



universität
wien

MASTERARBEIT

Titel der Masterarbeit

„Diana Deutschs *Tritonus-Paradoxon*. Methoden und
Ursachen“

Verfasserin

Tanja Offenberger, BA

angestrebter akademischer Grad

Master of Arts (MA)

Wien, 2014

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Betreuer:

A 066 836

Masterstudium Musikwissenschaft

Univ.-Prof. Dr. Christoph Reuter



Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, am 27.8.2014

A handwritten signature in blue ink, reading "Tanja Offenberger".

(Tanja Offenberger, BA)

Abstract (Deutsch)

Gegenstand dieser Arbeit ist die weitere Erforschung des *Tritonus-Paradoxons*, welches von Diana Deutsch in den 1980er-Jahren entdeckt wurde. Ziel der Masterarbeit ist es, nach der Überprüfung von Diana Deutschs Ergebnissen durch eine (abgewandelte) Wiederholung des Experiments festzustellen, ob diese Illusion auch mit der Tonskala von Nakajima et al. entsteht. Im ersten Teil werden hierzu die *Shepard Tones* erläutert. Diese sind wichtig, um die zugrunde liegenden Zusammenhänge zu verstehen. Daraufgehend werden drei verschiedene Skalen beschrieben, wovon eine in einem späteren Experiment verwendet wird. Nach der Erklärung der bisherigen Forschungsergebnisse zu diesem Thema wird das neue Experiment vorgestellt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung stellen die These auf, dass vor allem das Alter, aber auch das Geschlecht und die musikalische Bildung eine Rolle für die Wahrnehmung des *Tritonus-Paradoxons* spielen. Des Weiteren wird aufgezeigt, dass die Illusion auch mit einer Tonskala funktioniert, deren Töne Teiltonkomponenten im Abstand von abwechselnd 600 und 800 Cent beinhalten.

Abstract (English)

The primary goal of this investigation is the further examination of the *Tritone Paradox* discovered by Diana Deutsch in the 1980s. The main objective of this paper is to trial Deutsch's results against a modified repetition of the experiment in order to determine whether this illusion is also applicable to the acoustic scale of Nakajima et al. Therefore, the *Shepard Tones* will be analyzed in the first section, since they are of significant importance to fully grasp the context. Afterwards, three different scales shall be described, of which one will be put to use in a following experiment. After a brief summary of recent findings, the new experiment will be outlined. This leads to the thesis that factors such as the age, the gender, as well as the musical education of the contestants strongly contribute to the individual perception of the *Tritone Paradox*. Furthermore it shall also be illustrated that said illusion is also retraceable with the help of an acoustic scale consisting of sound components varying between 600 and 800 cents.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem guten Freund Lorenz Gusner, welcher mich beim Generieren der Tonpaare sehr hilfsbereit unterstützte. Nur durch seine Kenntnis des Programms Ableton Live 9 konnte das Experiment so schnell vorbereitet und durchgeführt werden.

Zusätzlich möchte ich Lisa Landsteiner bedanken, die mir bei der statistischen Auswertung der Experimente eine große Hilfe war.

Des Weiteren möchte ich bei allen Personen meine Dankbarkeit ausdrücken, welche an dem Experiment teilnahmen bzw. darüber hinaus auch bei all jenen, welche sich für die Forschung zur Verfügung gestellt hätten, dann aber nicht mehr benötigt wurden.

Auch Univ.-Prof. Dr. Christoph Reuter spreche ich meinen herzlichen Dank für die unkomplizierte Betreuung und umfangreiche Unterstützung aus.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir nicht nur mein Studium ermöglicht haben, sondern mich auch immer wieder zum Weiterschreiben motiviert haben.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
2. Einführung in das Thema	7
3. <i>Shepard Tones</i>	10
3.1 Generieren der benötigten Töne	12
3.2 Vorläufige Demonstration der Zirkularität.....	14
3.3 Vorgehensweise in den Experimenten	15
3.4 Ergebnisse der Experimente	17
3.5 Verwendung von <i>Shepard Tones</i> in Musikstücken des 19. und 20. Jahrhunderts	18
4. <i>Shepard Tones</i> mit inharmonischen und quasiharmonischen Spektren	22
4.1 Die Skala von E. M. Burns	22
4.2 Die Skala von Nakajima et al.	26
4.3 Die Skala von Murakita et al.	30
5. <i>Tritonus-Paradoxon</i> nach Diana Deutsch.....	32
5.1 Allgemeines Experiment zum <i>Tritonus-Paradoxon</i>	34
5.1.1 Ergebnisse	36
5.2 Einflüsse auf das <i>Tritonus-Paradoxon</i>	37
5.2.1 Regionale Einflüsse	37
5.2.2 Einfluss der Sprache	44
5.3 Erklärungsversuche zum <i>Tritonus-Paradoxon</i>	48
6. Neue Forschungen zum <i>Tritonus-Paradoxon</i>	50
6.1 Unter Verwendung des bestehenden Tonmaterials von Diana Deutsch	51
6.1.1 Vorgehensweise	51
6.1.2 Die teilnehmenden Testpersonen.....	51
6.1.3 Testergebnisse	53
6.1.4 Erkenntnisse	61

6.2 Unter Verwendung der Skala von Nakajima et al.	62
6.2.1 Generieren der benötigten Töne	62
6.2.2 Vorgehensweise	63
6.2.3 Testergebnisse	64
6.2.4 Erkenntnisse	70
6.3 Vergleich der beiden Forschungsteile	71
7. Schlusswort	74
8. Literaturverzeichnis	75
9. Abbildungs- und Grafikverzeichnis	77
10. Anhang.....	80

1. Einleitung

Akustische Täuschungen sind ein spannendes, großes Themenfeld. Diese Masterarbeit soll sich vor allem mit einer davon beschäftigen, nämlich mit dem von Diana Deutsch entdeckten *Tritonus-Paradoxon*.

