

GMTH Proceedings 2021

herausgegeben von
Florian Edler und Immanuel Ott

Tonsysteme und Stimmungen

21. Jahreskongress der
Gesellschaft für Musiktheorie
Basel 2021

herausgegeben von
Moritz Heffter, Johannes Menke,
Florian Vogt und Caspar Johannes Walter



Die GMTH ist Mitglied von CrossRef.
<https://www.crossref.org>



Diese Ausgabe erscheint im Open Access und ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz.



This is an open access volume licensed under a
Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Johannes Keller, Andrea Heilrath, Caspar Johannes Walter

Staunen, Hören, Verstehen

Perspektiven in der Arbeit mit dem Arciorgano

Das Arciorgano wurde im 16. Jahrhundert von Nicola Vicentino als Instrument zur Begleitung von enharmonischer Vokalmusik verwendet. Die für ein Forschungsprojekt der Musik-Akademie Basel 2016 fertiggestellte Rekonstruktion des vieltönigen Instruments (36 Tasten pro Oktave) zeigt seitdem sein Potential als Brücke zwischen einem praktisch angelegten Verständnis historischer Musik und wurde zum Experimentierfeld für mikrotonale zeitgenössische Musikpraxis. Im Vergleich ähnlicher klanglicher Konstellationen aus verschiedenen Kontexten zwischen Alt und Neu, zwischen Musik und Physik erscheinen Möglichkeiten für ein offenes Verständnis musikalischer Fragen über die Grenzen bestehender Systeme hinweg. Dabei steht das Hören im Zentrum. In der Keynote des Jahreskongresses der GMTH 2021 in Basel zeigten Johannes Keller, Andrea Heilrath und Caspar Johannes Walter historische Aspekte des Arciorgano, seine Fähigkeit der Darstellung physikalischer Fragestellungen und Variabilität von Intonation und Klang auf.

The arciorgano was used in the 16th century by Nicola Vicentino as an instrument to accompany enharmonic vocal music. The reconstruction of the polyphonic instrument (36 keys per octave), which was completed for a research project at the Musik Akademie Basel in 2016, has since demonstrated its potential as a bridge to a practical understanding of historical music, and has opened a new field of experimentation for microtonal contemporary music practice. By comparing similar tonal constellations from different contexts between old and new—between music and physics—possibilities appear for an open understanding of musical questions beyond the boundaries of existing systems. The focus here is on listening. In the keynote speech at the GMTH 2021 annual congress in Basel, Johannes Keller, Andrea Heilrath, and Caspar Johannes Walter presented historical aspects of the arciorgano, its ability to represent physical issues, and the variability of intonation and sound.

Vorwort

Der hier vorliegende Text ist eine Dokumentation der gleichnamigen Kongress-Keynote, die in drei Teilen das Arciorgano als Wissensspeicher, als Instrument klingender Theorie und als Ort, in dem sich Verborgenes offenbart, zeigt. Das Instrument steht auf dem Campus der Musik-Akademie Basel und wird durch das

Studio31¹ verwaltet. Es steht auf Anfrage auch interessierten Gästen zu Verfügung. Studierende und Lehrende können fast täglich damit arbeiten. Im Rahmen von Studio31 werden damit vielfältigste experimentelle Projekte durchgeführt, nicht nur im Bereich historischer Musik, sondern auch weit darüber hinaus im Bereich der zeitgenössischen Musik und der Musik anderer Kulturen.

Die Keynote stellt drei verschiedene Arbeitsfelder und Ansätze vor und veranschaulicht diese durch zahlreiche klangliche Beispiele. Im ersten Teil beleuchtet Johannes Keller den Prozess der Rekonstruktion des Instruments und seiner möglichen Stimmungen, die Physikerin Andrea Heilrath nimmt im zweiten Teil als Physikerin einen Blick von außen vor. Sie knüpft stellt im zweiten Teil eine Querverbindung zu Helmholtz her und zeigt die physikalische Evidenz von Konsonanz. Caspar Johannes Walter zeichnet nach, wie das Arciorgano für das Komponieren neuer Musik fruchtbar gemacht werden kann.

I. Das Arciorgano – Eine ›hypothetische‹ Rekonstruktion

Das Arciorgano ist eine Rekonstruktion, eine hypothetische Rekonstruktion, denn es gibt kein Originalinstrument. Es gibt aber eine Reihe von Beschreibungen. Im Zentrum steht das Traktat von Nicola Vicentino, gedruckt im Jahr 1555 in Rom. Darin beschreibt Vicentino nicht nur, wie das Instrument zu funktionieren hat und wie es zu bauen ist, sondern vor allem auch, dass das Instrument eine unersetzbare Voraussetzung für das Verständnis des Traktats sei. Für Leserinnen und Leser ohne Zugang zu einem solchen Tasteninstrument ist das frustrierend. Mit der Basler Rekonstruktion ist es jetzt erstmalig möglich, Vicentinos Text ganzheitlich zu rezipieren. Die Rekonstruktion ist in Bezug auf Materialien und Herstellungstechniken im 16. Jahrhundert verortet.

Das Arciorgano ist ein sogenanntes *Organo di Legno*, besteht also ausschliesslich aus Holzpfeifen, hat ein einziges Register, heute würde man sagen in Achtfusslage, allerdings einen Ton höher als 440 Hz. Das heisst, die G-Taste klingt wie ein A=440 Hz. Alle Pfeifen sind offene Prinzipalpfeifen. Die Klaviatur besteht aus zwei Manualen, die zusammen 36 Tonstufen pro Oktave abdecken. Der Umfang ist C bis c''', also vier Oktaven. Bis auf die unterste Quarte ist die Klaviatur komplett in 36 Tasten pro Oktave geteilt. Auf dem unteren Manual befinden sich 19, auf dem oberen 17 Tasten pro Oktave. Alle Obertasten sind zweigeteilt, zusätzlich

1 Auf der Webseite <https://www.projektstudio31.com/> finden sich weitere Informationen zum Projekt.

gibt es kleine Obertasten zwischen B \sharp und C und zwischen E und F. Die weissen Tasten sind konventionell angeordnet und bilden eine konventionelle diatonische Skala. Die Windversorgung geschieht über Keilbälge, die man von Hand oder mit einem Gebläse bedienen kann. Der Winddruck beträgt 52 mm Wassersäule, ist also verhältnismässig niedrig, aber typisch für die Zeit.

Für die Pfeifen haben wir Kanadische Gelbzeder verwendet, was sehr ähnliche Eigenschaften wie Zypresse hat. Zypresse wäre die historisch naheliegendste Wahl als Material für Orgelpfeifen, ist heute allerdings nur schwer zu erhalten, und wir haben es trotz umfangreicher Anstrengungen nicht geschafft, genügend Zypressenholz für den Bau des Arciorgano zu finden. Wir haben uns entschieden, die Pfeifen nicht stimmbar zu machen, das heisst, sie wurden in der Werkstatt auf die klingende Länge geschnitten. Da das Holz der Kanadischen Gelbzeder kaum arbeitet, hält die Stimmung bemerkenswert gut: Seit der Fertigstellung des Instruments im November 2016 wurde die Grundstimmung nie korrigiert. Es ist allerdings möglich, die Grundstimmung durch die Platzierung von Holzklötzen auf die obere Öffnung der Pfeifen zu modifizieren.

Die Pfeifen des Arciorgano sind nicht wie konventionelle Holzpfeifen gebaut, sondern orientieren sich an der einzigen erhaltenen Holzorgel aus dem 16. Jahrhundert, die in der Silbernen Kapelle der Hofkirche in Innsbruck steht. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass der Pfeifenfuss mit dem Block deutlich länger ist als bei konventionellen Holzpfeifen. Dieser formt ausserdem einen Windkanal, der sich ähnlich wie bei der Blockflöte zur Kernspalte hin verjüngt. Der Klang der so gebauten Orgelpfeifen ist etwas weicher und heller als bei konventionell gebauten Pfeifen. Der Klang des Arciorgano lässt die Intervallgrössen und -charakteristika besonders deutlich in Erscheinung treten.

Ein zentraler Aspekt bei der Beschreibung des Arciorgano betrifft die Stimmung. Diese wird jedoch von Vicentino nicht eindeutig definiert. Er beschreibt in erster Linie die musikalische Wirkung einzelner Intervalle und kontrapunktischer Konstellationen, verzichtet aber auf eine mathematisch fassbare Beschreibung einer konsistenten Stimmung. Zudem gibt es im Traktat zahlreiche mehrdeutige oder widersprüchliche Aussagen. Dieser Sachverhalt offenbart wichtige Aspekte von Vicentinos Denken und der Realität seiner musikalischen Praxis.

L'ANTICA MVSICA RIDOTTA ALLA MODERNA PRATTICA, CON LA DICHIARATIONE, ET CON GLI ESSEMPI DE I TRE GENERI, CON LE LORO SPETIE. ET CON L' INVENTIONE DI VNO NVOVO STROMENTO, NELQVALE SI CONTIENE TVTTA LA PERFETTA MVSICA, CON MOLTI SEGRETI MVSICALI.²

Eine um Antike Elemente erweiterte moderne Musik mit Erklärungen und Beispielen der drei Genera und ihren Intervallarten. Mit der Erfindung eines neuen Instruments [das Archicembalo und das Arciorgano], das die Musik vollständig und vollkommen wiedergeben kann, einschliesslich zahlreicher musikalischer Geheimnisse.

Diese Geheimnisse sind Gegenstand meiner Forschung, denn sie werden von Vicentino nicht explizit benannt. Im Folgenden werde ich verdeutlichen, warum die Frage nach *der* Stimmung des Arciorgano so schwer zu beantworten ist.

