,01237805	0,06555617	944,002753	3,28044271	25,2383825
A-005.1	0,02238527	0,05803903	312,775576	3	21,867181
A-005.2	0,03184752	0,04137127	389,876541	3,10424709	13,8318154
A-006.1	0,01405333	0,03016224	701,845313	2,90937829	21,0242476
C-001.1	0,00468531	0,12819879	1541,16929	3,851794	19,7904195
C-002.1	0,01965876	0,03403999	435,424305	4,84437084	21,0867805
C-003.1	0,00520254	0,13063631	1485,61855	5,52895737	27,8104106
C-003.2	0,01618946	0,05605759	886,867612	6,38223934	31,3030351
C-004.1	0,01547168	0,03848358	454,671293	5,93352604	20,6546295
C-004.2	0,01563636	0,05712298	785,043363	8,33052635	17,7827175
C-005.1	0,01786367	0,12692485	856,288372	3,18894839	15,5281222
C-005.2	0,0131478	0,0972816	977,497129	5,98455048	15,8288246
C-006.1	0,02064507	0,06274767	728,272458	6,69598484	16,3641478
C-006.2	0,01665898	0,09172466	628,616559	7,40926647	19,1092656
C-007.1	0,01229247	0,09330534	847,401353	4,08968592	26,6900422
C-008.1	0,00184374	0,040795	2561,39785	4,2245369	18,047215
C-008.2	0,00148282	0,02766115	2092,74054	2,17630053	19,1126456
I-001.1	0,01088832	0,04539273	7323,68399	3,12682939	35,6598548
I-002.2	0,03372027	0,03707756	4474,06916	0,80629539	19,13123
I-003.1	0,00407821	0,05932501	4824,9609	2,56880736	28,9918539
I-004.1	0,00515763	0,02122225	974,378684	2,01855659	25,3597428
I-005.1	0,00533895	0,03186718	4397,86596	6,8191781	36,1370386
I-006.1	0,00530862	0,03105041	2509,66808	3,83827496	33,7408542
I-007.1	0,01395613	0,07688981	2987,21068	1,70712399	15,1465522
I-008.1	0,00673627	0,03722153	774,773104	3,64120364	18,609067
I-008.2	0,01467683	0,0380046	795,729764	5,34722233	18,1990207
I-009.1	0,00264487	0,01666559	3136,15625	5,34722233	30,5210666
I-009.2	0,00236275	0,02870441	2754,75556	3,79398155	21,6222041
I-010.1	0,00579193	0,08257793	6173,59646	3,08878493	37,478428

Instru- ment ID	spectral- Flux Mean	spectralFluxO- ver1000	Terzband 16_1000_Hz	timbral_ booming	timb- ral_depth
A-001.1	49,0050996	0,23002374	0,00142753	42,7325246	66,6526923
A-002.1	94,5351997	5,06002254	0,00431393	39,5939817	56,5491647
A-002.2	91,8595125	5,75032036	0,00772418	18,2675798	45,1342923
A-002.3	70,4083217	11,0235668	0,01059453	8,73115891	39,642334
A-003.1	47,7396026	9,46322753	0,02866047	22,481562	30,7770368
A-004.1	64,5301553	12,3046908	0,05467591	8,09858187	25,2248632
A-005.1	135,324476	1,88885234	0,00238126	49,5951181	65,6218661
A-005.2	131,912208	1,14643321	0,00205136	49,9920427	72,0997822
A-006.1	48,3429472	2,27035373	0,00591971	38,7104441	61,3480475
C-001.1	9,07280256	6,44550545	0,06767688	22,2677021	24,8971422
C-002.1	33,4868343	0,31827826	0,00112259	40,0444258	63,1011309
C-003.1	11,7139061	5,36663791	0,01205268	9,73661026	27,0271286
C-003.2	20,8008342	4,27635943	0,03761786	6,59703021	32,6249559
C-004.1	31,3586091	1,97466286	0,00452351	32,0658459	49,5202366
C-004.2	26,7519534	3,49161581	0,0093435	25,0419807	46,1854189
C-005.1	22,1388981	0,41673924	0,00151518	36,7040994	54,4008103
C-005.2	11,1362455	1,444317	0,01273023	13,0905467	35,0362217
C-006.1	30,4523142	2,37872692	0,00820653	37,8482768	60,1321363
C-006.2	28,1615595	2,67347676	0,00763586	35,179137	58,689265
C-007.1	29,3036319	1,70007577	0,00580035	21,0205606	34,899307
C-008.1	45,1653742	18,7614948	0,02889818	14,6881456	22,8358995
C-008.2	37,156169	9,84939388	0,02022133	17,2105527	24,5262738
I-001.1	30,6632656	23,1950576	0,00151725	-9,5516942	6,18053568
I-002.2	40,4538135	38,9098717	0,0009051	-6,4420793	4,12205761
I-003.1	15,2471127	13,5979695	0,00713842	10,0331535	15,5394863
I-004.1	7,78076786	1,48925781	0,0015521	0,34960197	25,846924
I-005.1	21,5444946	19,1459017	0,0019017	-10,546994	12,6422195
I-006.1	17,7056234	15,0145172	0,00073412	12,6691254	14,4418241
I-007.1	36,8537262	8,10658229	0,00368776	9,73618333	23,3394988
I-008.1	28,669473	0,88899483	0,00151571	40,7020979	62,8341991
I-008.2	36,6247746	0,99051797	0,00376178	36,2573305	54,6741474
I-009.1	10,4513373	8,34143789	0,00292336	8,52444272	19,5895087
I-009.2	10,9871934	6,02371664	0,00078386	8,78153624	23,8812872
I-010.1	22,2987513	18,113264	0,00181609	-2,5333709	7,57506149