Zu Beginn soll eine Einführung in das Thema den Einstieg in die Welt der akustischen Illusionen erleichtern; hierbei werden einige unterschiedliche Täuschungen erläutert und die verschiedenen Arten, wie akustische Illusionen zustande kommen, erklärt.

Darauffolgend widmet sich die Arbeit eingehend dem Thema der Shepard Tones, deren Verständnis die Voraussetzung ist, um sich mit dem *Tritonus-Paradoxon* zu beschäftigen. In diesem Kapitel wird die Geschichte der *Shepard Tones*, deren Erforschung durch Roger N. Shepard und darüber hinaus auch einige Beispiele zu deren Verwendung in Musikstücken des 19. und 20. Jahrhunderts präsentiert.

Das nächste Kapitel beschäftigt sich wiederum mit den *Shepard Tones*, dieses Mal jedoch im Rahmen von inharmonischen und quasiharmonischen Spektren. Hierbei werden drei verschiedene Skalen erläutert, mit welchen es gelang, die Illusion der *Shepard Tones* hervorzurufen. Diese Skalen wurden von E.M. Burns, Nakajima et al. und Murakita et al. erstellt.

Anschließend werden die Experimente von Diana Deutsch zum Phänomen des *Tritonus-Paradoxons* erläutert. An dieser Stelle werden ferner auch mögliche Einflüsse auf die Wahrnehmung dieser Illusion, wie zum Beispiel die Stimmlage der Personen oder auch die Orte, an denen die Personen aufwuchsen, beschrieben.

Im letzten Teil dieser Arbeit wird schlussendlich die Forschungsfrage, nämlich „Wird die Illusion des *Tritonus-Paradoxons* auch wahrgenommen, wenn anstatt einer Skala von Tönen mit Teiltonkomponenten im Abstand einer Oktave die Skala von Nakajima et al. mit Teiltonkomponenten im Abstand von abwechselnd 600 und 800 Cent verwendet wird?“, beantwortet. Hierbei werden die Arbeitsschritte zum Erstellen dieser Skala, die durchgeführten Experimente sowie deren Auswertung aufgeführt.

2. Einführung in das Thema

Im alltäglichen Leben kann man eine große Menge an Täuschungen entdecken. Während die meisten Menschen jedoch schon im Kindesalter auf optische Illusionen aufmerksam werden, wissen die wenigsten von ihnen über akustische Täuschungen Bescheid. Und dennoch begleiten uns die akustischen Illusionen überall in unserem Leben, denn das menschliche Ohr und auch das Gehirn spielen uns immer wieder gerne einen Streich.

Analog zu der optischen Täuschung passiert es auch bei akustischen Täuschungen, dass man Töne hört, welche nicht vorhanden sind. Des Weiteren ist es hier ebenfalls möglich, unmögliche Töne zu hören. Gewiss ist jedoch, dass man etwas anderes hört, als tatsächlich gespielt oder gesprochen wird. Dies kann je nach akustischer Täuschung sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf das Hörvermögen oder die Verständlichkeit von Wörtern haben.

Da es sehr viele verschiedene akustische Täuschungen gibt, können hier nur einige wenige Beispiele gegeben werden, um als Einführung mehr oder weniger alltägliche Hörphänomene aufzuzeigen.

Manche Sinnestäuschungen haben einen physikalischen Grund, wie beispielsweise bei einer Aufnahme eines Konzerts, bei der man glaubt, zu hören, aus welcher Richtung z.B. das Geigensolo kommt. Dies liegt daran, dass schon bei der Aufnahme mit verschiedenen Mikrofonen hantiert wird, um diesen Effekt zu erzeugen (Cavé; Risset 2010, S. 93).

Wie bei Cavé und Risset im Jahr 2010 beschrieben, gibt es neben den physikalischen Ursachen für akustische Täuschungen auch andere Gründe:

Anders ist das bei Illusionen, die unser Gehirn selbst erzeugt: Wenn es uns beispielsweise Töne hören lässt, obwohl keine gespielt wurden, oder Schallreize ignoriert, die aber physikalisch eindeutig an unser Ohr gedrungen sind. So bizarr diese Täuschungen sein mögen – sie sind ganz alltäglich, und wir haben sie der Arbeitsweise unseres Gehirns zu verdanken. (Cavé; Risset 2010, S. 93)

Akustische Täuschungen können viele verschiedene Ursachen haben, so gehört zum Beispiel der *Dopplereffekt* zu den akustischen Täuschungen, die aufgrund von Wellenlängen und Reflexionen auftreten, während den *Schwebungen* oder

Kombinationstönen physiologische bzw. psychoakustische Ursachen zugrunde liegen. Auch die Illusion der *Shepard Tones*, welche in dieser Masterarbeit eine wichtige Rolle spielen, entsteht wegen physiologischer bzw. psychoakustischer Ursachen. Dies ist anders beim *Tritonus-Paradoxon*, hierbei entsteht die akustische Täuschung durch eine gegenläufige Tonhöhen- und Ortskodierung. Weitere Ursachen für akustische Täuschungen sind beispielsweise Gestaltgesetze oder auch Erwartungshaltungen und Ergänzungstendenzen.

Hierzu folgen nun drei Beispiele, welche kurz und bündig verdeutlichen sollen, wie unterschiedlich akustische Täuschungen funktionieren können:

Der *Dopplereffekt* ist allgemein bekannt, da er sehr häufig in den verschiedensten Lebenssituationen, zum Beispiel im Verkehr, wahrzunehmen ist. Auch wenn sich manche/r unter diesem Begriff möglicherweise nichts vorstellen kann, hat er/sie diese akustische Täuschung bestimmt schon in einer der folgenden Situationen wahrgenommen: Dieses Phänomen tritt beispielsweise bei vorbeifahrenden Fahrzeugen wie Autos oder Zügen sowie dem Signal des Folgetonhorns von Rettungswägen auf: Während die Tonhöhe höher wird, je näher das Fahrzeug dem/der Beobachter/in kommt, wird sie stetig tiefer, sobald das Objekt vorbeigefahren ist und sich wieder entfernt (Sommerfeld 1949, S. 59 f.).