Das Arciorgano ist ein ›Kondensat‹ oder ›Kristallinat‹ zahlreicher Konzepte, die jenseits von Tasteninstrumenten relevant waren, sowohl im 16. Jahrhundert wie heute. Dabei denke ich an aufführungspraktische Prinzipien der Vokalpolyphonie und in Instrumentalconsorts bzw. Mischungen von beiden. In diesen Kontexten geschieht in Bezug auf Intonation und Stimmung vieles, das sich jenseits von einem Diskurs über Orgelstimmungen abspielt. Trotzdem verkörpert das Arciorgano solche Prinzipien, was zu einer gewissen ›Unschärfe‹ führt, wenn man sie im Rahmen einer rigiden Orgelstimmung verstehen möchte.

Mit Unschärfe meine ich nicht Ungenauigkeit oder Beliebigkeit, sondern ein offenes Potenzial. Unschärfe ist notwendig, wenn sich widersprechende Prinzipien gleichzeitig angewendet werden. Dass genau dies in Vicentinos musikalischer Praxis geschieht, ist eines der Schlüsselerkenntnisse meiner detaillierten Lektüre seines Traktats. Zu den sich überlagernden Prinzipien gehören folgende:

1. Die Hexachord-Solmisation als Repräsentation eines Tonsystems, aber auch als Leitplanke für den ästhetischen Umgang mit Tonmaterial. Wie es von Anne Smith immer wieder auf den Punkt gebracht wurde, wurde im 16. Jahrhundert jeder Silbe eine spezifische Qualität zugeschrieben.³ Somit ist jeder Tonschritt ein Verlauf, der von einer Qualität zu einer anderen Qualität führt. Das heisst, jedes melodische Intervall hat zusätzlich zu seiner offenkundigen kontrapunktischen Bedeutung auch eine transformierende Beschaffenheit. Das hat Auswirkungen auf Klangfarben, die Präsenz der einzelnen Stimmen und auf die Balance innerhalb mehrstimmiger Zusammenklänge. Das Bewusstsein für die Qualitäten der Silben bzw. für die transformierende Wirkung melodischer

2 Vicentino 1555, Titelblatt.

3 Siehe Smith 2011, 20 (Kapitel zur Solmisation).

Intervalle ist allgegenwärtig in Vicentinos Denken und ist deshalb beim Stimmungsdiskurs mitzubedenken.

2. Die Notation ist ein weiteres Prinzip, das Vicentinos Praxis kennzeichnet. Um seine Musik, die signifikant mehr Tonstufen und Intervallgrößen verwendet und zwei weitere Tongeschlechter (das chromatische und enharmonische Genus) umfasst, notieren zu können, führt Vicentino nur ein einziges neues Symbol gegenüber der konventionellen Notation ein: den Punkt über dem Notenkopf. Er verwendet ihn im Sinn einer Tabulatur, denn der Punkt zeigt an, dass die betroffene Note auf dem oberen Manual seines Tasteninstrumentes zu greifen ist. Er zeigt aber in vielen Fällen nicht die kontrapunktische Bedeutung der Note an. Ein Beispiel: Der Ton *D* kann auf dem Arciorgano um eine enharmonische Diesis höher gespielt werden, was mit einem Punkt über dem *D*-Notenkopf notiert wird. Eine grosse Terz über diesem \dot{D} ist ein um eine enharmonische Diesis erhöhtes $\sharp F$, was bei Vicentino jedoch als $\flat G$ notiert wird. Die Notation dieser Konsonanz ($\dot{D}-\flat G$) suggeriert eine verminderte Quarte, ist aber klanglich eine reguläre grosse Terz. Die Stimmung des Arciorgano bildet also klangliche Realitäten ab, die von der Notation nicht unmittelbar sichtbar gemacht bzw. nur mit Umdenken über die Klaviatur erfasst werden können.

Vicentino unterscheidet melodische und harmonische Intervalle kategorisch und beschreibt sie mit getrennten Tonsystemen. Die melodischen Intervalle nennt er *gradi e salti* und beschreibt sie im ersten Buch seiner *prattica musicale*⁴, die Zusammenklänge nennt er *consonanze e dissonanze*, die hauptsächlich im zweiten Buch beschrieben werden⁵. Damit unterscheidet er sich von anderen Autoren, die zwar melodische Intervalle und Zusammenklängen explizit benennen, sie aber tonsystematisch gleich behandeln: Alle entspringen dem natürlichen Gamut und können unter bestimmten Bedingungen mit \sharp und \flat alteriert werden. Vicentino bricht den Gamut grundsätzlich auf und führt völlig neu strukturierte Skalenkonstrukte ein, die nicht mehr als Modifikationen des Gamut verstanden werden können, sondern eigenständig aus den drei *generi* und ihren jeweils acht *modi* abgeleitet werden. Das gilt allerdings nur für die melodischen Intervalle. Für die Zusammenklänge verwendet Vicentino die konventionellen Kategorien der bekannten Konsonanzen und Dissonanzen. Dabei beschreibt er jedoch ein Spektrum von reiner Stimmung bis zu expressiv gestauchten oder gedehnten Varianten. Das

4 Vicentino 1555, fol. 17v-26v.

5 Vicentino 1555, fol. 27r-32v.

Arciorgano verkörpert beide tonsystematischen Ansätze gleichzeitig: Seine Stimmung bildet sowohl die konventionellen Zusammenklänge in verschiedenen Varianten, als auch die komplexe Vielzahl der *generi* und *modi* mit ihren fein unterschiedenen Tonstufen und Schrittgrößen ab.

Möchte man die Stimmung des Arciorgano einordnen, kann man mit Sicherheit sagen, dass es sich irgendwo im Kontinuum zwischen pythagoreischer und reiner Stimmung befindet. An gewissen Stellen auf der Klaviatur lassen sich übergrosse Terzen finden, die an pythagoreische Terzen erinnern, aber sie werden nicht systematisch angelegt. Ebenso wenig wird die für die reine Stimmung konstitutive Unterscheidung der beiden Ganztöne 9:8 und 10:9 eingelöst, sondern es wird prinzipiell mit nur einer einzigen Ganztonidentität gearbeitet. Die 1/4-Komma-Mitteltönigkeit ist ein wichtiger roter Faden beim Stimmen des Instruments, allerdings sind über jeder Taste des Untermanuals auch reine Quinten und reine kleine Terzen greifbar. Die Arciorgano-Stimmung besteht also aus einer hybriden Überlagerung verschiedener Prinzipien, die sich gegenseitig auszuschliessen scheinen. In ihrer praktischen Anwendung, beispielsweise als Unterstützung bei der Einstudierung chromatischer Madrigale von Michelangelo Rossi, ist die Stimmung leistungsfähig und evident. Ihre mathematische Modellierung ist jedoch eine Herausforderung. Es bieten sich verschiedene Modelle an, die je nach zu studierendem Anwendungsfall unterschiedlich kombiniert werden könnten.

Als Basis kann das Modell der 31-fachen gleichstufigen Teilung der Oktave produktiv sein. Damit liegt man nahe an der 1/4-Komma-Mitteltönigkeit und kann einen grossen Teil von Vicentinos Tonsystem abbilden. Die reinen Quinten und kleinen Terzen, sowie andere unkonventionelle Varianten von Intervallgrößen lassen sich damit aber nicht modellieren. Durch eine um 1/4 des syntonischen Kommas transponierte Duplikation der 31-stufigen Oktavteilung erhält man ein vollständigeres Modell, allerdings definiert es 62 Tonstufen. Die 36 Tasten des Arciorgano können als sinnvolles Subset dieser 62 Tonhöhen betrachtet werden. Steht die Reinheit von grossen Terzen im Vordergrund, sollte statt der 31-Stufigkeit eine regelmässige 1/4-Komma-Mitteltönigkeit verwendet werden, wodurch sich der 31-fache Quintenkreis zwar nicht mehr vollständig schliesst, aber weiterhin musikalisch plausible Intervallgrößen produziert werden.

Diese Gedanken sollen genügen, um zu demonstrieren, dass *die* Arciorgano-Stimmung ein komplexes Geflecht unterschiedlicher Prinzipien, Strategien und Modelle ist, das sich an die aufführungspraktischen Bedingungen oder musiktheoretischen Ansprüche anpassen lässt. Ich sehe Vicentinos Stimmung weniger

als Legitimation oder Filter für »unbedenkliche Intervalle« sondern eher als Bauprinzip, als Material, um Musik zu erkunden und herzustellen. Das Arciorgano orientiert sich an einer Musikpraxis, es ist eine Musik produzierende Maschine. Wir können aus einer heutigen Aussenperspektive versuchen, dies alles zu theoretisieren, aber Vicentino selbst tat das nicht. Aus diesem Grund rege ich dazu an, Vicentino nicht als Musiktheoretiker zu kategorisieren, sondern als Musikpraktiker. Man kann seine musikalische Vision theoretisieren, aber dazu muss man erst bis ins Detail nachvollziehen, was er mit den in seinem Traktat beschriebenen Mitteln eigentlich herstellen wollte.

Ich möchte mit zwei Zitaten von Vicentino schliessen, in denen deutlich wird, wie sehr sich Vicentino bewusst war, dass sich seine klingende Musik dem Beschreibungshorizont der Musiktheorie seiner Zeit entzieht.

Si ch' il Discepolo dè imparare à comporre di cantare questi tali gradi & salti sproportionati, acciò sia perfetto Musico, et perfetto Cantore; & che nelle compositioni sappia accordare et accompagnare con l'armonia ogni sorte di voci sproportionate, & irrationali; & anchora con la voce cantarle, che dimostrerà al mondo esser raro, & far con l'arte quello che non hà potuto far la ragione.