Instru- ment ID	timb- ral_hardness	timbral_roug- hness	timb- ral_sharpness	timb- ral_warmth	zeroCros- singRate
A-001.1	8,96538708	38,1896484	21,2078809	64,1655055	227,154523
A-002.1	24,4982299	46,1675792	26,623058	67,644044	284,702703
A-002.2	25,498495	45,4503157	30,8811063	56,1352859	354,769231
A-002.3	32,7033632	50,7726058	33,7559437	52,1911128	475,333333
A-003.1	36,3645917	49,2155902	30,1722994	45,5884217	618,930233
A-004.1	37,5282626	50,8199633	39,1670461	37,8971503	808,56
A-005.1	35,33905	40,9529445	23,252047	67,1339665	172
A-005.2	36,1855258	42,977665	21,131914	62,4686405	174,972222
A-006.1	25,9245663	43,7665602	24,9011109	50,8613959	373,954545
C-001.1	38,1261235	43,5486784	41,6817253	43,1749814	905,682207
C-002.1	11,6835394	47,1487793	22,3477759	55,8864707	303,392857
C-003.1	40,9316642	44,6218674	43,5766541	31,6017884	1059,97222
C-003.2	39,7671956	48,6961575	35,389432	40,4445832	743,083333
C-004.1	27,2106807	47,1299625	25,7636079	48,1074222	425,0625
C-004.2	35,7916742	51,0125171	29,8212201	54,8215319	494,363636
C-005.1	10,7231931	45,459228	25,7862447	58,2547306	335,076923
C-005.2	39,1977327	52,6072449	32,1881547	46,0168248	640,515152
C-006.1	29,9686508	46,255697	25,6148719	56,1288039	341,591204
C-006.2	30,2719804	45,9078651	27,3130866	56,071168	396,875
C-007.1	29,681401	49,3703438	30,6320621	45,9517735	514,806452
C-008.1	40,4140562	37,9358347	41,2947055	30,6253637	1003,8
C-008.2	34,0476506	31,2687523	39,7631201	30,9350657	852,4375
I-001.1	61,3851442	47,3581172	93,6791317	29,0128943	7075,13812
I-002.2	64,4446356	39,4053564	67,4086018	26,3660695	2542,02318
I-003.1	60,1326859	42,1246494	65,1383771	26,5699323	2221,18653
I-004.1	43,068385	24,6227651	38,702462	41,6915591	645,555174
I-005.1	57,7172225	57,5194381	68,3360865	27,4876558	3161,57132
I-006.1	54,7887192	42,488396	54,7053413		1486,76801
I-007.1	61,3730309	29,1309245	50,3587684	38,6939218	867,432739
I-008.1	35,2968692	42,7330755	26,2371621	63,6860741	226,25
I-008.2	43,2944908	48,7322975	25,7262741	58,1385233	367,6
I-009.1	56,0620655	42,0722762	51,1365418	34,1100322	1494,15
I-009.2	51,8858117	38,5414207	46,9608623	36,009662	1305,1
I-010.1	62,7045893	48,5256941	77,9692797	28,4174162	4550,53499

Tab. A.3: Extrahierte Audiosignale, Werte in **fett** wurden für die Arbeit verwendet (Fortsetzung von vorherigen Seiten).

A.4 Klangliche Eigenschaften der Stimuli



Tab. A.4.1: Klangliche Eigenschaften von Äolsinstrumenten: brightness; Hinweis: alle Instrumente mit dem Präfix „H“ sind Äolschordophone, welche in der ID- Ordnung unter „C“ zu finden sind, nach Juslin 2000 und Bismarck 1972.