Der amerikanische Komponist John Chowning bediente sich im Jahr 1972 unter anderem des Dopplereffekts, als er bei seinem Werk *Turenas* „die illusorischen Geräuschquellen höchst präzise um den Zuhörer herumschwirren“ (Cavé; Risset 2010, S. 96) ließ. Der Dopplereffekt nutze ihm dabei, das Publikum glauben zu lassen, dass sich die Geräuschquellen sehr schnell fortbewegen (ebda.).

Auch die *Schwebung* ist ein häufig auftretendes Phänomen, dies geschieht meist jedoch nicht im alltäglichen Leben, sondern vor allem im Bereich der Musik und der Schallverarbeitung. *Schwebungen* treten immer dann auf, wenn zwei zugleich ertönende Frequenzen sehr nahe aneinander liegen. In diesem Fall wird nur ein Ton gehört, welcher in seiner Lautstärke schwankt (Meschede [Hrsg.] 2004, S. 167).

Auch die *Continuity Illusion* ist ein interessantes Beispiel für die unterschiedlichen Formen von akustischen Täuschungen: Wenn bei einer Tonaufnahme, egal ob es sich hierbei um eine Melodie oder Sprache handelt, in einem gewissen Abstand sehr kurze

Lücken hineingeschnitten werden, fällt es dem Menschen schwer, einen sinnvollen Zusammenhang zu erkennen. Werden diese Lücken jedoch mit viel lauterem Geräuschen, wie zum Beispiel einem Breitbandrauschen, gefüllt, so entsteht das Phänomen der *Continuity Illusions*: Obwohl der Ton eigentlich unterbrochen wurde, findet im menschlichen Ohr und Gehirn ein Prozess statt, der den Ton unter dem Geräuschband weiterklingen lässt. Dies liegt daran, weil angenommen wird, dass dieser Ton nur von dem lauterem Geräusch maskiert wurde; also seine Schallwellen eigentlich noch im Raum sein müssten (Bregman & Tougas 1990, S. 121).

Die vielen weiteren akustischen Täuschungen, welche neben den drei oben angeschnittenen Phänomenen bis jetzt entdeckt und erforscht wurden, sollen in diesem Fall unerwähnt bleiben, da sonst aus einer einfachen „Einführung in das Thema“ eine selbstständige Arbeit entstehen würde.

Auch das sogenannte *Tritonus-Paradoxon* ist eine dieser akustischen Täuschungen. Um das *Tritonus-Paradoxon*, welches vor allem von Diana Deutsch entdeckt und sehr intensiv erforscht wurde, genauer zu erklären, ist es jedoch vorerst notwendig, sich einer anderen akustischen Täuschung, welche *Shepard Tones* genannt wird, zu widmen. Das Phänomen der *Shepard Tones* wurde im Jahr 1964 von Roger N. Shepard entdeckt und ist nach ihm benannt. Im folgenden Kapitel wird die Illusion der *Shepard Tones* genau erklärt, um ein gewisses Grundkenntnis der Materie zu garantieren, sodass die akustische Täuschung des *Tritonus-Paradoxons* verstanden werden kann.

3. *Shepard Tones*

A special set of computer-generated complex tones is shown to lead to a complete breakdown of transitivity in judgments of relative pitch. Indeed, the tones can be represented as equally spaced points around a circle in such a way that the clockwise neighbor of each tone is judged higher in pitch while the counterclockwise neighbor is judged lower in pitch. (Shepard 1964, S. 2346)

Dies ist die Einleitung von Roger N. Shepards Artikel „Circularity in Judgments of Relative Pitch“ aus dem Jahr 1964, in welchem er erstmals das Phänomen der *Shepard Tones* beschreibt.

Der Grundgedanke des Phänomens der *Shepard Tones* geht zurück auf das Jahr 1846, als Dobrisch den uneindeutigen Charakter der großen Sept – zumeist hört man sie in der Tonhöhe aufsteigend, doch manchmal kann sie auch als chromatisch absteigende Sequenz eingeschätzt werden – nutzen wollte, um durch Verzerrung der kontinuierlichen Tonhöhe eine spiralförmige Kurve hervorzurufen (vgl. Rucknick, C.A. 1929 nach Shepard 1964, S. 2346). Durch diese Repräsentation der Tonhöhe können in der Tonhöhenanalyse zwei verschiedene Dimensionen betrachtet werden: zum einen die „Höhe“, bzw. die Gesamttonhöhe, zum anderen die „Tonalität“, „Tonqualität oder „Tonfarbe“. Die Tonhöhe wird auf der vertikalen Achse der Helix repräsentiert, während die Tonalität durch die Kreisskala auf dem Grund der Helix dargestellt wird (vgl. Shepard 1964, S. 2346).

Diese Vorstellung entspricht auch der Intuition von Musiker/innen, da auch ihrer Meinung nach zumindest zwei verschiedene Dimensionen der Tonhöhe bestehen und die Tonhöhen sich in zwei unterschiedlichen Arten ähneln können: Einerseits können Töne in ihrer Tonhöhe nahe aneinander liegen und somit in demselben Frequenzbereich liegen, andererseits können sie denselben Platz bezüglich der Oktave einnehmen. Wenn zwei Töne, z.B. zwei Cs, eine Oktave voneinander entfernt liegen, so spricht man davon, dass sie dasselbe Chroma haben. Die Töne C und D wiederum liegen in der Frequenz nahe aneinander und haben deswegen eine ähnliche Tonhöhe (vgl. Dowling; Harwood 1986, S. 107).

Géza Révész widmete sich im Jahr 1926 der Zweikomponentenlehre, welche im Grunde nichts anderes ist, als ein Begriff für die zwei verschiedenen Dimensionen eines Tons.