Der Schüler muss lernen, solche proportionslose [enharmonische] melodische Intervalle zusammenzufügen und zu singen, sei er vollkommener Ensembleleiter oder Sänger. Und er muss beim Komponieren wissen, wie alle Arten von proportionslosen und irrationalen Stimmführungen zusammenklingen und sie kontrapunktisch setzen können. Er muss auch fähig sein, diese Intervalle zu singen, um ihre Seltsamkeit aufführen zu können. Er muss schliesslich kunstfertig das tun, was der Verstand [die Musiktheorie] nicht zu leisten vermag.⁶

Vicentinos Motivation, eine Musik zu schaffen, die sich auch jenseits der ›*ragione*‹ abspielt, ist stets die Expressivität. Er möchte das, was die Musik auszudrücken vermag, erweitern. Das geht einher mit einer Kritik an der konventionellen modernen Musik seiner Zeit, die er zwar akzeptiert und schätzt. Allerdings attestiert er ihr ein Verkennen des vollen Potenzials der Mehrstimmigkeit, indem sie die erlaubten Stimmführungen auf nur wenige Tonschritte reduziert. Vicentino betrachtet die konventionelle Musik als nachlässige Mischung aller drei *generi*: der *tono* und der *semitono naturale* werden dem diatonischen Tetrachord entnommen, die *terza minore* dem chromatischen und die *terza maggiore* dem enharmonischen Tetrachord. Dabei werde vernachlässigt, dass im chromatischen Tetrachord auch ein *semitono minore* und im enharmonischen zwei verschiedene *diesis* entstehen.

6 Vicentino 1555, fol. 66v (Übersetzung des Autors).

Ich verstehe Vicentinos Traktat als Aufruf: »Schaut genau hin! Wenn wir schon die drei *generi* mischen, dann doch bitte in ihrer vollständigen Gestalt, weil wir dann viel mehr Material zur Verfügung haben, um differenziert Musik zu machen. Lasst uns eine Musik machen, die mehr Vokabeln und mehr Farben hat!«

Vicentino war sich bewusst, dass seine Gedanken nur ein Anfang sind, der sich noch viel weiter ausbauen liesse. Im folgenden Zitat sehe ich mich selbst und uns alle angesprochen, wenn Vicentino aus der Vergangenheit das Folgende sagt:

Et come che li principij d'ogni scienza siano sempre stati deboli, speriamo nondimeno che hora in una, hora in altra parte augumentandosi, habbia ad havere fra poco tempo la sua perfettione: & che i posterj, vista la grandezza, & nobiltà di quest'arte, siano (minutamente osservandola) per iscoprirvi dentro infiniti secreti, & come è occorso à questa prattica Musicale, che fin hora è stata dal mondo usata, che dal suo principio, infino al presente, hà fatto appresso i dottissimi Musici mirabile acquisto, così di tempo in tempo accaderà (con l'aiuto di Dio) à questo mio debole principio. Et spero che li miei posterj la faranno molto più grande, & per quanto posso comprendere la veggio profundissima.

Und da die Anfänge jeder Disziplin [Wissenschaft] stets schwach sind, hoffen wir, dass sie mal hier und mal dort erweitert wird, um in kurzer Zeit zur Vollständigkeit zu wachsen. Hoffen wir weiter, dass Nachfolger – in Anbetracht der Grösse und Erhabenheit dieser Kunst – in aller Ernsthaftigkeit und Gründlichkeit unendliche Geheimnisse lüften werden. Seit den Anfängen der Musik bis zur Art, wie sie heute praktiziert wird, ist ihr von den fähigsten Musikern stets Wunderbares hinzugefügt worden. Mit Gottes Hilfe soll meiner [in diesem Traktat beschriebenen] kleinen Anregung Ähnliches widerfahren. Ich hoffe, dass meine Nachfolger sie weiterführen mögen, denn mir scheint sie, soweit ich es selbst erkennen kann, ausgesprochen tiefgründig zu sein.⁷

II. Klingende Physik – Was hat das Helmholtz-Lochsirenen-Experiment mit dem Arciorgano zu tun?

Bis ins 19. Jahrhundert war die Musiktheorie deutlich enger mit den Naturwissenschaften verbunden, als sie es heute ist. In den Anfängen dienten vor allem Saiten als Untersuchungsgegenstand der Harmonielehre und Akustik, wobei die Monochord-Experimente von Pythagoras (ca. 570–495 v. Chr.) eines der frühesten und bekanntesten Beispiele darstellen. Die aus diesen Experimenten resultierende Harmonielehre, die auf ganzzahligen Verhältnissen beruht, ist bis heute gültig. Warum aber gerade diese Verhältnisse konsonante Intervalle ergeben, blieb lange

⁷ Vicentino 1555, fol. 10v (Übersetzung des Autors).

Zeit ungeklärt. Hermann von Helmholtz formulierte in seiner *Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*:

[...] aber es ist mir nicht bekannt, dass wirklich ein Fortschritt gemacht wäre um die Frage zu beantworten, was haben die musikalischen Consonanzen mit den Verhältnissen der ersten sechs ganzen Zahlen zu thun? Sowohl Musiker, wie Philosophen und Physiker haben sich meist bei der Antwort beruhigt, dass die menschliche Seele auf irgend eine uns unbekannte Art die Zahlenverhältnisse der Tonschwingungen ermitteln könne und dass sie ein besonderes Vergnügen daran habe, einfache und leicht überschauliche Verhältnisse vor sich zu haben.⁸

Helmholtz' Ansatz zur Schließung dieser Wissenslücke bestand darin, die Struktur einzelner Töne genauer zu untersuchen. Ein wichtiges Instrument für akustische Experimente im 19. und 20. Jahrhundert war die Sirene, die nicht nur von Helmholtz (1821–1894), sondern bereits von den Physikern Thomas Johann Seebeck (1770–1831) und Georg Ohm (1789–1854) verwendet wurde. Ihren Namen verdankt sie Charles Cagniard de la Tour (1777–1859), der mit seiner neuartigen Konstruktion auch unter Wasser Töne erzeugen konnte. Helmholtz führte zahlreiche Experimente mit Lochsirenen durch und entwickelte neue Aufbauten wie beispielsweise die Doppelsirene.

Fig. 1.

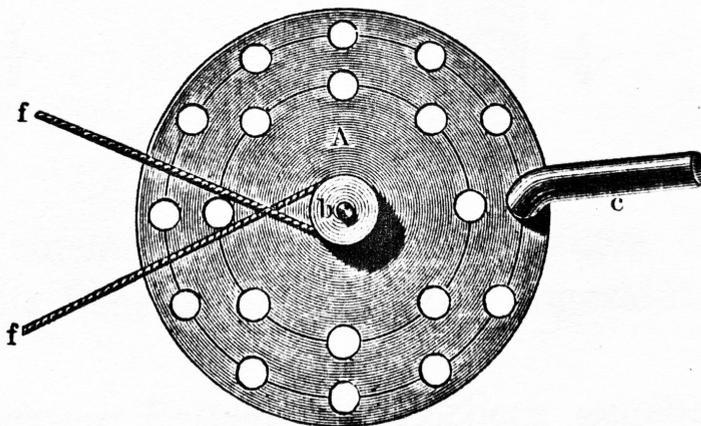


Abbildung 1: Schematische Zeichnung einer Lochsirene. Die Lochscheibe A wird über die Seile ff um ihre mittlere Achse b schnell gedreht. Lässt man Luft durch das Röhrchen c strömen, entsteht ein Klang. Das Verhältnis der Lochzahlen 12:8 bzw. 3:2, entspricht einer reinen Quinte. Abbildung nach Seebeck / Helmholtz, entnommen aus Helmholtz 1863, S. 21

8 Helmholtz 1863, 2.

Der einfachste Aufbau einer Sirene besteht aus einer rotierenden Lochscheibe und einer kontinuierlichen Luftzufuhr durch ein Rohr, wie in Abbildung 1 dargestellt. Die Löcher in der Scheibe sind in regelmäßigen Abständen auf konzentrischen Kreisen angeordnet. Der Antrieb erfolgt mechanisch, so dass die Scheibe mit einer bestimmten Frequenz rotiert. Wenn Luft durch das Rohr strömt, ertönt ein hörbarer Klang. Die Grundfrequenz des Klangs wird allein durch die Drehfrequenz der Lochscheibe und die Anzahl der Löcher bestimmt: Bei einer Drehfrequenz von beispielsweise 100 Umdrehungen pro Sekunde erzeugt der äußere Lochkreis der Scheibe in Abbildung 1 eine Frequenz von $12 \cdot 100 \text{ Hz} = 120 \text{ Hz}$. Mit der Sirene war es somit erstmals möglich, absolute Frequenzen von Klängen zu bestimmen und diese durch kontrollierte Vergleiche zu untersuchen.

Im Gegensatz zu Vincentino, der die Musik durch neue Kombinationsmöglichkeiten obertonarmer Pfeifentöne zu erweitern suchte, ging es Helmholtz darum, die innere Zusammensetzung eines einzelnen, obertonreichen Klangs und dessen Wahrnehmung zu verstehen. Neben der Tonhöhe und der Lautstärke, die einen Ton bestimmen, war es vor allem die Untersuchung der Klangfarbe, die neue Erkenntnisse brachte. Zwar war durch Joseph Fourier (1768–1830) schon lange bekannt, dass sich komplexere Schwingungen durch eine Kombination von Sinustönen darstellen lassen, doch musste erst gezeigt werden, dass dies in der Akustik auch der physikalischen Realität entspricht. Neben Versuchen, Instrumente durch äußere Anregung von Obertönen zum Klingen zu bringen (sogenanntes Mittönen), wies Helmholtz die Existenz von Obertönen auch mit Hilfe einer Doppelsirene nach. Mit diesem experimentellen Aufbau war es möglich, zwei Töne und deren Obertonspektren miteinander zu vergleichen, wobei Schwebungen eine zentrale Rolle spielten. Mit seinen Experimenten konnte er unter anderem zeigen, dass

- ein Intervall ausschließlich durch das Verhältnis von Frequenzen bestimmt wird,
- schwebungsfreie Intervalle nur bei exakt ganzzahligen Verhältnissen auftreten,
- Klänge aus einem Grundton und weiteren Obertönen bestehen und
- die Wahrnehmung durch das Ohr auf der Zerlegung in Teiltöne beruht.