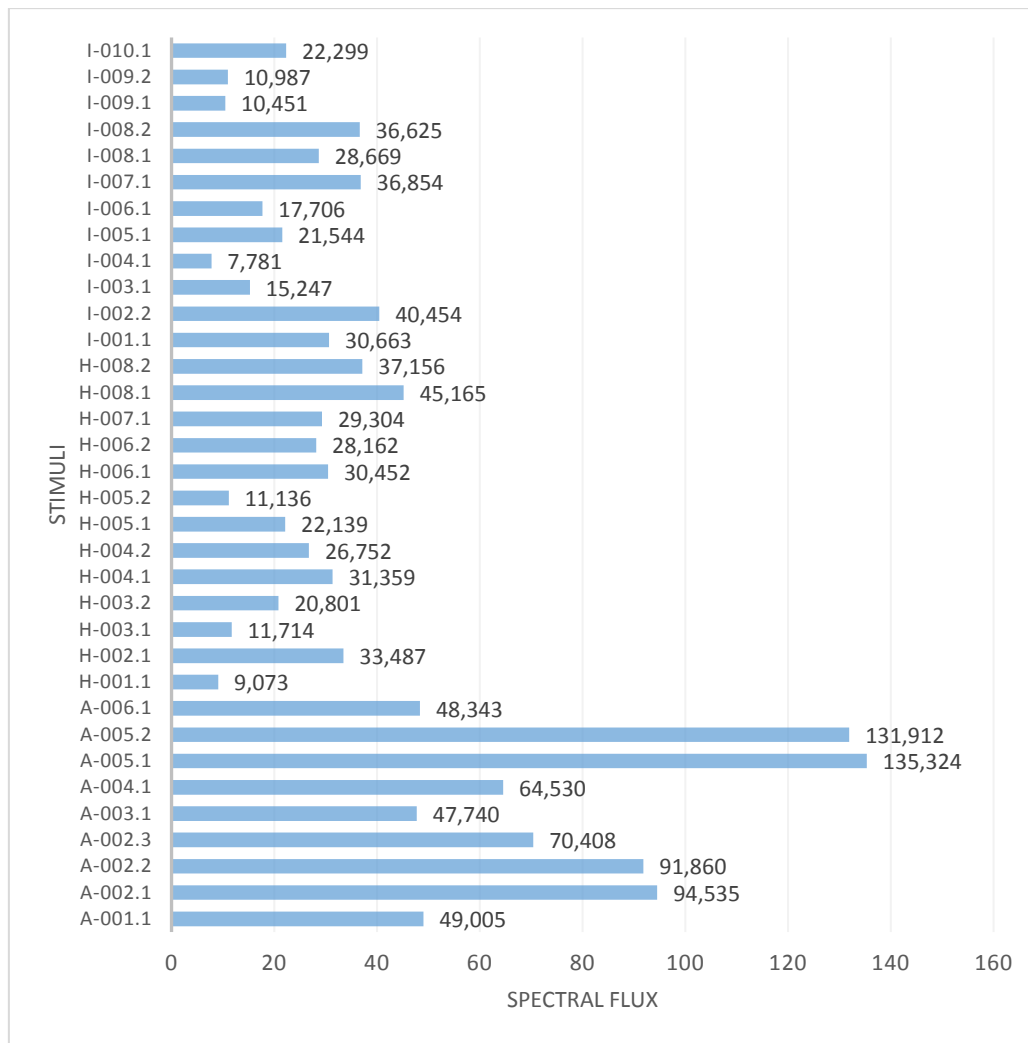
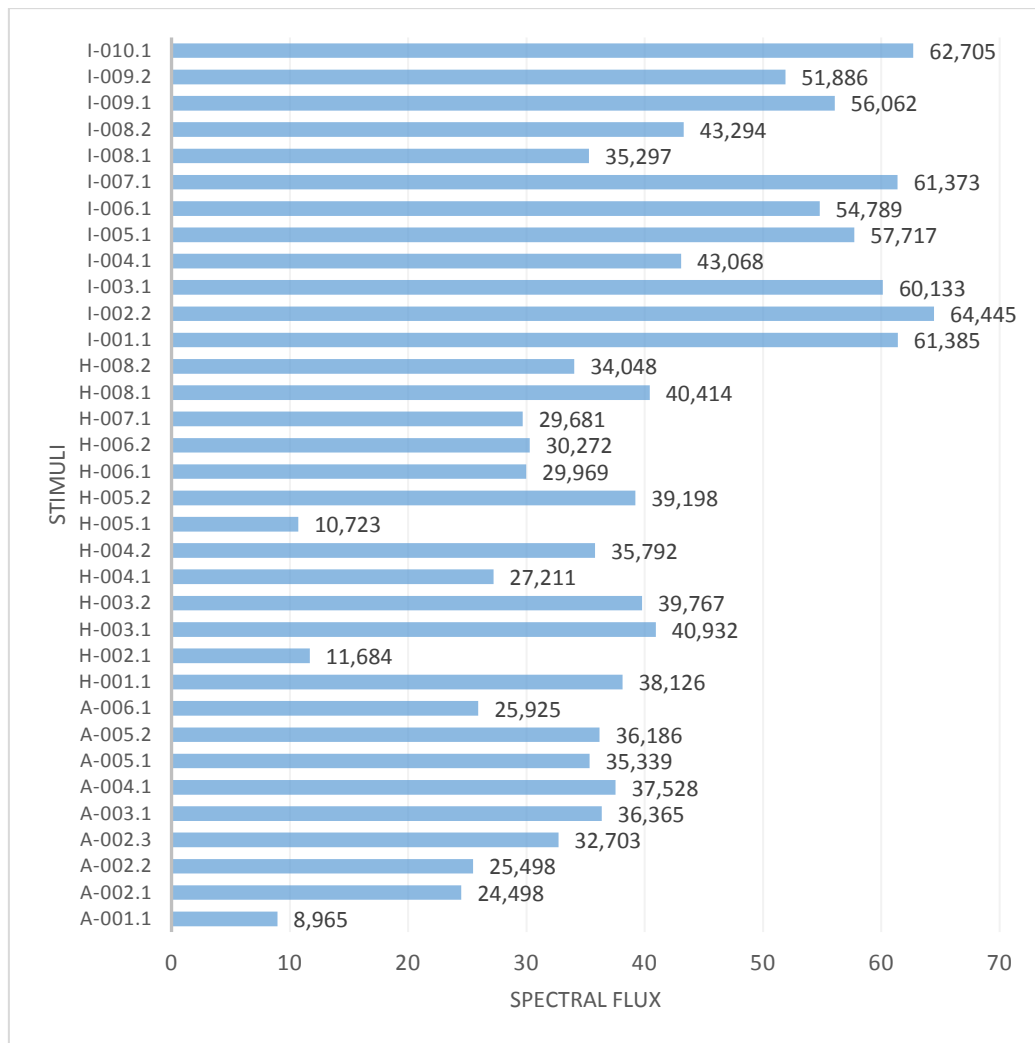


Tabelle A 4.2: Klangliche Eigenschaften von Äolsinstrumenten: spectral flux, Hinweis: alle Instrumente mit dem Präfix „H“ sind Äolschordophone, welche in der ID- Ordnung unter „C“ zu finden sind, nach Giannoulis / Massberg / Reiss 2013.



Tab. A 4.3: Klangliche Eigenschaften von Äolsinstrumenten: Timbral Hardness, Hinweis: alle Instrumente mit dem Präfix „H“ sind Äolschordophone, welche in der ID- Ordnung unter „C“ zu finden sind, nach Pierce 2017.

A.5 Hörer*innenversuch Ergebnisse

Instrument ID	fremd/vertraut StDev	fremd/vertraut mean	hart/weich StDev	hart/weich mean	kalt/warm StDev	kalt/warm mean
A-001.1	21	31	21	63	21	50
A-002.1	28	53	24	55	22	40
A-002.2	22	36	21	49	19	37
A-002.3	29	39	19	48	20	36
A-003.1	26	40	20	48	24	38
A-004.1	25	39	19	40	18	31
A-005.1	25	37	24	59	29	53
A-005.2	21	36	20	56	23	45
A-006.1	22	38	23	52	20	40
C-001.1	24	41	17	32	16	35
C-002.1	26	63	17	72	21	68
C-003.1	27	41	24	37	22	34
C-003.2	25	54	22	60	24	55
C-004.1	22	58	20	67	21	57
C-004.2	25	59	19	71	17	67
C-005.1	26	58	17	69	20	64
C-005.2	22	47	21	54	22	53
C-006.1	25	56	20	60	21	57
C-006.2	24	52	18	60	21	56
C-007.1	24	50	20	53	22	47
C-008.1	23	37	25	46	17	35
C-008.2	23	47	20	51	21	44
I-001.1	18	78	24	37	25	46
I-002.2	25	66	24	43	27	53
I-003.1	17	80	21	57	24	60
I-004.1	18	78	24	65	20	66
I-005.1	16	81	20	51	23	53
I-006.1	16	78	22	63	23	59
I-007.1	22	74	27	57	21	68
I-008.1	19	76	19	69	20	68
I-008.2	19	70	18	64	21	66
I-009.1	18	79	22	67	23	69
I-009.2	21	71	23	59	21	61
I-010.1	20	77	22	45	24	50