Als Zweikomponentenlehre bezeichne ich die Auffassung, die unseren Tonempfindungen zwei musikalische Grundeigenschaften zuschreibt, und zwar einerseits die mit zunehmender Schwingungszahl sich kontinuierlich ändernde Tonhöhe, andererseits die mit Verdoppelung der Schwingungszahl sich wiederholende musikalische Qualität. (Révész 1926, S. 325)

Bei der Darstellung dieser Theorie wird die Tonhöhe immer als lineare Komponente dargestellt, während die musikalische Qualität des Tons durch eine zyklische Komponente verdeutlicht wird. Hornbostel führte zur Beschreibung dieser beiden Komponenten zwei Begriffe ein, welche miteinander den Toncharakter definieren: „Helligkeit“, im Englischen „tone height“, stellte die lineare Komponente dar, „Tonigkeit“, im Englischen „tone chroma“, drückte die zyklische Komponente eines Tons aus. (Ebeling 1999, S. 68)

Diese Idee der zwei Komponenten machte sich Shepard in der Mitte des 20. Jahrhunderts zunutze, als er durch angemessenes Verstärken der Tonalität einen Zusammenbruch des Übergangs in der Beurteilung der relativen Tonhöhe plante. Er ging daraufhin noch einen Schritt weiter und stellte sich vor, dass die Dimension der Tonhöhe zusammengepresst werden könnte, sodass alle Töne, die eine Oktave voneinander entfernt sind, in denselben Ton gepresst würden. In diesem Fall würde die tonale Helix zu einem tonalen Kreis transferiert werden, sodass es in der Beurteilung der relativen Tonhöhe keinen höchsten und tiefsten Ton mehr geben würde (Shepard, 1964 S. 2346 f.).

Diese sehr kuriose Vorstellung wurde darauffolgend in den 1960er-Jahren verwirklicht, als die Generierung dieser Töne durch ein Computerprogramm ermöglicht wurde, das M.V. Mathews entwickelt hatte (vgl. Shepard 1964, S. 2347).

Mit seinen Experimenten, deren wichtigste Schritte in den folgenden Kapiteln beschrieben werden, gelang Shepard ein Durchbruch im Gebiet der akustischen Täuschungen.

Die *Shepard Tones* sind eine Illusion einer endlos auf- oder absteigenden Tonleiter (ähnlich wie die endlose Treppe von Escher, vgl. Abb. 1), man kann sie als Spezialfall der Residualtonempfindung ansehen: Die Teiltöne der Klänge haben nur Oktavabstände. Beim Fortschreiten werden diese unter einer gleichbleibenden Filterkurve verschoben, bei der die hohen und tiefen Teiltöne in ihrer Amplitude

abgesenkt werden, sodass immer nur jene Teiltöne, die den Mittenbereich durchwandern, hörbar bleiben und der Grundton unmerklich immer leiser wird, bis er durch den nachfolgenden ersetzt wird. (vgl. ebda.)

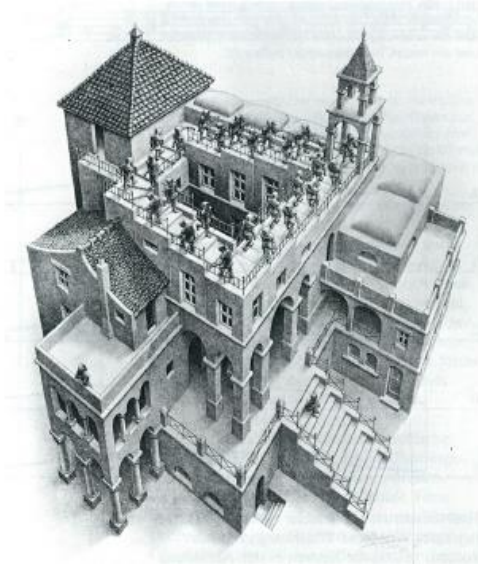


Abb. 1: „Treppauf Treppab“ – M.C. Escher (Pierce 1999, S. 176)

Wie an dieser Abbildung gut ersichtlich hat die Treppe keinen Anfang und kein Ende. Dies ist auch bei der Illusion der *Shepard Tones* der Fall, wie in der folgenden Darstellung demonstriert werden soll.



Abb. 2: Illusion der *Shepard Tones* durch kleine und große Noten verdeutlicht
(<http://www.myquilt.de/al/physalt/shep.gif>, 5.7.2014)

3.1 Generieren der benötigten Töne

Um diese komplexen Töne generieren zu können, benötigte Shepard ein Computerprogramm, welches in den 1960er Jahren von Mathews entwickelt wurde. Die Töne wurden auf einem IBM-7094-Computer konstruiert, doch Shepard musste eine kleine Veränderung bei dem Computerprogramm vornehmen: Er programmierte ein

Unterprogramm, mit dem die Parameter der Frequenz und der Lautstärke berechnet werden konnten.

Jeder in den Experimenten verwendete Ton bestand aus mehreren sinusförmigen Komponenten, welche im Intervall von aufeinanderfolgenden Oktaven auftraten und gleichzeitig erklangen, weshalb jede einzelne Komponente, welche über der niedrigsten lag, jeweils die doppelte Frequenz von der am nächsten gelegenen Komponente darunter hatte. (vgl. Shepard 1964, S. 2347)

Durch das Variieren der Lautstärke wurden immer die in der Mitte liegenden Teiltöne hervorgehoben, sodass der Eindruck einer sich endlos auf- oder abwärts bewegenden Skala entstand.

Auf der unten eingefügten Abbildung sieht man den Schalldrucklevel in Dezibel von zehn simultan abgespielten sinusartigen Komponenten im Oktavabstand. Des Weiteren ist hier eine Kurve mit der Bezeichnung "Threshold", (dt. Schwelle) eingezeichnet, die dem ungefähren Verlauf der menschlichen Hörschwelle entspricht.