Mit der Erkenntnis, dass die typische Obertonstruktur komplexer Klänge harmonisch ist, konnte das Rätsel der einfachen ganzzahligen Verhältnisse gelöst werden: Intervalle klingen dann konsonant, wenn möglichst viele Obertöne übereinstimmen und somit keine Schwebung erzeugen. Dies ist genau dann der Fall, wenn das Frequenzverhältnis der Grundfrequenzen einem einfachen ganzzahligen

gen Verhältnis entspricht. Der Wohlklang konsonanter Intervalle beruht also auf der inneren Struktur der einzelnen Klänge.



Abbildung 2: Das Sirenenfahrrad nach Helmholtz. Bei diesem modifizierten Fahrrad ist das Hinterrad durch eine Lochscheibe ersetzt. Die Luftzufuhr erfolgt über einen Kompressor (nicht im Bild). Über Ventile am Lenker können bis zu sechs Lochreihen angesteuert werden. Die Drehgeschwindigkeit der Lochscheibe und damit die Tonhöhe wird durch das Treten der Pedale gesteuert.

Das Sirenenfahrrad (Abbildung 2) dient als doppeltes Experiment: Zum einen gehen die Lochplattendesigns über die historisch verwendeten Muster hinaus, zum anderen wird die Sirene so zu einem interaktiven, spielbaren Instrument. Der Aufbau des Sirenenfahrrades ist dem oben beschriebenen Aufbau nach Seebeck / Helmholtz⁹ sehr ähnlich. Die Lochscheibe wird über die Pedale angetrieben, mit denen auch die Tonhöhe gesteuert wird. Die Luftversorgung erfolgt über einen Kompressor, der Druckluft mit ca. 1 bar zur Verfügung stellt. Insgesamt können bis zu sechs Lochreihen gleichzeitig angesteuert werden, deren Lautstärke über Ventile am Griff eingestellt wird. Bisher gibt es drei verschiedene Lochscheiben, in die unterschiedliche Hörexperimente eingepreßt sind. Die Muster der Lochscheiben eins und drei sind in Abbildung 3 dargestellt und in Tabelle 1 zusammengefasst. Im Folgenden werden die Experimente mit den Lochscheiben vorgestellt und ausgewertet.

9 Vgl. Helmholtz 1863, 21.

Nr.	Lochreihen	Beschreibung
1	1, 3, 5, 7, 9, 11	regelmäßige Lochabstände mit $[11, 9, 7, 6, 5, 4, 3]^*$ 16 Löchern
	2, 8	Intervalle: $5/4 =$ große Terz und $4/3 =$ reine Quarte
	6, 10, 11, 14	unregelmäßige Lochabstände: verschiedenes Rauschen
3	4, 12, 13	Schwebungen: 143 / 46 / 44 Löcher
	1, 4, 7, 10	Shepard Glissando
	2, 5	unregelmäßige Lochabstände: verschiedenes Rauschen
	3, 6, 8, 9	Experimente der Lochform

Tabelle 1: Konfiguration der Lochreihen der beiden Scheiben.

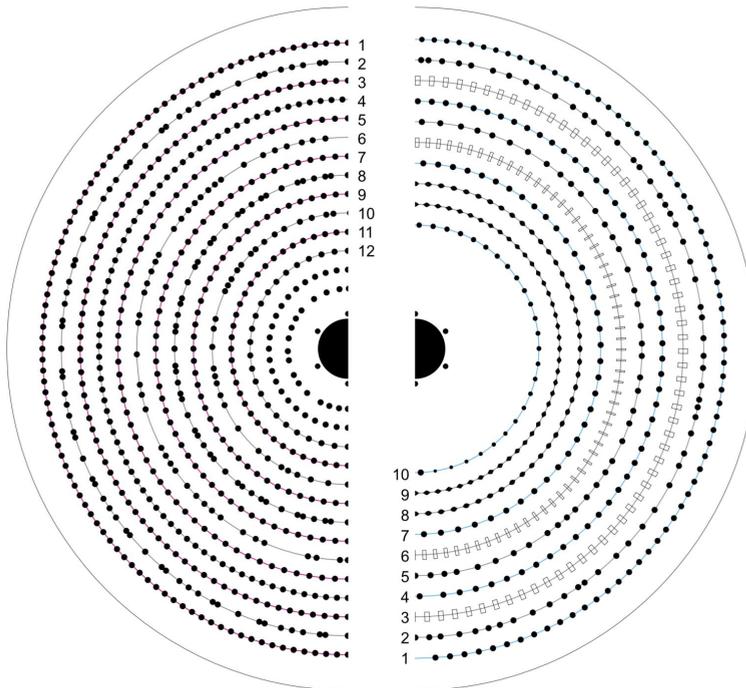


Abbildung 3: Lochplattendesigns für das Sirenenfahrrad. Links: Scheibe Nr.1 mit regelmäßigen Lochabständen (Magenta), Intervalle der großen Terz und reinen Quarte, Rauschen und Schwebungen. Rechts: Scheibe Nr.3 mit Shepard Glissando (Cyan), Rauschen und verschiedenen Lochformen.

Lochscheibe 1: Gleichmäßige Lochabstände und Schwebungen. Die Lochreihen mit gleichmäßigen Lochabständen kommen den ursprünglichen Experimenten von Helmholtz sehr nahe. Durch die Kombination der Lochreihen mit gleichmäßigem Lochabstand auf der Lochscheibe Nr.1 können folgende reine Intervalle ohne Schwebungen erzeugt werden: Oktave, Quinte, Quarte, große Terz, kleine Terz,

große Sexte. Um Schwebungen zu erzeugen, müssen sich die Lochzahlen leicht unterscheiden. Kombiniert man z.B. die Lochreihen 3 (144 Löcher) und 4 (143 Löcher), erhält man eine Schwebung, deren Frequenz genau der Rotationsfrequenz der Lochscheibe entspricht. Dieser Versuch zeigt, dass sich Schallwellen überlagern und auslöschen: im Laufe einer Umdrehung verschiebt sich die Phase der Schallwellen einmal gegeneinander, was zur Modulation der Lautstärke führt.

Lochscheibe 1: Intervalle und Rauschen. Interessanter sind nun die Lochreihen, bei denen die Löcher nicht in gleichmäßigen Abständen angeordnet sind. In der zweiten Lochreihe ist ein Intervall als Kombination 4:5 (große Terz) eingepreßt, was visuell als ›Rhythmus‹ erkennbar ist (Abbildung 4). Bei sehr langsamer Umdrehungsgeschwindigkeit der Lochscheibe ist dieser Rhythmus wahrnehmbar. Dreht sich die Lochscheibe schneller, entsteht ein Dauerton: Das Intervall der großen Terz wird hörbar. Es ist auch möglich, mit nur einer Lochreihe einen Durakkord (4:5:6) zu erzeugen, was mit einer anderen Lochscheibe realisiert wurde. Ein weiteres Experiment mit unregelmäßigen Lochabständen ist in den Lochreihen 6, 10 und 11 zu sehen. Hier wurden die Lochabstände zufällig gewählt. Tatsächlich kann man mit einer Sirene auch Rauschen, also eine unregelmäßige Schwingung, erzeugen. Die Lochabstände des Rauschens liegen etwa innerhalb einer Oktave.



Abbildung 4: Oben: Ausschnitt der Lochplatte mit dem Muster der großen Terz. Unten: notierter Rhythmus.

Lochplatte 3: Unterschiedliche Lochformen. Durch die Modulation der Lochform können verschiedene Klangfarben erzeugt werden. Ovale Lochformen erzeugen Klänge mit weniger ausgeprägten Obertönen. Beim Übergang zu runden und rechteckigen Lochformen nehmen die Obertöne zu. Obwohl diese Tendenz zu erwarten war, ist es interessant zu beobachten, wie klein der Einfluss der Lochform auf den Klang ist. Es können nur geringe Veränderungen der Klangfarbe erzeugt werden.

Lochplatte 3: Shepard Glissando. Bei dieser akustischen Illusion werden in der ursprünglichen Form¹⁰ einzelne Sinustöne verschoben, die am unteren Ende des Spektrums langsam lauter werden und nach oben hin verschwinden. In der Umsetzung mit der Sirene stießen wir auf einige Hindernisse. Erstens darf die Zeit, in der das Glissando vollständig durchlaufen wird, nicht länger als eine Umdrehung der Lochscheibe sein, was normalerweise weniger als eine Sekunde dauert. Zweitens sind die Töne der Sirene keine reinen Sinustöne, sondern haben ein starkes Obertonspektrum, so dass es schwierig ist, das gesamte Frequenzspektrum zu kontrollieren. Drittens ist der Frequenzbereich der Sirene nach oben und unten begrenzt. Das Glissando ist deutlich hörbar, aber die akustische Illusion kann nicht vollständig reproduziert werden.

Die Sirene spielte eine zentrale Rolle bei der Aufklärung der Obertonstruktur von Klängen und der physikalischen Begründung von Konsonanz. Mit ihrer Hilfe können auch heute noch neue Höreindrücke erzeugt und damit Hypothesen experimentell überprüft werden. Die ›Übersetzung‹ eines Klangmusters in einzelne Löcher auf der Scheibe zwingt uns, Hören und Sehen bzw. Raum und Klang zusammenzudenken. Die Sirene wird so zu einem Instrument, das gleichzeitig Synthese und Analyse von Klängen ermöglicht.