Instrument ID	häss-lich/schön StDev	häss-lich/schön mean	unange-nehm/ange-nehm StDev	unange-nehm/ange-nehm mean
A-001.1	22	48	21	46
A-002.1	21	46	22	49
A-002.2	15	41	18	44
A-002.3	20	37	23	43
A-003.1	15	37	18	36
A-004.1	19	30	19	30
A-005.1	22	42	20	42
A-005.2	21	43	26	43
A-006.1	20	42	23	41
C-001.1	26	39	24	31
C-002.1	18	75	17	78
C-003.1	23	33	22	26
C-003.2	22	59	28	53
C-004.1	17	66	20	68
C-004.2	17	73	18	75
C-005.1	19	63	21	61
C-005.2	25	55	30	52
C-006.1	17	60	22	62
C-006.2	21	56	25	56
C-007.1	22	47	24	44
C-008.1	20	36	21	34
C-008.2	18	47	21	47
I-001.1	22	54	26	42
I-002.2	22	62	23	59
I-003.1	20	67	22	68
I-004.1	22	66	23	65
I-005.1	22	67	22	59
I-006.1	18	72	22	68
I-007.1	17	70	22	71
I-008.1	15	71	19	70
I-008.2	16	64	18	69
I-009.1	20	78	24	74
I-009.2	23	72	23	70
I-010.1	23	61	25	55

Tab. A.5: Hörer*innenversuch Ergebnisse (Fortsetzung von voriger Seite).

A.6 Korrelationen Hörer*innenbewertung und Klangeigenschaften Gesamt

fremd/vertraut	Pearson's r	p	hart/weich mean	Pearson's r	p	unangenehm/angenehm	Pearson's r	p
brightnessHighFrequency	0,66	< ,001	spectral_contrast_0_200Hz	0,637	< ,001	spectral_contrast_0_200Hz	0,526	0,001
spectralRolloff	0,647	< ,001	mfcc2	0,586	< ,001	mfcc2	0,49	0,003
timbral_hardness	0,626	< ,001	mfcc4	0,534	0,001	tonnetz_harmonicity_strength	0,469	0,005
spectralCentroid	0,61	< ,001	timbral_depth	0,515	0,002	tonnetz_fifths_strength	0,465	0,006
spectral_decrease	0,598	< ,001	timbral_warmth	0,509	0,002	tonnetz_minor_thirds_strength	0,38	0,027
timbral_sharpness	0,598	< ,001	rmsGammatone2	0,48	0,004	mfcc4	0,354	0,04
timbral_brightness	0,588	< ,001	timbral_booming	0,472	0,005	tonnetz_major_thirds_strength	0,341	0,049
rmsOktavband8_4000_Hz	0,584	< ,001	rmsTerzband9_200_Hz	0,45	0,008	roughnessAsperZwicker	-0,359	0,037
sharpnessAcumDIN45692	0,583	< ,001	spectral_energy_150_800Hz	0,422	0,013	spectral_contrast_400_800Hz	-0,364	0,034
spectralEntropy	0,561	< ,001	rmsOktavband4_250_Hz	0,421	0,013	spectralFluxMean	-0,373	0,03
rmsGammatone7	0,556	< ,001	envelopeFlatness	0,419	0,014	rmsTerzband15_800_Hz	-0,382	0,026
rmsTerzband18_1600_Hz	0,552	< ,001	mfcc1	0,414	0,015	eventDensity	-0,385	0,025
formant1	0,536	0,001	mfcc5	0,39	0,023	rmsOktavband6_1000_Hz	-0,393	0,021
khz2to4Energy	0,524	0,001	rmsTerzband10_250_Hz	0,378	0,027	rmsTerzband16_1000_Hz	-0,552	< ,001
rmsTerzband21_3150_Hz	0,517	0,002	rmsOktavband5_500_Hz	0,356	0,039			
zeroCrossingRate	0,516	0,002	chroma_recurrence	0,351	0,042			
rmsTerzband22_4000_Hz	0,514	0,002	tonnetz_harmonicity_strength	0,342	0,048			
spectralFlatness	0,506	0,002	mfccStd6	-0,345	0,046			
formants2	0,496	0,003	rmsOktavband9_8000_Hz	-0,345	0,046			
mfccStd12	0,493	0,003	rmsTerzband23_5000_Hz	-0,346	0,045			
mfccStd11	0,492	0,003	spectral_bandwidth	-0,346	0,045			
rmsTerzband23_5000_Hz	0,492	0,003	highestPeakFrequency	-0,351	0,042			
dissonance	0,492	0,003	rmsTerzband26_10000_Hz	-0,352	0,041			
rmsOktavband7_2000_Hz	0,486	0,004	roughnessAsperZwicker	-0,354	0,04			
spectralSpreadMS	0,484	0,004	spectralEntropy	-0,361	0,036			
unpleasantness	0,472	0,005	rmsGammatone9	-0,361	0,036			
highestPeakFrequency	0,469	0,005	unpleasantness	-0,366	0,033			
releaseTimeMean	0,469	0,005	spectral_strongpeak	-0,367	0,033			
formant2	0,467	0,005	formant2	-0,38	0,027			
tonnetz_fifths_strength	0,452	0,007	rmsOktavband6_1000_Hz	-0,388	0,023			
tonnetz_harmonicity_strength	0,449	0,008	dynamic_complexity	-0,391	0,022			
formants1	0,447	0,008	rmsGammatone10	-0,394	0,021			
rmsGammatone10	0,433	0,011	spectralCentroid	-0,401	0,019			
spectral_spread	0,423	0,013	dissonance	-0,402	0,018			
rmsTerzband20_2500_Hz	0,408	0,017	spectral_energy_800_4000Hz	-0,417	0,014			
spectral_contrast_3200_6400Hz	0,4	0,019	mfccStd2	-0,419	0,014			
inharmonicity	0,396	0,02	spectral_spread	-0,437	0,01			
tonnetz_major_thirds_strength	0,392	0,022	formants3	-0,442	0,009			
formants3	0,361	0,036	zeroCrossingRate	-0,446	0,008			
rmsGammatone6	0,361	0,036	spectral_entropy	-0,447	0,008			
tonnetz_minor_thirds_strength	0,354	0,04	sharpnessAcumDIN45692	-0,451	0,007			
spectral_bandwidth	0,349	0,043	formants2	-0,464	0,006			
rmsGammatone8	0,344	0,046	timbral_sharpness	-0,47	0,005			
rmsOktavband4_250_Hz	-0,343	0,047	formant1	-0,476	0,004			
rmsTerzband15_800_Hz	-0,345	0,046	formants1	-0,481	0,004			
rmsOktavband2_63_Hz	-0,354	0,04	timbral_brightness	-0,486	0,004			
spectral_contrast_400_800Hz	-0,375	0,029	rmsTerzband16_1000_Hz	-0,52	0,002			
barkbands_flatness_db	-0,391	0,022	spectralFluxOver1000	-0,546	< ,001			
tonalEnergy	-0,396	0,02						
timbral_warmth	-0,4	0,021						
rmsTerzband5_80_Hz	-0,411	0,016						
spectralKurtosis	-0,417	0,014						
rmsTerzband16_1000_Hz	-0,435	0,01						
harmonicEnergy	-0,451	0,007						
spectral_energy	-0,451	0,007						
mfcc1	-0,454	0,007						
timbral_booming	-0,454	0,007						
rmsOktavband1_32_Hz	-0,456	0,007						
rmsTerzband1_32_Hz	-0,456	0,007						
rmsTerzband2_40_Hz	-0,456	0,007						
rmsTerzband4_63_Hz	-0,456	0,007						
rmsTerzband3_50_Hz	-0,457	0,007						
rmsTerzband11_315_Hz	-0,457	0,007						
timbral_depth	-0,463	0,006						
roughnessSetharesMean	-0,465	0,006						
spectral_energy_150_800Hz	-0,469	0,005						
spectralSkewnessMS	-0,479	0,004						
rmsTerzband29_20000_Hz	-0,536	0,001						
eventDensity	-0,545	< ,001						