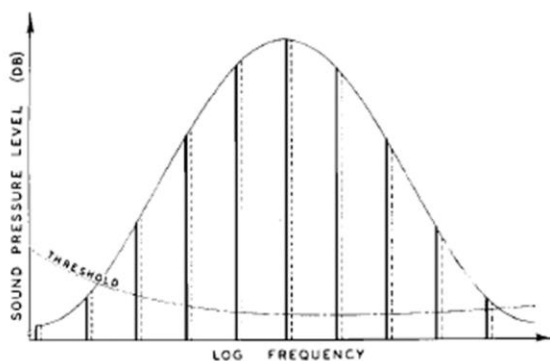


Abb. 3: spektrale Darstellung von zehn simultan abgespielten sinusartigen Komponenten im Oktavabstand (Shepard, 1964, S. 2347)

Sobald in einer aufsteigenden Tonleiter die niedrigste Komponente einen Schalldruckpegel erreicht, der unter dem Schwellenwert liegt, wird eine Oktave über der höchsten bestehenden Komponente ein neuer Teilton eingeführt, der wiederum unter dem Schwellenwert liegt und stetig lauter wird. Erreicht bei einer absteigenden Tonleiter die höchste Komponente einen Schalldruckpegel, der unter dem Schwellenwert liegt, wird eine Oktave unter der tiefsten bestehenden Komponente ein neuer Teilton eingeführt, der unter dem Schwellenwert liegt und stetig lauter wird (Shepard 1964, S. 2347).

Wenn die Komponenten eines Tons so weit getrennt sind wie in diesem Fall, ist die Gesamtlautstärke des Tons annähernd die Summe der Lautstärken der einzelnen Teiltöne. Obwohl die einzelnen Komponenten des komplexen Tons in Shepards Experimenten jedoch sinusförmige Töne waren, wurden sie von den Versuchspersonen nicht als einzelne Komponenten, wie z.B. in einem Akkord, sondern als einzelner Ton mit einer orgelartigen Vibration beschrieben. Neben diesen komplexen Tönen wurden auch reine Sinustöne und Breitbandrauschen mit dem Computerprogramm generiert, um das Experiment aussagekräftiger zu machen (Shepard 1964, S. 2348).

3.2 Vorläufige Demonstration der Zirkularität

Da die hier verwendeten komplexen Töne eine zyklische Natur vorweisen können, ist es möglich, sie als Punkte mit regelmäßigem Abstand in einem Kreis darzustellen. Üblicherweise werden die auf dem Kreis benachbarten Töne im Uhrzeigersinn als aufwärts fortschreitend angesehen.

Für ein vorläufiges Experiment verwendete Shepard die generierten Töne, um sie in jeweils eine Richtung entlang des Kreises fortschreitend abzuspielen. Er verwendete Töne im Abstand eines Halbtonschrittes, sodass genau zwölf Töne abgespielt wurden, um eine Runde im Kreis darzustellen. Diese Töne glichen der chromatischen Skala mit gleicher Temperierung (Shepard 1964, S. 2348).

Um die subjektive Zirkularität zu demonstrieren, wurde jeder Ton der Skala für 0,12 Sekunden abgespielt, während zwischen den benachbarten Tönen eine Pause von 0,84 Sekunden lag. Die Teiltöne umfassten hierbei zehn Oktaven, die Lautstärke der einzelnen Komponenten lag zwischen 22 dB und 56 dB, sodass die Gesamtlautstärke bei etwa 66 dB lag. Dennoch wurde die Lautstärke des Abspielgerätes auf ein angenehmes Level eingestellt, sodass man diese Angaben nur im relativen Sinn auffassen kann (ebda.).

Nachdem das daraus erstellte Tonband über 60 Zuhörern und Zuhörerinnen vorgespielt wurde, konnte festgestellt werden, dass jede einzelne Person die Tonhöhe immer weiter aufsteigend empfunden hatte, wenn das Band vorwärts abgespielt wurde und umgekehrt auch immer weiter absteigend empfunden hatte, wenn das Band rückwärts abgespielt wurde. Manche Proband/innen waren am Ende des Experiments verwirrt, da die immer höher werdenden Töne doch nicht sehr viel höher wirkten als zu Beginn, während

andere dieses Phänomen nicht registrierten. Bei diesem Vorexperiment wurde von manchen Versuchspersonen zum ersten Mal der Vergleich zu der optischen Illusion der endlosen Treppe gezogen (Shepard 1964, S. 2349).

Bei diesem Vorexperiment entdeckte Shepard die Tatsache, dass die akustische Illusion von der Pause zwischen den Tönen abhängig ist, da in einem früheren Versuch, bei dem die Töne ohne Abstand abgespielt wurden, ein abrupter Abfall während jedem Durchlauf durch die zwölf Halbtöne des Kreises beschrieben wurde. Dieser beschriebene Abfall variierte jedoch je nachdem, mit welchem Ton der Sequenz begonnen wurde, musikalisch gebildete Versuchspersonen nahmen den Abfall in dem Moment wahr, in dem die Sequenz zur Tonika zurückkehrte (Shepard 1964, S. 2349).

3.3 Vorgehensweise in den Experimenten

In diesem Unterkapitel wird die Vorgehensweise Roger N. Shepards bei seinen durchgeführten Experimenten beschrieben.

Um die Versuchspersonen nicht durch die zuvor gehörten Töne zu beeinflussen, wurden jeweils isolierte Tonpaare verwendet. Hierbei betrug die Dauer eines jeden Tons $1/8$ Sekunde und auch der Abstand zwischen den beiden Tönen war $1/8$ Sekunde lang. Um die Tonpaare zu isolieren, wurde vor und nach jedem Paar ein Breitbandrauschen mit 54 Dezibel eingefügt. Auch das Breitbandrauschen hatte eine Dauer von $1/8$ Sekunde und der Abstand zwischen dem Breitbandrauschen und dem jeweiligen Tonpaar betrug dasselbe. Neben der Isolierung der Tonpaare hatte das Breitbandrauschen noch eine weitere Funktion: Es sollte die Testpersonen auf das nächste Tonpaar vorbereiten (Shepard 1964, S. 2349).