Die neuen Experimente mit den Lochscheiben haben einige Fragen beantwortet und andere eröffnet. Insbesondere durch die Lochreihen mit eingepprägtem Intervall entsteht in gewisser Weise ein Paradoxon: Einerseits entspricht die Überlagerung der beiden Lochreihen dem Intervall, das auch zu hören ist, wenn zwei unabhängige Lochreihen gespielt werden. Andererseits handelt es sich aber nur um eine Lochreihe, einen Klang – und dennoch ist das Intervall hörbar. Dies wirft die Frage auf, inwiefern reine Intervalle als zwei getrennte Klänge zu betrachten sind oder ob sie nicht aufgrund ihres Zusammenspiels von Obertonstrukturen als ein einziger Klang aufgefasst werden können.

Der hier vorgestellte Aufbau macht einen wichtigen Teil der Geschichte der Akustik *erfahrbar*. La Tour, Seebeck, Ohm und Helmholtz haben wesentlich zum Verständnis des Schalls und seiner Wahrnehmung beigetragen. Damit trieben sie nicht nur die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung voran, sondern eröffneten auch der Musiktheorie neue Perspektiven. Die Sirene kann auch heute noch zum besseren Verständnis von Tönen und Intervallen beitragen (Video 1) und bleibt damit ein wichtiges experimentelles Instrument zur Klangerzeugung, das weit mehr zu bieten hat, als vor Gefahren zu warnen.

10 Shepard 1964, 2346–2353.

 https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_01.mp4

Video 1: Demonstration Lochscheibe Nr. 1 am Sirenenfahrrad. In den ersten 60 Sekunden wird die Lochreihe Nr. 2 (Lochverhältnis 4/5, große Terz) gezeigt und gespielt, ab Minute 1:00 Lochreihe Nr. 6 (unregelmäßige Lochabstände, Rauschen)

III. Experimentieren mit dem Arciorgano – Verschiedene Stimmungsmodi in der Praxis

Der klare Klang des Arciorgano, seine leuchtenden Konsonanzen und Dissonanzen und die feine Auflösung im Tonraum durch seine 36 Tasten pro Oktave machen es zum idealen Anschauungsinstrument für fast alle Fragen von Intonation.

Ein Sheppard-Glissando, wie es Andrea Heilrath auf dem Helmholtz-Lochsirenen-Fahrrad gezeigt hat, lässt sich gut darstellen (Video 2).

 https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_02.mp4

Video 2, Arciorgano Sheppard scale

Das Arciorgano ist aber auch ein Werkzeug für experimentelle Musiktheorie, bei denen uns Erkenntnisse im Klang offenbar werden.

Im Folgenden gebe ich Einblicke in meine Experimentierwerkstatt. Das Instrument kann verschieden gestimmt werden – eine Stimmung kann als eine Art Versuchsreihe mit Musik auf verschiedene Arten interagieren. Der Klang einzelner Pfeifen kann auf eigenartige Weise bedeutungsvoll sein.

Stimmungsmodi des Arciorgano

Schon Vicentino hat verschiedene Stimmungen des Instruments beschrieben. Es gibt eine auf 31 Töne erweiterte mitteltönige Stimmung mit der Fünf-Teilung des Ganztones und der Möglichkeit, das Enharmonische Tongeschlecht mit der Diesis als kleinstem Schritt zu realisieren. Der Wunsch nach reinen Quinten führt zu anderen Stimmungssystemen. Johannes Keller hat dieses bereits von Vicentino angelegte Spannungsfeld oben beschrieben.

Unter den acht von uns bisher entworfenen Stimmungsmodi sind die historischen von Vicentinos Angaben abgeleiteten Modi die mit den Nummern 1 und 2. Auf dem Modus 3 basiert das später beschriebene Rossi-Experiment, auf das ich hier besonders detailliert eingehen werde.

Die weiteren Modi sind sehr unterschiedlich konstruiert: Rein gestimmt nach Harry Partch ist Modus 4. Die theoretisch interessante 34-fache Temperierung der Oktave ist Modus 5. Modus 6 ist Drittelkomma adaptiv rein, eine zyklische mitteltönige Stimmung mit reinen Klängen. Hier ist zwar keine Enharmonik im Sinne von Vicentino möglich, aber sie wäre für viele historische Musik sehr interessant. Modus 7 ist eine reine Stimmung nach Francisco Salinas. Das Werk dieses Theoretikers des 16. Jahrhunderts sollte unbedingt weiter erschlossen werden. Modus 8 schließlich ist eine fast reine Stimmung in Limit-7, diese im Kontext der Arbeit mit serbischer Volksmusik entwickelte Stimmung klingt wunderschön.

Hier im Überblick die ersten acht der für das Arciorgano entwickelten Stimmungsmodi:

Modus 1 – Viertelkomma mitteltönige Temperierung

Der erste Modus umfasst 30 Quinten von A^{bbb} bis B^\sharp . Es kann auch als 19-tönige Temperierung (mitteltönig) auf der unteren Tastatur (G^b bis B^\sharp) angesehen werden mit einer Verschiebung von 17 der 19 Töne um eine Diesis (128:125; 41¢) nach oben auf der oberen Tastatur. In diesem Modus lassen sich Vicentinos enharmonische Fragmente aufführen.

Modus 2 – Viertelkomma Adaptiv Rein

Auf der unteren Tastatur liegt eine 19-tönige Temperierung (mitteltönig) von G^b bis B^\sharp . Auf der oberen Tastatur liegen die entsprechenden Töne der unteren Tastatur um ein Viertelkomma erhöht (5¢) gestimmt. In diesem Modus können Quinten, Terzen und Dreiklänge rein intoniert werden. Der Modus entspricht Vicentinos *l'altro modo*.

Modus 3 – Walter Pseudorein

Ein modifiziertes reines Stimmungssystem (5-limit) stellt der dritte Modus dar. Alle großen Terzen sind um ein Schisma (2¢) verkleinert. Der Modus bietet eine gute Annäherung für reine Intervalle: Quinten (perfekt), Terzen (2¢ zu klein) und natürliche Septimen (3¢ zu groß).

Modus 4 – Partch

Der Modus ist ein 36-töniges subset von Harry Partchs 43-töniger reiner Stimmung (11-limit, mit Partchs originaler Referenz $1/1 = 392$ Hz).

Modus 5 – EDO-34

EDO-34 (Teilung der Oktave in 34 gleiche Intervalle) ist eine nicht-mitteltönige experimentelle Stimmung, die relativ gute Quinten und Terzen bereitstellt und bei der das Intervall, das die Rolle des syntonischen Kommas einnimmt, relativ groß ist (35¢).

Modus 6 – Drittelkomma Adaptiv Rein

Auf der unteren Tastatur liegt eine 19-tönige Temperierung (mitteltönig) von *G^b* bis *B[#]*.

Auf der oberen Tastatur liegen die entsprechenden Töne der unteren Tastatur um ein Drittelkomma erhöht (7¢) gestimmt. Strukturell entspricht der Modus also dem Modus 2, nur mit einer anderen Quinttemperierung. Es können Quinten, Terzen und Dreiklänge rein intoniert werden. Es handelt sich um eine zyklische Stimmung.

Modus 7 – Salinas 24+12

Die 24 Töne von Francisco Salinas' *instrumentum perfectum* erweitert um 12 weitere Töne, eine reine Limit-5 Stimmung.

Modus 8 – Universal Quasi-Limit-7

Modus 8 enthält 36 Töne aus einem 3D-Tonnetz, bei denen die Quinten, Terzen und Naturseptimen minimal so temperiert sind, dass sich das Tonnetz an verschiedenen Schnittstellen zyklisch erweitert. Bei den Schnittstellen handelt es sich im Tonnetz um die Kleinstintervalle 225:224, 1029:1024 und 2401:2400, die durch die Temperierungen der Intervalle die Größe 0 erhalten.

Mit diesen acht Stimmungsmodi sind wir in die praktische Arbeit mit dem Instrument gestartet, aber wir entwickeln ständig weitere Stimmungen, wenn sich in verschiedenen Projekten neue Möglichkeiten dazu ergeben. Oft eröffnen sich neue Perspektiven, wenn wir Widersprüche, z.B. in den Details der Traktate, etwa bei Vicentino selbst, finden. Man könnte versuchen, die Widersprüche innerhalb eines größeren Systems aufzulösen (oft nach dem Motto »was nicht passt, wird passend gemacht«) oder sie zu ignorieren. Ein Ziel der Experimente am Arciorgano ist es zu schauen, was passiert, wenn wir die einzelnen Gedanken unabhängig voneinander realisieren. Wie die Musik dann klingt, was aus ihr zu uns spricht. Es geht also nicht um ein Stimmungssystem für alles, sondern um

gestimmte Einzelheiten. Die Kriterien für die Umsetzung einer initialen Idee sind vor allem die Stimmbarkeit (die Pfeifen können nur maximal einen Halbton tiefer gestimmt werden) und ein möglichst intuitiv verständliches Tastenlayout. Wir untersuchen die Möglichkeiten nicht nur für konsonante, sondern auch besonders für dissonante und sehr kleine Intervalle, auch als Basis für Akkordverbindungen. Solche werden in Klangbibliotheken katalogisiert. Dabei geht es nicht nur um die Zusammenklänge, sondern auch um das lineare Potential. Ein wesentlicher Aspekt für die Evaluation einer Stimmung ist die Realisation von ›richtiger‹ Musik auf dem Arciorgano (sozusagen als bestmögliche Simulation, die ohne Stimmen oder Melodieinstrumente möglich ist).