Tabelle A.6: Korrelationen Hörer*innenbewertung und Klangeigenschaften-Gesamt.

A.7 Korrelationen Hörer*innenbewertung und Klangeigenschaften Äolsidiophone

Idiophone			Idiophone			Idiophone		
fremd/vertraut mean	Pearson's r	p	hart/weich mean	Pearson's r	p	unangenehm/angenehm mean	Pearson's r	p
majorinessM5	0,725	0,012	unangenehm/angenehm mean	0,881	<,001	rmsOktavband6_1000_Hz	0,688	0,013
spectral_contrast_3200_6400Hz	0,705	0,01	timbral_booming	0,733	0,007	timbral_booming	0,633	0,027
mfcc5	0,604	0,037	timbral_depth	0,711	0,009	key_strength_temperley	0,588	0,044
spectralFluxMean	-0,578	0,049	timbral_warmth	0,698	0,017	spectralFluxUnder100	-0,584	0,046
chromagramPeakPositionStd	-0,607	0,036	mfcc1	0,683	0,014	formants1	-0,59	0,044
percussiveEnergy	-0,755	0,005	spectral_energy_150_800Hz	0,619	0,032	dissonance	-0,592	0,042
mfcc3	-0,76	0,004	rmsOktavband6_1000_Hz	0,608	0,036	formants2	-0,599	0,039
			rmsGammatone1	0,602	0,038	spectralFluxOver1000	-0,623	0,031
			rmsOktavband5_500_Hz	0,601	0,039	formants3	-0,63	0,028
			spectral_contrast_400_1600Hz	0,593	0,042	formant2	-0,634	0,027
			formants1	-0,601	0,039	timbral_brightness	-0,652	0,022
			spectral_strongpeak	-0,619	0,032	rmsOktavband2_63_Hz	-0,672	0,017
			spectral_energy_4000_20000Hz	-0,621	0,031	formant1	-0,683	0,014
			rmsTerzband25_8000_Hz	-0,636	0,026	rmsOktavband8_4000_Hz	-0,692	0,013
			rmsGammatone7	-0,638	0,026	rmsOktavband10_16000_Hz	-0,754	0,005
			spectral_decrease	-0,644	0,024	spectralCentroid	-0,771	0,003
			spectralSpreadM5	-0,66	0,019	rmsTerzband22_4000_Hz	-0,789	0,002
			rmsTerzband24_6300_Hz	-0,674	0,016	rmsGammatone10	-0,791	0,002
			spectral_spread	-0,676	0,016	timbral_sharpness	-0,799	0,002
			rmsGammatone8	-0,677	0,016	spectral_energy_4000_20000Hz	-0,8	0,002
			rmsOktavband10_16000_Hz	-0,68	0,015	spectral_strongpeak	-0,809	0,001
			rmsOktavband9_8000_Hz	-0,695	0,012	rmsTerzband25_8000_Hz	-0,811	0,001
			formants2	-0,697	0,012	rmsGammatone8	-0,821	0,001
			spectral_bandwidth	-0,697	0,012	rmsTerzband27_12500_Hz	-0,822	0,001
			rmsTerzband27_12500_Hz	-0,698	0,012	rmsTerzband24_6300_Hz	-0,826	<,001
			formant1	-0,699	0,011	rmsOktavband9_8000_Hz	-0,858	<,001
			spectralEntropy	-0,71	0,01	sharpnessAcumDIN45692	-0,864	<,001
			rmsTerzband26_10000_Hz	-0,72	0,008	rmsGammatone9	-0,868	<,001
			spectral_entropy	-0,72	0,008	rmsTerzband26_10000_Hz	-0,869	<,001
			rmsGammatone9	-0,722	0,008	rmsTerzband23_5000_Hz	-0,898	<,001
			brightnessHighFrequency	-0,737	0,006	zeroCrossingRate	-0,922	<,001
			dissonance	-0,738	0,006			
			formants3	-0,746	0,005			
			timbral_hardness	-0,749	0,005			
			spectralFlatness	-0,76	0,004			
			rmsTerzband22_4000_Hz	-0,76	0,004			
			spectralFluxUnder100	-0,763	0,004			
			spectralRolloff	-0,768	0,004			
			formant2	-0,798	0,002			
			rmsOktavband8_4000_Hz	-0,799	0,002			
			timbral_brightness	-0,804	0,002			
			spectralFluxOver1000	-0,821	0,001			
			rmsTerzband23_5000_Hz	-0,863	<,001			
			zeroCrossingRate	-0,88	<,001			
			rmsGammatone10	-0,885	<,001			
			sharpnessAcumDIN45692	-0,885	<,001			
			timbral_sharpness	-0,887	<,001			
			spectralCentroid	-0,888	<,001			