Das Abspielen eines Tonpaares dauerte inklusive des Breitbandrauschens ungefähr eine Sekunde, darauf folgten drei Sekunden Pause, die den Versuchspersonen das Niederschreiben ihrer Ergebnisse ermöglichte. Das Niederschreiben der Antworten erfolgte in Form von „U“ für „up“, falls der zweite Ton höher empfunden wurde als der erste, und „D“ für „down“, falls der zweite Ton tiefer empfunden wurde als der erste (ebda.).

Um die Anzahl der zu beurteilenden Tonpaare zu reduzieren, wurde der Tonkreis innerhalb einer Oktave in zehn anstatt von zwölf Intervallen unterteilt. Dies führte dazu,

dass die benachbarten Töne einen etwas größeren Abstand als den eines temperierten Halbtons hatten. Die Versuchspersonen bei diesen Experimenten waren 50 Angestellte der Bell Telephone Laboratories, welche vier verschiedene Sequenzen von Tonpaaren zu hören bekamen, die über Kopfhörer abgespielt wurden. Die Antworten gaben sie auf vordruckten Antwortzetteln ab. Das Experiment wurde an jeder Versuchsperson einzeln durchgeführt und dauerte pro Person inklusive der aufgenommenen Anleitung 20 Minuten (Shepard 1964, S. 2349 f.).

Aus den zehn zuvor generierten Tönen wurden 90 verschiedene Tonpaare gebildet, da nur bei diametrisch entgegengesetzten Tönen konventionelle Intervalle verwendet wurden. In den ersten beiden Sequenzen des Experiments wurden Tonpaare aus reinen Sinustönen verwendet, um festzustellen, wie fähig die Testpersonen waren, wenn es um die Entscheidung von der Wahrnehmung der Tonhöhenveränderungen ging. Die Frequenzabstände dieser reinen Sinustöne waren gleich jener Frequenzabstände der komplexen Töne, es wurden also zehn benachbarte Sinustöne innerhalb einer Oktave verwendet. In diesen beiden Sequenzen, welche als Vorexperiment bezeichnet werden, wurden nur benachbarte Töne verwendet (Shepard 1964, S. 2349).

In der ersten Sequenz hatten sie eine Lautstärke von 62 dB, diese Sequenz war als leichte Übung geplant. Die zweite Sequenz war dahingehend schwieriger, dass die Frequenz der Tonpaare um zwei Oktaven verringert wurde und dass die Lautstärke auf 56 dB reduziert wurde. Die dritte Sequenz des Experiments sollte Beweise für die Zirkularität in der Beurteilung von Tonhöhe finden. Hierfür bestanden die Tonpaare aus benachbarten komplexen Tönen, wobei jedes der 20 Tonpaare zwei Mal abgespielt wurde. In dieser Sequenz gab es zwei wichtige Regeln:

1. Der gleiche Ton durfte nicht in zwei hintereinander abgespielten Tonpaaren vorkommen.
2. Jede Kombination zweier Töne durfte als Paar nur einmal während eines Blocks von zehn Paaren auftreten.

Die vierte Sequenz diente zur Untersuchung der möglichen Mehrdeutigkeit von Tonpaaren, bei denen der zweite Ton auf der gegenüberliegenden Seite des Kreises als der erste Ton liegt. Hierbei wurden nicht nur benachbarte Tonpaare, sondern alle 90 Tonpaare verwendet, die aus den zehn komplexen Tönen konstruiert werden konnten. Der Schalldruckpegel der komplexen Töne erlangte wie auch schon in Sequenz drei 66

dB. Bei diesem Teil des Experiments wurde jedes der 90 Tonpaare einmal, die Hälfte davon jedoch rückwärts abgespielt (Shepard 1964, S. 2349 f.).

3.4 Ergebnisse der Experimente

Auffallend war gleich zu Beginn, dass die Fähigkeit, Unterschiede in Tonhöhenveränderungen richtig zu hören, sehr verschieden ist. Nur 62% der Versuchspersonen konnten die als „leicht“ gedachte erste Sequenz fehlerfrei beurteilen. In der schwierigeren zweiten Sequenz fiel dieser Prozentsatz sogar auf 30% der Versuchspersonen ab. Wie erwartet machten vor allem die Versuchspersonen mit Interesse an Musik wenige bzw. gar keine Fehler in den ersten beiden Sequenzen (Shepard 1964, S. 2350).

Um die Auswertung der dritten und vierten Sequenz aussagekräftiger zu gestalten, wurden die 50 Testpersonen in drei Gruppen eingeteilt:

Die erste Gruppe (Gruppe I) bestand aus 26 Personen, welche in der ersten Sequenz keine Fehler und in der zweiten Sequenz höchstens zwei Fehler gemacht hatten. Die zwei Fehler in der zweiten Sequenz mussten für Gruppe I eingeführt werden, um nicht zu wenige Versuchspersonen zu haben. Gruppe II bestand aus jenen Menschen, die nicht mehr als zwei Fehler in der ersten Sequenz und außerdem nicht mehr als fünf Fehler in den ersten beiden Sequenzen zusammen gemacht hatten. Diese Gruppe bestand aus zehn Personen. Die übrigen 14 Personen wurden in Gruppe III eingeteilt, die Gruppe für Menschen mit mehr Fehlern als den zuvor erlaubten (ebda.).

Bei Gruppe I gingen in der dritten Sequenz 99% der Beurteilung in die Richtung, die von der Hypothese der perfekten Zirkularität erfordert wurde. Dies bedeutet einen kompletten Zusammenbruch der Transitivität bei Gruppe I. Gruppe II und III tendierten auch in die Richtung der ersten Gruppe, jedoch waren die Teilnehmer in diesen Gruppen nicht so akkurat. Bei Gruppe II stimmten 82%–100% mit der Zirkularität überein, jedoch war dies abhängig von den verschiedenen Tonpaaren. Auch Gruppe III war abhängig von verschiedenen Tonpaaren, nur stimmte diese Gruppe nur zu 63%–82% mit der Zirkularität überein. (vgl. ebda.)