Wir definieren Studycases, ganze Kompositionen oder einzelne Phrasen, die wir in Vergleichsaufnahmen aus verschiedenen Stimmungen gegenüberstellen. Wir erarbeiten also verschiedene Lösungen, die interessant sein könnten, ohne sie a priori bewertet zu haben und vergleichen sie dann beim Hören. Um größere Datenmengen gut vergleichbar zu dokumentieren, arbeiten wir dabei oft mit dem mechanischen Interface des Arciorgano. Dies ist eine Magnetsteuerung für die Tasten, die wir über MIDI-Befehle aus den Notensatzprogrammen ansteuern können. Auch wenn ich ein solches Arbeiten nicht historisch, sondern eher experimentell nennen würde, so bringen diese experimentellen Stimmungen die historische Musik oft auf überraschende Weise zum Leuchten – und sie eröffnen Denk- und Vorstellungsräume für eine neue Musik. Ein Beispiel hierfür werden Sie später sehen.

Analyse Stimmungsmodus 3

Modus 3, ›Walter-pseudorein‹ geht von einer Kette aus 24 Tönen im Abstand von reinen Quinten aus, beginnend vom E $\flat\flat$ aufsteigend bis zum F $\sharp\sharp$:

E $\flat\flat$ -B $\flat\flat$ -F \flat -C \flat -G \flat -D \flat -A \flat -E \flat -B \flat -F-C-G-D-A-E-B \natural -F \sharp -C \sharp -G \sharp -D \sharp -A \sharp -E \sharp -B \sharp -F $\sharp\sharp$

Den Notennamen kann man *ratios*, also ganzzahlige Frequenzverhältnisse zuordnen. In der Grafik hier (Abbildung 5) sind alle *ratios* in eine Oktave gebracht. Um die Größen der Intervalle gut einschätzen zu können, wurden ihnen die Cent-Werte (¢) zugeordnet, da *ratios* die Verhältnisse klären, aber oft unübersichtlich in Bezug auf Größen sind.

Eine wesentliche Eigenschaft der Cents-Idee ist, dass man die Halbtöne zu Fließkomma-Werten macht, was es einem ermöglicht, anschaulich über hinreichende Ähnlichkeiten und Mehrdeutigkeiten nachzudenken.

Die verminderte pythagoreische Quarte C–F \flat hat die Größe 384,4¢. Ihre Größe ist nah an der natürlichen großen Terz 5:4, dies ist genau die Terz, die im Helmholtz-Lochkranz-Sirenenexperiment von Andrea Heilrath erklingen ist. Der Unterschied zwischen beiden Terzen beträgt tatsächlich nur zwei Cents, ist also sehr klein. Das ermöglicht es uns, in der pythagoreischen verminderten Quarte C–F \flat die sehr ähnliche große reine Terz C–E zu erkennen.

	Ratio	Cents
F $\sharp\sharp$	1594323/1048576	725,4
B \sharp	531441/524288	23,5
E \sharp	177147/131072	521,5
A \sharp	59049/32768	1019,6
D \sharp	19683/16384	317,6
G \sharp	6561/4096	815,6
C \sharp	2187/2048	113,7
F \sharp	729/512	611,7
B \natural	243/128	1109,8
E	81/64	407,8
A	27/16	905,9
D	9/8	203,9
G	3/2	702,0
C	1/1	0,0
F	4/3	498,0
B \flat	16/9	996,1
E \flat	32/27	294,1
A \flat	128/81	792,2
D \flat	256/243	90,2
G \flat	1024/729	588,3
C \flat	4096/2187	1086,3
F \flat	8192/6561	384,4
B $\flat\flat$	32768/19683	882,4
E $\flat\flat$	65536/59049	180,4

Abbildung 5: die Kerntöne des Modus 3, eine Kette von 24 Tönen in reinen Quinten

Wenn wir die Quintenkette aller 8 Quinten aufschneiden und neu zusammensetzen (Abbildung 6), kommt der folgende Ton in der Terzenebene an den richtigen Platz, also liegt das ursprüngliche F \flat auf dem Platz des E eine Terz über C. Wir erhalten ein Eulersches Tonnetz aus reinen Quinten und gefühlt reinen Terzen. Da wir auf dem Arciorgano 36 Tasten zur Verfügung haben, habe ich das Tonnetz so aufgefüllt, dass es für jede Taste eine Tonhöhe gibt, die dem Wesen des genuin mitteltönig gedachten Tastaturlayouts entspricht. Die Tastaturbelegung ist harmonisch konsistent, sowohl durch Quintfortschreitungen als auch durch den weit

gespannten Terzenraum. Die Tasten gleichen Namens klingen oben jeweils ein pythagoreisches Komma höher als unten.

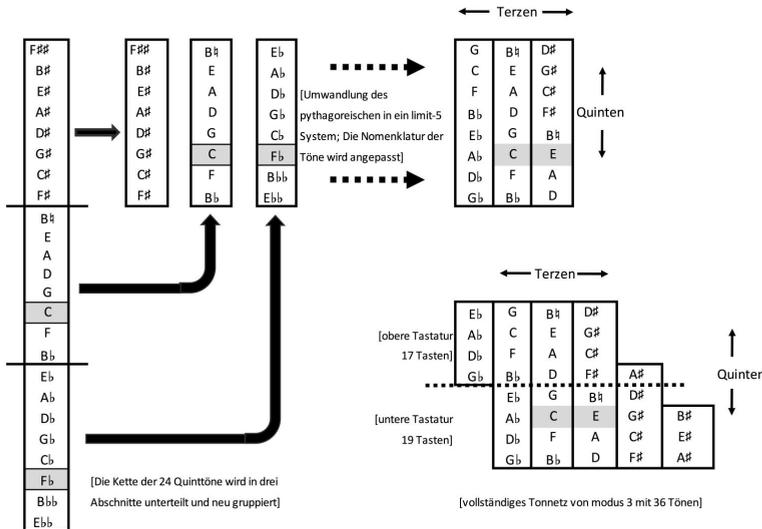


Abbildung 6: Umwandlung der Quintenkette in das Tonnetz von Modus 3

Dieses Komma kann klanglich wegen der Kleinheit des Schismas die Funktion des syntonischen Kommas einnehmen (Abbildung 7).

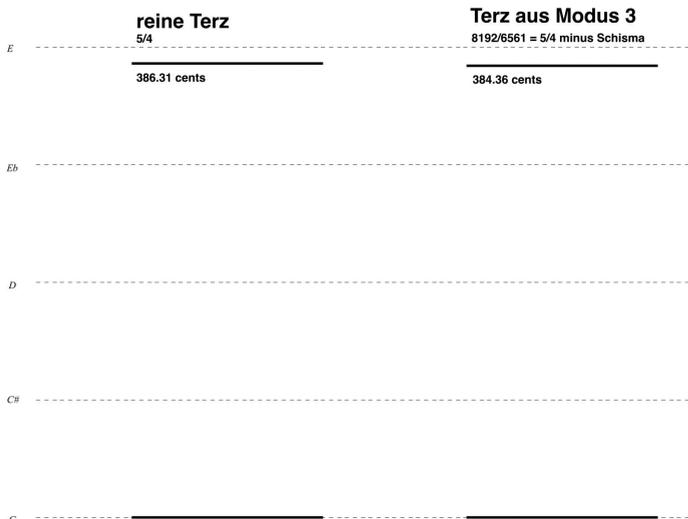


Abbildung 7: Größenvergleich der Terz von Modus 3 mit der reinen Terz 5:4

Auf der Tastatur liegen sie direkt übereinander, im Tonnetz spannen sie einen weiten Raum auf (Abbildung 11).

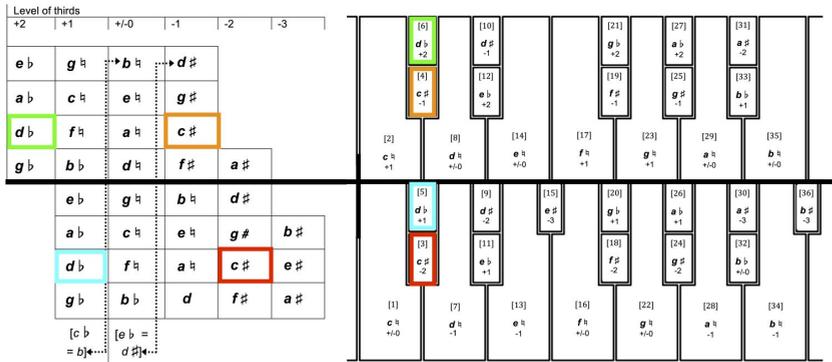


Abbildung 11: das Tonnetz und das Tastaturlayout von Modus 3; die Töne eines engen chromatischen Abschnittes sind farbig markiert

Es gibt neben den perfekten Quinten nicht nur gute Terzen, sondern auch ziemlich gute Naturseptimen. Da die Terz etwas enger ist als die reine Terz 5:4, ist die Qualität der übermäßigen Sexte als Naturseptime erheblich besser, nämlich um zwei Schismata im Vergleich zu einer Intonation aus Quinten und Terzen (Abbildung 12).



Abbildung 12: Größenvergleich verschiedener Intervalle im Bereich der Naturseptime

Solche Ähnlichkeiten sowohl zu tonal bekannten Intervallen, gebildet aus Quinten und Terzen, als auch zu septimalen Intervallen ermöglichen es, hybrid zu arbeiten. Ein Ton kann mehrere Bedeutungen ausdrücken. Der Tritonus C–F# beispielsweise kann sowohl das Intervall Ganzton plus Terz (Proportion 45:32) als auch den obertönigen Tritonus mit der Proportion 7:5 gut ausdrücken; die tatsächlich gestimmte Größe des Intervalls liegt zwischen beiden. Im Fluss der Musik erscheinen die leicht temperierten Klänge sogar als rein und der Kontext entscheidet, welche der möglichen Bedeutungen (limit-5 oder septimal) in den Vordergrund tritt.