Tabelle A.7: Korrelationen Hörer*innenbewertung und Klangeigenschaften-Äolsidiophone.

A.8 Korrelationen Hörer*innenbewertung und Klangeigenschaften Aölschordophone

Chordophone			Chordophone			Chordophone		
fremd/vertraut mean	Pearson's r	p	hart/weich mean	Pearson's r	p	unangenehm/angenehm mean	Pearson's r	p
unangenehm/angenehm mean	0,945	<,001	unangenehm/angenehm mean	0,953	<,001	spectral_contrast_0_200Hz	0,858	<,001
hart/weich mean	0,925	<,001	spectral_energy_150_800Hz	0,848	<,001	mfcc2	0,857	<,001
mfcc2	0,899	<,001	mfcc2	0,821	<,001	timbral_depth	0,815	<,001
percussiveEnergy	0,875	<,001	percussiveEnergy	0,803	<,001	percussiveEnergy	0,805	<,001
timbral_depth	0,84	<,001	timbral_depth	0,786	0,001	rmsTerzband13_500_Hz	0,796	0,001
timbral_warmth	0,799	0,001	spectral_contrast_0_200Hz	0,755	0,003	spectral_energy_150_800Hz	0,791	0,001
spectral_energy_150_800Hz	0,791	0,001	mfcc4	0,744	0,004	timbral_warmth	0,767	0,002
mfcc4	0,777	0,002	rmsTerzband13_500_Hz	0,734	0,004	rmsGammatone2	0,708	0,007
rmsTerzband13_500_Hz	0,757	0,003	timbral_warmth	0,718	0,006	mfcc4	0,685	0,01
spectral_contrast_0_200Hz	0,741	0,004	rmsOktavband4_250_Hz	0,704	0,007	rmsOktavband4_250_Hz	0,671	0,012
rmsOktavband4_250_Hz	0,731	0,005	pulseClarityMS	0,69	0,009	timbral_booming	0,664	0,013
rmsOktavband9_8000_Hz	0,721	0,005	chroma_recurrence	0,681	0,01	mfcc5	0,656	0,015
mfcc1	0,716	0,006	envelopeFlatness	0,673	0,012	rmsGammatone3	0,634	0,02
rmsGammatone2	0,715	0,006	rmsOktavband9_8000_Hz	0,664	0,013	spectralSkewnessMS	0,625	0,022
chroma_recurrence	0,703	0,007	rmsOktavband5_500_Hz	0,66	0,014	rmsTerzband9_200_Hz	0,625	0,022
rmsOktavband5_500_Hz	0,702	0,007	rmsTerzband10_250_Hz	0,644	0,017	chroma_recurrence	0,622	0,023
rmsTerzband23_5000_Hz	0,693	0,009	rmsGammatone3	0,639	0,019	rmsOktavband5_500_Hz	0,613	0,026
rmsTerzband22_4000_Hz	0,683	0,01	rmsGammatone2	0,633	0,02	rmsOktavband9_8000_Hz	0,61	0,027
rmsTerzband24_6300_Hz	0,68	0,01	rmsTerzband23_5000_Hz	0,624	0,023	mfcc1	0,608	0,028
rmsTerzband25_8000_Hz	0,675	0,011	rmsTerzband22_4000_Hz	0,612	0,026	rmsTerzband10_250_Hz	0,585	0,036
rmsTerzband26_10000_Hz	0,671	0,012	mfcc5	0,609	0,027	chroma_entropy_harmonic	0,585	0,036
timbral_booming	0,671	0,012	rmsTerzband24_6300_Hz	0,609	0,027	pulseClarityMS	0,574	0,04
rmsTerzband1_32_Hz	0,665	0,013	chroma_entropy_harmonic	0,609	0,027	rmsTerzband22_4000_Hz	0,57	0,042
rmsTerzband27_12500_Hz	0,665	0,013	rmsTerzband12_400_Hz	0,607	0,028	rmsTerzband23_5000_Hz	0,57	0,042
rmsTerzband3_50_Hz	0,663	0,014	rmsTerzband25_8000_Hz	0,604	0,029	rmsTerzband24_6300_Hz	0,558	0,048
rmsTerzband2_40_Hz	0,661	0,014	rmsTerzband26_10000_Hz	0,602	0,03	rmsOktavband8_4000_Hz	-0,559	0,047
chroma_entropy_harmonic	0,66	0,014	rmsTerzband27_12500_Hz	0,599	0,03	rmsTerzband15_800_Hz	-0,567	0,043
rmsTerzband4_63_Hz	0,648	0,017	rmsOktavband10_16000_Hz	0,597	0,031	formant2	-0,572	0,041
rmsGammatone3	0,641	0,018	timbral_booming	0,596	0,032	spectralFluxOver1000	-0,573	0,041
spectralSkewnessMS	0,641	0,018	rmsTerzband1_32_Hz	0,593	0,033	rmsTerzband16_1000_Hz	-0,577	0,039
rmsTerzband28_16000_Hz	0,64	0,018	rmsTerzband2_40_Hz	0,59	0,034	spectral_contrast_400_800Hz	-0,578	0,039
rmsTerzband10_250_Hz	0,637	0,019	rmsTerzband28_16000_Hz	0,59	0,034	mfccStd5	-0,581	0,037
rmsTerzband29_20000_Hz	0,633	0,02	rmsTerzband3_50_Hz	0,589	0,034	rmsTerzband21_3150_Hz	-0,581	0,037
rmsTerzband12_400_Hz	0,619	0,024	rmsTerzband29_20000_Hz	0,586	0,035	rmsTerzband19_2000_Hz	-0,606	0,028
rmsTerzband9_200_Hz	0,613	0,026	rmsTerzband4_63_Hz	0,579	0,038	timbral_hardness	-0,624	0,023
rmsOktavband10_16000_Hz	0,606	0,028	mfcc1	0,566	0,044	rmsTerzband20_2500_Hz	-0,669	0,012
harmonicEnergy	0,599	0,031	spectralSkewnessMS	0,555	0,049	chords_number_rate	-0,669	0,012
rmsOktavband1_32_Hz	0,583	0,036	rmsTerzband20_2500_Hz	-0,585	0,036	rmsGammatone7	-0,689	0,009
mfcc13	0,582	0,037	mfccStd5	-0,631	0,021	formants3	-0,696	0,008
spectral_energy_4000_20000Hz	-0,556	0,048	chords_number_rate	-0,639	0,019	highestPeakFrequency	-0,705	0,007
rmsGammatone4	-0,568	0,043	spectral_spread	-0,643	0,018	mfccStd2	-0,71	0,007
spectral_bandwidth	-0,568	0,043	timbral_hardness	-0,658	0,015	spectralCentroid	-0,727	0,005
rmsTerzband16_1000_Hz	-0,584	0,036	rmsTerzband16_1000_Hz	-0,679	0,011	spectral_strongpeak	-0,733	0,004
harmonicPercussiveRatio	-0,592	0,033	spectralCentroid	-0,684	0,01	unpleasantness	-0,734	0,004
spectral_contrast_400_800Hz	-0,599	0,031	dynamic_complexity	-0,692	0,009	fundamentalPeak	-0,741	0,004
spectral_spread	-0,599	0,031	rmsTerzband19_2000_Hz	-0,703	0,007	rmsGammatone5	-0,743	0,004
formant2	-0,6	0,03	formants3	-0,713	0,006	chords_changes_rate	-0,751	0,003
spectralEntropy	-0,605	0,029	highestPeakFrequency	-0,716	0,006	rmsTerzband17_1250_Hz	-0,755	0,003
mfccStd5	-0,615	0,025	chords_changes_rate	-0,716	0,006	spectral_energy_800_4000Hz	-0,773	0,002
rmsTerzband15_800_Hz	-0,622	0,023	rmsGammatone5	-0,746	0,003	khz2to4Energy	-0,784	0,002
rmsTerzband19_2000_Hz	-0,684	0,01	rmsTerzband17_1250_Hz	-0,748	0,003	mfccStd6	-0,787	0,001
rmsTerzband20_2500_Hz	-0,701	0,008	spectral_strongpeak	-0,753	0,003	formants2	-0,788	0,001
rmsGammatone7	-0,703	0,007	unpleasantness	-0,764	0,002	formants1	-0,789	0,001
chords_changes_rate	-0,709	0,007	khz2to4Energy	-0,767	0,002	mfccStd9	-0,797	0,001