Bei der vierten Sequenz unterschieden sich die Antworten zwischen Gruppe I und Gruppe III sehr stark, Gruppe II lag mit den Ergebnissen dazwischen, jedoch näher bei der ersten Gruppe:

Bei Gruppe I wurde der zweite Ton immer als „höher“ interpretiert, wenn er nur ein oder zwei Schritte im Uhrzeigersinn vom ersten Ton entfernt war. Der zweite Ton wurde immer als „tiefer“ interpretiert, wenn er acht oder neun Schritte im Uhrzeigersinn vom ersten Ton entfernt war. Wenn die beiden Töne fünf Schritte voneinander entfernt waren, war die Entscheidung der Versuchspersonen uneindeutig, das Verhältnis von „höher interpretiert“ zu „tiefer interpretiert“ blieb in etwa gleich, es trat also in 50% der Fälle eine „richtige“ Interpretation auf.

Bei Gruppe III gaben nur 68% die erwartete Antwort, wenn die beiden Töne nur durch 1/10 der Oktav voneinander getrennt waren. Es war den Versuchspersonen bei diesen Frequenzabständen also unklar, ob der zweite Ton höher oder tiefer lag. Wenn die beiden Töne weiter voneinander getrennt lagen, nämlich ungefähr 3/10 der Oktav, stieg die „richtige“ Antwort, also jene erwartete Antwort, auf 80% an. Sobald die Töne jedoch fünf Schritte voneinander entfernt lagen, fiel die „richtige“ Entscheidung wiederum auf 50% der Versuchspersonen ab (Shepard 1964, S. 2350 f.).

Dies lässt eine Gemeinsamkeit zwischen Gruppe I und Gruppe III erkennen: Intervalle im Schritt eines Tritonus lassen sich in der Shepard-Tonreihe nicht gut zuordnen. Dies war auch der Ansatz für Diana Deutschs Forschungen.

3.5 Verwendung von *Shepard Tones* in Musikstücken des 19. und 20. Jahrhunderts

Die Illusion der *Shepard Tones* wurde immer wieder von den verschiedensten Komponisten verwendet. Ira Braus analysiert in seinem Artikel “Retracing One’s Steps: An Overview of Pitch Circularity and Shepard Tones in European Music, 1550–1990“ Werke, in welchen von der Illusion der *Shepard Tones* Gebrauch gemacht wurde. Da diese große Zeitspanne den Umfang dieses Kapitels überschreiten würde, werden nun einige wichtige Musikstücke des 19. und 20. Jahrhunderts, die *Shepard Tones* beinhalten, vorgestellt.

Figures on muted violins rise, like clouds of mist, growing denser as they ascend. ... Ever more fanatically the destructive battle rages, ever more grim

the struggle becomes – until suddenly, light flashes through the dark clouds: it is the victorious Cross! Might fanfares proclaim the triumph of Christianity! (Haitink 1972, nach Braus 1995, S. 332)

Dies ist die Art und Weise, wie Haitink eine Figur aus der sinfonischen Dichtung *Hunnenschlacht* (1856/57) von Franz Liszt (1811-1889) interpretiert. In diesem Werk verwendet der Komponist zirkuläre Strukturen, um eine Semi-Zirkularität hervorzurufen, indem er die tieferen Streicher zirkuläre Skalen spielen lässt, während die ersten Violinen eine monotone Skala entgegensetzen (siehe Abb. 4) (Braus 1995, S. 332).



Abb. 4: *Hunnenschlacht*, Franz Liszt (Braus 1995, S. 333)

In der Oper *Wozzeck* (1925) ließ Alban Berg (1885-1935) durch eine spezielle Orchestrierung einen ähnlichen Effekt wie die Illusion der *Shepard Tones* entstehen. Er komponierte eine stetig aufsteigende Skala, bei der die höheren Instrumente zu spielen aufhörten, sobald sie ihren Tonumfang nach oben hin erreicht hatten, während in diesem Moment tiefere Instrumente im unteren Bereich ansetzten, um wiederum ein aufsteigendes Muster zu beginnen. (vgl. Braus 1995, S. 334)

[...] This creates an eery effect appropriate to the nightmare quality of the scene – *Wozzeck* searching the dark pond for the murder weapon. Berg's effect is not simply tacked on, but grows organically out of the musical structure of the scene. Ascending scales play an important thematic role in this part of the opera, leading to their striking use at the end of the scene. (Dowling; Harwood 1986, S. 109)

György Ligeti (1923–2006) nutzte beispielsweise die scheinbare Zirkularität in der Etüde für Klavier *Vertige* (zw. 1988–1994) – übersetzt „Schwindel“ – die so schnelle chromatische Tonleitern beinhaltet, dass es tatsächlich passieren kann, dass bei den Zuhörer/innen ein Schwindelgefühl hervorgerufen wird (Cavé; Risset 2010, S. 98). Doch dies war nicht das einzige Werk, bei dem Ligeti mit der Zirkularität

experimentierte: So findet man beispielsweise im *Allegro grazioso* seines *Streichquartett Nr. 1* (1956) Elemente, die auch Alban Berg in *Wozzeck* verwendet hatte. Im *Vivacissimo molto ritmico* seines *Trio für Horn, Violine und Klavier* (1982) untersuchte er das Entwicklungspotenzial der Zirkularität (Braus 1995, S. 340).

Auch in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts arbeiteten verschiedene Komponisten mit der Zirkularität der Tonhöhe. Zu erwähnen ist hierbei unter anderem der Komponist David Cleary (geb. 1954) mit seinem zweiten Werk der Reihe *Preludes for Piano* (1982–1983) sowie Ivan Tcherepnin (1943–1998) mit der Komposition *Valse Perpetuel* (1977). Clearys Werk beinhaltet eine Passage mit aufsteigenden Ganztonskalen im Abstand einer None, welche er durch das Fallenlassen der Sept am Ende jeder Skala umleitet (siehe Abb. 5). Im Gegensatz dazu bedient sich Tcherepnin der Noten D-D#-E-G-A-C, um damit scheinbar sechs Oktaven zu durchqueren. (vgl. Braus 1995, S. 340 f.)