Rossi-Experiment

Vor einigen Jahren haben wir explizit einige Passagen aus Michelangelo Rossis Madrigalen als *studycase* für unsere Experimente gewählt. Mit zwei dieser Passagen möchte ich mich im Folgenden beschäftigen.

Die Tonsprache von Rossi eignet sich gut, Akkordstrukturen in verschiedenen Varianten von Intervallen zu testen oder auch bei der Schrittgröße zwischen an sich konventionellen Akkorden zu variieren. Bei Rossi gibt es manchmal kein klares »richtig«, die Klänge sind oft mehrdeutig. Die Möglichkeit, Töne und Akkorde im Raster von Kommata zu versetzen, zeigt dann jeweils eine andere mögliche Bedeutung. Das führt nicht direkt zu einer besonders adäquaten Aufführungspraxis, aber das Bewusstsein über den Reichtum der Bedeutungen und über mögliche Mehrdeutigkeiten lässt uns Rossi in seiner Komplexität besser verstehen. Sicher können einzelne Aspekte dieser Mehrdeutigkeiten variabel verstärkt werden, in dem bei einer in der Priorität eher linear gedachten Interpretation einzelne Stimmen in bestimmten Momenten prominent ausgeführt werden.

Als Beispiel diene ein besonders »dubioser« fünfstimmiger Akkord im Madrigal *Come sian dolorose* (Abbildung 13, Video 3).

Im Stimmungsmodus 3 unseres Experimentes können wir den Akkord annähernd rein stimmen, aber weil der Akkord in sich selbst widersprüchlich ist, fällt dabei immer ein Ton heraus. Es gibt eine Spannung E \flat zu B \sharp und eine Leittonauflösung F zu E, als querständige Linie in den Mittelstimmen von Alt und Tenor. Für unser Experiment haben wir das Beispiel um einen Ton nach unten gesetzt. Das F, aus dem jetzt ein E \flat geworden ist, wird zu einem »beweglichen« Ton, den wir jetzt testweise mit Varianten aus einer wie vorhin beschriebenen Viertonsstrecke D \sharp bis E \flat stimmen.

 https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_03.mp4

Video 3, Rossi 1

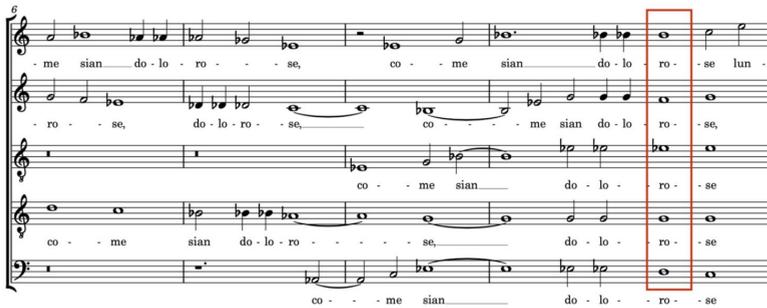


Abbildung 13: Michelangelo Rossi, Madrigali, I.5, *Come sian dolorose*, T.6–10, Notation von Johannes Keller nach der handschriftlichen Partitur 2019

Das Ziel des Experiments war nicht, für die Aufführungspraxis von Rossi neue Stimmungen zu entwickeln, wir wollten vielmehr anhand von Rossi Intervalle erfahren und den Noten Geheimnisse entlocken, mithilfe dieses Instruments, das uns nicht mehr limitiert wie das Klavier. Die konkreten Erscheinungen des Experiments erfüllen nicht nur unsere Vorhersagen, sie erweitern unseren Vorstellungshorizont.

Dieser so typische, sehr komplexe Rossi-Akkord erscheint zunächst monolithisch faszinierend, dann mit dem höheren E \flat etwas diatonischer und in der dritten Version mit dem sehr tiefen D \sharp als naturseptimaler Klang, der zwar evident, aber seltsam erscheint. Im Vergleich der zwei letzten zwei Akkorde spürt man den veränderten Ausdruck (Video 4).

 https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_04.mp4

Video 4, Rossi 1, Akkordvergleich

Man hört nicht nur Unterschiede in der Intonation, sondern auch in der Emotionalität und hinsichtlich einer verschieden starken Gerichtetheit auf den Auflösungsakkord hin. Das gibt uns Grund zum Nachdenken.

Das zweite Beispiel (Abbildung 14) beschäftigt sich mit einer Akkordfolge aus drei Akkorden. Im Unterschied zum ersten Beispiel handelt es sich nicht um komplexe Akkorde, es sind hier einfache Dur-Akkorde, B \flat -Dur, G-Dur, E-Dur, also eine Progression in kleinen Terzen abwärts.

37
 non mor - rà, non mor - rà l'al - ma mi - a?
 non mor - rà, non mor - rà l'al - ma mi - a? Don - na fal - la - ce e ri -
 rà, non mor - rà l'al - ma mi - a? Don - na fal - la - ce e ri -
 rà l'al - ma mi - a, l'al - ma mi - a? Don - na fal - la - ce e ri -
 l'al - ma mi - a, l'al - ma mi - a? Don - na fal - la - ce e ri -

Abbildung 14: Michelangelo Rossi, Madrigal, I.3, *Per non mi dir ch'io moia*, T. 37–41, Notation von Johannes Keller nach der handschriftlichen Partitur 2019

Im Experiment werden die Akkorde in sich selbst nicht angetastet, aber für die kleinen Terzen zwischen den Akkordgrundtönen wurden verschiedene Varianten gewählt. Balkendiagramme des Tonhöhenverlaufes zeigen gut die unterschiedlichen Schrittgrößen (Abbildung 15). Der Vergleich damit, wie alles klingt, ist aufschlussreich (Videos 5 bis 10). Da nur die im Stimmungsmodus 3 vorhandenen Töne verwendet wurden, wurde die Passage auf zwei verschiedene Weisen aufwärts transponiert, um die diskutierten Varianten ohne Umstimmung zur Verfügung zu haben.

a: Abwärts-Progression der Akkord-Grundtöne in reinen kleinen Terzen 5:6
 b: Abwärts-Progression der Akkord-Grundtöne in pythagoreischen kleinen Terzen 27:32
 c: Abwärts-Progression der Akkord-Grundtöne in septimalen kleinen Terzen 6:7
 d: Abwärts-Progression der Akkord-Grundtöne zusammengesetzt, erst reine kleine Terz 5:6, dann septimale kleine Terz 6:7

Abbildung 15 (a, b, c, d): Akkord-Kleinterz-Progression in verschiedenen Varianten

Die erste Variante ist konventionell in reinen kleinen Terzen 6:5 zwischen den Akkorden gestimmt (15a, Video 5). Der gleiche Ton als Grundton, Terz oder Quinte unterscheidet sich nicht, also gibt es Tonwiederholungen. Das ist typisch für mitteltönige Chromatik.¹¹



https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_05.mp4

Video 5, Rossi 2a

In der zweiten Variante klingt als Verbindungsintervall zwischen den Akkorden die pythagoreische kleine Terz (15b, Video 6). Dann klingt das Beispiel anders, fast begradigt, vielleicht eher gewöhnlich für Hörer, die an die temperierte Stimmung eines Klaviers gewöhnt sind. Wir sehen eine leichte Aufwärtskorrektur der Tonwiederholung um ein Komma, der Ton hat zuerst die Bedeutung einer Terz im Akkord, dann die einer Quinte. Das ist typisch für Chromatik in reiner Limit-5-Intonation.



https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_06.mp4

Video 6, Rossi 2b

Danach wird ein ungewohntes Intervall als Verbindung zwischen den Akkorden gewählt, eine sehr enge kleine Terz, septimal 7:6, mitteltönig entspräche das der übermäßigen Sekunde (15c, Video 7). Statt der Kommakorrektur hören wir ein fast vierteltöniges Intervall. Mitteltönig entspräche es einer Diesis, man könnte also sagen, dass diese Variante in einem enharmonischen Tonraum stattfindet. Immer noch schreitet nur der Bass abwärts, alle anderen Stimmen streben deutlich nach oben.



https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_07.mp4

Video 7, Rossi 2c

Schließlich werden in einer Transposition für die erste und zweite Akkordverbindung zwei Terzen miteinander kombiniert, zuerst 6:5, dann 7:6, also erst groß und dann eng (15d, Video 8). Auch hier hören wir im Diskant die für die mitteltönige Enharmonik charakteristische Diesis. Die Diskantlinie insgesamt ist

¹¹ Im Stimmungsmodus 3 lässt sich diese Progression viele Schritte weiterführen, in den danach diskutierten Varianten mit pythagoreischen und septimalen Terzen dagegen nur einige Schritte (Videos 6, 7, 8).

sehr ausgewogen (chromatischer Halbton / Diesis), der Tenor zeigt wieder eine Tonwiederholung.



https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_08.mp4

Video 8, Rossi 2d

In einer neuen Transposition (Abbildung 16, Videos 9, 10) lässt sich ein weit exotischeres Intervall einführen: Mitteltönig betrachtet handelt es sich ungefähr eine doppelt übermäßige Sekunde. Innerhalb des Stimmungsmodus 3 ist sie gestimmt als eine um ein Komma vergrößerte reine kleine Terz zu finden. Zunächst steht dieses ziemlich exotische Verbindungsintervall nach der septimalen Terz (16e), dann umgekehrt zu Beginn mit der septimalen Terz am Ende (Abbildung 16f).