fremd/vertraut mean	Pearson's r	p	hart/weich mean	Pearson's r	p	unangenehm/angenehm mean	Pearson's r	p
timbral_hardness	-0,711	0,006	formants1	-0,787	0,001	rmsGammatone6	-0,8	0,001
highestPeakFrequency	-0,725	0,005	fundamentalPeak	-0,789	0,001	rmsOktavband7_2000_Hz	-0,801	<,001
mfccStd9	-0,727	0,005	rmsOktavband7_2000_Hz	-0,792	0,001	brightnessHighFrequency	-0,816	<,001
spectralFluxOver1000	-0,728	0,005	rmsGammatone7	-0,801	0,001	mfccStd7	-0,823	<,001
rmsTerzband17_1250_Hz	-0,746	0,003	spectral_energy_800_4000Hz	-0,802	<,001	rmsOktavband6_1000_Hz	-0,833	<,001
spectral_strongpeak	-0,747	0,003	brightnessHighFrequency	-0,808	<,001	spectralRolloff	-0,846	<,001
rmsGammatone5	-0,752	0,003	mfccStd2	-0,81	<,001	zeroCrossingRate	-0,858	<,001
chords_number_rate	-0,752	0,003	rmsGammatone6	-0,817	<,001	timbral_brightness	-0,87	<,001
mfccStd2	-0,754	0,003	formants2	-0,819	<,001	sharpnessAcumDIN45692	-0,871	<,001
mfccStd6	-0,765	0,002	mfccStd6	-0,83	<,001	formant1	-0,873	<,001
mfccStd7	-0,767	0,002	zeroCrossingRate	-0,846	<,001	mfccStd8	-0,879	<,001
formants3	-0,769	0,002	spectralRolloff	-0,848	<,001	timbral_sharpness	-0,88	<,001
fundamentalPeak	-0,787	0,001	mfccStd7	-0,854	<,001			
rmsOktavband7_2000_Hz	-0,794	0,001	mfccStd9	-0,854	<,001			
khz2to4Energy	-0,798	0,001	sharpnessAcumDIN45692	-0,856	<,001			
unpleasantness	-0,798	0,001	mfccStd8	-0,864	<,001			
formants1	-0,816	<,001	rmsOktavband6_1000_Hz	-0,867	<,001			
spectralCentroid	-0,835	<,001	timbral_brightness	-0,871	<,001			
spectral_energy_800_4000Hz	-0,835	<,001	timbral_sharpness	-0,873	<,001			
brightnessHighFrequency	-0,856	<,001	formant1	-0,899	<,001			
formants2	-0,861	<,001						
rmsOktavband6_1000_Hz	-0,865	<,001						
rmsGammatone6	-0,866	<,001						
mfccStd8	-0,879	<,001						
zeroCrossingRate	-0,889	<,001						
timbral_sharpness	-0,895	<,001						
sharpnessAcumDIN45692	-0,898	<,001						
spectralRolloff	-0,909	<,001						
timbral_brightness	-0,912	<,001						
formant1	-0,92	<,001						

Tabelle A.8: Korrelationen Hörer*innenbewertung und Klangeigenschaften-Äölschordophone (Fortsetzung von vorherigen Seiten).

A.9 Korrelationen Hörer*innenbewertung und Klangeigenschaften Äolsaerophone

fremd/vertraut mean	Pearson's r	p	hart/weich mean	Pearson's r	p	unangenehm/angenehm mean	Pearson's r	p
rmsGammatone6	0,789	0,011	mfcc4	0,934	< ,001	mfcc3	0,917	< ,001
roughnessAsperZwicker	0,755	0,019	timbral_depth	0,891	0,001	mfcc5	0,914	< ,001
dissonance	0,702	0,035	timbral_warmth	0,887	0,001	timbral_warmth	0,874	0,002
spectral_complexity	0,667	0,049	rmsGammatone2	0,877	0,002	rmsOktavband4_250_Hz	0,867	0,002
			rmsOktavband4_250_Hz	0,873	0,002	mfcc4	0,763	0,017
			timbral_booming	0,866	0,003	mfcc2	0,751	0,02
			mfcc3	0,852	0,004	rmsTerzband5_80_Hz	0,711	0,032
			rmsTerzband5_80_Hz	0,851	0,004	chroma_entropy_harmonic	0,693	0,038
			spectral_contrast_0_200Hz	0,845	0,004	timbral_depth	0,691	0,039
			rmsOktavband1_32_Hz	0,801	0,01	rmsTerzband11_315_Hz	0,674	0,047
			mfcc2	0,799	0,01	spectral_contrast_400_800Hz	-0,694	0,038
			rmsTerzband4_63_Hz	0,79	0,011	formants1	-0,731	0,025
			mfcc5	0,78	0,013	spectral_contrast_400_1600Hz	-0,761	0,017
			harmonicEnergy	0,768	0,016	formant1	-0,784	0,012
			rmsTerzband3_50_Hz	0,763	0,017	spectral_contrast_800_1600Hz	-0,8	0,01
			rmsTerzband10_250_Hz	0,762	0,017	spectral_strongpeak	-0,824	0,006
			rmsOktavband9_8000_Hz	0,759	0,018	zeroCrossingRate	-0,832	0,005
			rmsTerzband2_40_Hz	0,757	0,018	fundamentalPeak	-0,837	0,005
			rmsOktavband10_16000_Hz	0,754	0,019	highestPeakFrequency	-0,841	0,005
			rmsTerzband22_4000_Hz	0,753	0,019	rmsGammatone4	-0,841	0,004
			rmsTerzband1_32_Hz	0,752	0,019	rmsTerzband15_800_Hz	-0,872	0,002
			rmsTerzband23_5000_Hz	0,75	0,02	rmsOktavband6_1000_Hz	-0,894	0,001
			rmsTerzband24_6300_Hz	0,75	0,02	rmsTerzband16_1000_Hz	-0,906	< ,001
			rmsTerzband25_8000_Hz	0,749	0,02	spectral_energy_800_4000Hz	-0,909	< ,001
			rmsTerzband29_20000_Hz	0,749	0,02			
			rmsTerzband28_16000_Hz	0,748	0,021			
			rmsTerzband26_10000_Hz	0,748	0,02			
			rmsTerzband27_12500_Hz	0,748	0,02			
			rmsTerzband9_200_Hz	0,744	0,022			
			unangenehm/angenehm mean	0,739	0,023			
			chroma_entropy_harmonic	0,737	0,024			
			roughnessSetharesMean	0,699	0,036			
			rmsOktavband5_500_Hz	-0,669	0,049			
			rmsGammatone4	-0,699	0,036			
			spectralRollOff	-0,712	0,031			
			rmsTerzband15_800_Hz	-0,724	0,027			
			spectral_contrast_800_1600Hz	-0,732	0,025			
			eventDensity	-0,75	0,02			
			formants2	-0,753	0,019			
			spectral_energy_800_4000Hz	-0,756	0,019			
			rmsOktavband6_1000_Hz	-0,805	0,009			
			rmsTerzband16_1000_Hz	-0,829	0,006			
			roughnessVassilakisMean	-0,862	0,003			
			highestPeakFrequency	-0,868	0,002			
			formants1	-0,882	0,002			
			timbral_brightness	-0,892	0,001			
			spectralFluxOver1000	-0,894	0,001			
			zeroCrossingRate	-0,903	< ,001			
			sharpnessAcumDIN45692	-0,907	< ,001			
			timbral_roughness	-0,91	< ,001			
			spectral_strongpeak	-0,915	< ,001			
			spectralCentroid	-0,93	< ,001			
			timbral_sharpness	-0,933	< ,001			
			formant1	-0,938	< ,001			
			fundamentalPeak	-0,941	< ,001			

Tabelle A.9: Korrelationen Hörer*innenbewertung und Klangeigenschaften-Äolsaerophone.