https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_09.mp4

Video 9, Rossi 2e

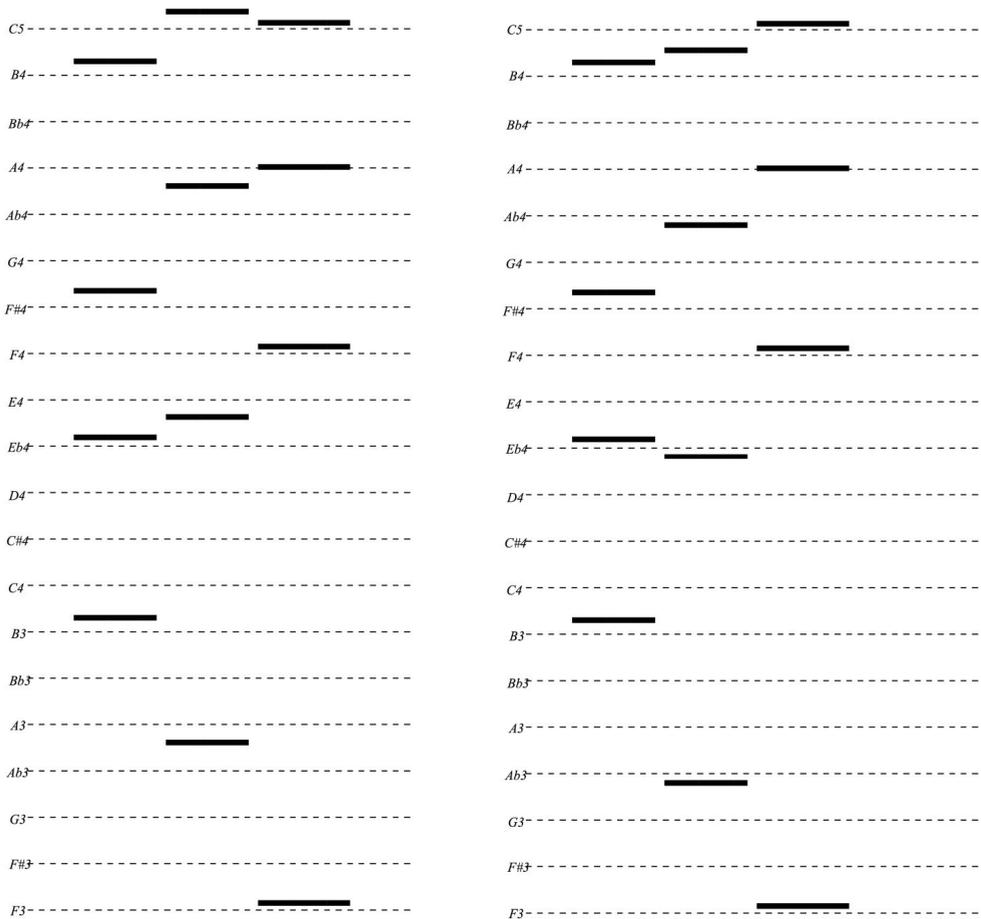


https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_10.mp4

Video 10, Rossi 2f

Über das letzte Beispiel haben wir in der Diskussion mit Studierenden unterschiedliche Ausprägungen von Enharmonik herausarbeiten können. Obwohl sich beide Progressionen bei gleichen Prinzipien nur durch die unterschiedliche Abfolge unterscheiden, klingen sie signifikant verschieden. Wichtig ist, in welcher Stimme die kritischen kleinen Schritte auftreten, also wie exponiert sie sind. Beide Varianten zeigen eine für starke Enharmonik charakteristische kleinstintervallische Gegenbewegung zwischen zwei Stimmen, eine Stimme steigt ungefähr um eine Diesis und die andere fällt um ein Komma.

Im Gegensatz zur zweiten Variante findet in der ersten Variante der Abwärtsschritt exponiert im Diskant statt (Abbildung 16e). Die Anomalie der Oberstimme (sie geht gegen die Tendenz der aufwärtsstrebenden Stimmführung in der ganzen Phrase) wird als Reiz viel stärker wahrgenommen, als wenn sie im Tenor eingebettet zwischen andere Stimmen stattfindet. In der zweiten Variante (Abbildung 16f) strebt der Diskant fast gleichmäßig nach oben und passt sich so in den Kontext der Phrase ein. Die Gegenbewegung in der Tenorstimme führt im Hintergrund der Wahrnehmung eine starke enharmonische Kraft in die Verbindung der Akkorde ein.



e: Abwärts-Progression der Akkord-Grundtöne zusammengesetzt, erst septimale kleine Terz 6:7, dann reine kleine Terz 5:6 vergrößert um ein Komma. „Schwimmender Flux“ zwischen Diskant und Alt (Akkorde 2 und 3)

f: Abwärts-Progression der Akkord-Grundtöne zusammengesetzt, erst reine kleine Terz 5:6 vergrößert um ein Komma, dann septimale kleine Terz 6:7. „Schwimmender Flux“ zwischen Diskant und Tenor (Akkorde 1 und 2)

Abbildung 16 (e, f): Akkord-Kleinterz-Progression in verschiedenen Varianten, mit kleinschrittiger Gegenbewegung zwischen zwei Stimmen

Der deutliche Unterschied, wie diese zwei strukturell ähnlichen Beispiele wahrgenommen werden, zeigt uns, wie sehr wir uns hier im Gebiet des Linearen befinden, die Akkorde sind wichtig, aber die Verbindung, die Linearität ist noch wichtiger. In den unterschiedlichen Größen der Schritte lässt sich diese fast mo-

dellhaft einfache Passage als höchst verschieden erfahren. Statt einer klaren Trennung zwischen Diatonik, Chromatik und Enharmonik scheint es ein Kontinuum zwischen den Genera in Bezug auf die Verbindungskraft zwischen den Akkorden zu geben. Maßgeblich dafür scheint eher die Kombination von Bewegungsrichtungen der Linien und ihrer Schrittgrößen zu sein als die bestimmte, genau definierte Stimmung der linearen Schritte. Auf jeden Fall sind die Kriterien für das Stimmen von Akkorden (Vertikale) und von Linien (Horizontale) verschieden. Das erste Rossi-Experiment sowie andere Experimente, bei denen wir die Akkorde in sich verschieden gestimmt haben, zeigen das. Hören führt zu einem neuen Verstehen. Der Stimmungsmodus erlaubt, die nackte Struktur der Akkordverbindung in verschiedenen Definitionen des Terzschrilles über längere Strecken weiterzuführen (Videos 11, 12, 13). Hier lässt sich eine unterschiedlich emotionale Qualität in den verschiedenen Terzschrift-Definitionen gut erkennen.



https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_11.mp4

Video 11, Rossi 2, Loop 5:6



https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_12.mp4

Video 12, Rossi 2, Loop 27:32



https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_13.mp4

Video 13, Rossi 2, Loop 6:7

Ton und Geräusch

Mir scheinen solche Untersuchungen eine wichtige und inspirierende Grundlage beim Komponieren für das Arciorgano zu sein. Das Wissen um die Möglichkeiten einer Stimmung und um die harmonischen Implikationen besonders der kleinen Intervalle sowie das Spüren von bisher ungehörten mikrochromatischen Varianten bei chromatischen und enharmonischen Beispielen spannen einen weiten Raum für Spekulationen darüber auf, was die nächste Musik sein könnte. Beim Experimentieren mit dem Instrument tritt darüber hinaus mehr und mehr die direkte Klanglichkeit schon der einzelnen Pfeifen in den Vordergrund: Schwebungen zwischen ihnen, Glissandi und Luftklänge durch Manipulationen von Balg, Labien und Pfeifenenden (Videos 14, 15).



https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_14.mp4

Video 14, Schwebungen zwischen Pfeifen und durch Labiummanipulationen



https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_15.mp4

Video 15, Glissandi durch Labiummanipulationen

All dies bringt die Musik in einen Fluss, der weit über das rein harmonische Denken von Gestimmtheit hinausgeht. Das abschließende Video zeigt modellhaft den Vergleich von trockenen enharmonischen Akkordverbindungen, klanglich als Sinustöne und visuell in einem 3D-Netz aus Quinten, Terzen und Septimen dargestellt, mit dem Fluss des wirklich klingenden Arciorgano, bei dem durch die geräuschhaft fließende Klanglichkeit ebendiese Harmonik durchschimmert (Video 16).



https://storage.gmth.de/proceedings/articles/355/attachments/355_video_16.mp4

Video 16, Progressionsanalyse

Literaturverzeichnis

- Von Helmholtz, Hermann (1863), *Die Lehre von den Tonempfindungen als Physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, Braunschweig: Vieweg.
- Smith, Anne (2011), *The Performance of 16th-Century Music: Learning from the Theorists*, Oxford University Press.
- Shepard, R. N. (1964), »Circularity in judgments of relative pitch«, *The journal of the acoustical society of America* 36 (12), 2346–2353.
- Vicentino, Niccola (1555), *Musica antica ridotta alla moderna prattica*, Rom: Antonio Barre.

Johannes Keller, Andrea Heilrath, Caspar Johannes Walter

© 2025 Johannes Keller, Andrea Heilrath (contact@andreaheilrath.de, ORCID iD: 0000-0002-1220-7004), Caspar Johannes Walter

Schola Cantorum Basiliensis [Schola Contorium Basiliensis]; Technische Universität Berlin [Technische Universität Berlin]; Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) [University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland (FHNW)]

Keller, Johannes / Andrea Heilrath / Caspar Johannes Walter (2025), »Staunen, Hören, Verstehen. Perspektiven in der Arbeit mit dem Arciorgano«, in: *Tonsysteme und Stimmungen. 21. Jahreskongress der Gesellschaft für Musiktheorie* (GMTH Proceedings 2021), hg. von Moritz Heffter, Johannes Menke, Florian Vogt und Caspar Johannes Walter, 33–64. <https://doi.org/10.31751/p.355>

eingereicht / submitted: 01/10/2024

angenommen / accepted: 01/10/2024

veröffentlicht / first published: 01/09/2025

zuletzt geändert / last updated: 01/09/2025