Abb. 5: *Preludes for Piano*, Nr. 2, David Cleary (Braus 1995, S. 344)

Einen wichtigen Beitrag zur Verwendung der *Shepard Tones* in Musikstücken erbrachte Jean-Claude Risset, welcher sich mit dieser Illusion sowohl wissenschaftlich als auch künstlerisch beschäftigte, beispielsweise mit seinem Orchesterstück *Phases* (1988). Andere erwähnenswerte Werke dieses Komponisten, die sich mit der Zirkularität beschäftigen, sind *Mutations I* (1969) und *Triptyque pour Clarinette Solo et Orchestra*. Besonders der dritte Satz der Komposition *Phases* sticht hervor, da er zur Gänze auf der Zirkularität der Tonhöhe basiert (Braus 1995, S. 341). In diesem Satz verwendet Risset teilweise Tritoni, um die Tonhöhe noch uneindeutiger werden zu lassen. Der Komponist konzentriert sich hierbei auf die *Pitch Classes* A und Es als Endpunkte, von welchen ausgehend ein „unendlich“ chromatisch absteigender Fall beginnt (siehe Abb. 6) (Braus 1995, S. 344).



Abb. 6: *Phases*, Jean-Claude Risset (Braus 1995, S. 346)

Vor allem im Bereich der elektroakustischen Musik gibt es noch viel mehr Beispiele, welche die Illusion der *Shepard Tones* verwenden, diese sind jedoch meist nicht notiert. Zu diesen Vertretern zählen beispielsweise Stockhausens *Hymnen* (1966–1967), Kreneks Pfingstorianum *Spiritus intelligentiae sanctus* (1955–1956) oder auch das Zwischenspiel im Song *A Day in the Life* (1967) auf dem Album *Sergeant Pepper* der Beatles (Braus 1995, S. 347).

4. *Shepard Tones* mit inharmonischen und quasiharmonischen Spektren

Während Roger N. Shepard in seiner Tonreihe nur mit Teiltönen in Oktavabständen experimentierte, wagten sich unter anderem E.M. Burns oder Yoshitaka Nakajima an Teiltöne in anderen Abständen heran, um eine Shepard-Skala entstehen zu lassen.

So bildete E.M. Burns 1985 die Shepard-Skala zum Beispiel mit Teiltönen im 1400-Cent-Abstand, während Nakajima et al. im Jahr 1991 mit einer Mischung aus kleinen Sexten und Tritoni experimentierten. Murakita et al. stattdessen verwendeten Skalen aus einem Pseudorauschen, also unregelmäßige Teiltonabstände, um die Shepard-Skala erklingen zu lassen. (vgl. Nakajima 2000 [CD], Kapitel V)

4.1 Die Skala von E.M. Burns

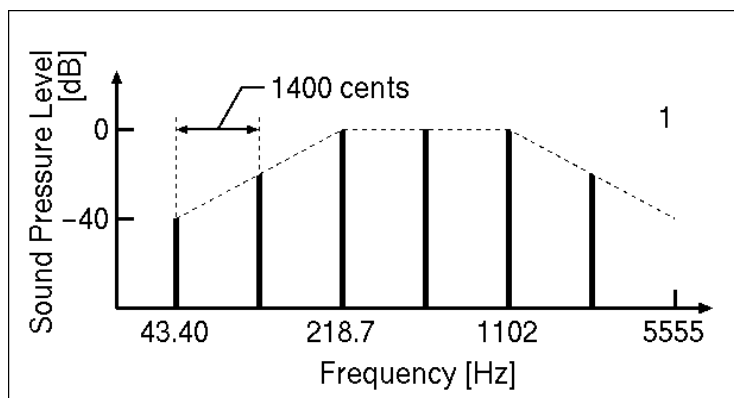


Abb. 7: Die Skala von E.M. Burns mit Teiltönen im Abstand von 1400 Cent (Nakajima, Sasaki, ten Hoopen 2000 [CD], 20-1anim)

E.M. Burns zeigte im Jahr 1985, dass das kontinuierliche Auf- oder Absteigen von Tönen, wie es beim Phänomen der *Shepard Tones* auftritt, auch erreicht werden kann, wenn komplexe Töne ohne klares Chroma verwendet werden. Im Zuge seiner Experimente verwendete Burns unter anderem Teiltöne im Abstand von 1400 Cent, also $7/6$ einer Oktave. In Abb. 7 (siehe oben) wird der erste komplexe Ton seiner Tonreihe demonstriert; neben diesem Ton wurden noch 13 weitere Töne generiert, indem alle Komponenten in 100-Cent-Schritten, also im Abstand eines Halbtones, aufwärts verschoben wurden. Wenn diese generierten Töne wiederholt vorgespielt werden, hört der/die Hörer/in eine entweder auf- oder absteigende Serie. In wenigen Fällen wird ein plötzlicher Abfall oder Aufstieg der Tonhöhe wahrgenommen, dies geschieht jedoch

viel seltener als die wirkliche Wiederholung der Töne (Nakajima 2000 [CD], Kapitel V).

Ziel von E.M. Burns war es, aufzuzeigen, dass die Illusion der *Shepard Tones* kein Beweis für eine Oktav-Äquivalenz, wie Shepards Ergebnisse oft gedeutet wurden, sei. Dies gelang ihm durch die Erzeugung derselben Illusion mit inharmonischen, komplexen Tönen, deren Teiltöne nicht (ausschließlich) aus Oktaven bestanden (Burns 1985, S. 467).

Die benötigten Töne wurden durch einen Computer mit einer Sampling-Rate von 10 kHz synthetisiert. Das spektrale Muster der Teiltöne blieb unverändert, mit Ausnahme der jeweils höchsten und tiefsten Komponenten. Sobald ein Teilton 5000 Hz überschritt, wurde er ausgelassen und stattdessen ein tiefer Teilton an der unteren Grenze (15 Hz) eingeführt. Jeder Ton dauerte 100 ms, eine Anstiegs- und Abfallzeit von 10 ms war hierbei inkludiert. Die Töne wurden mit einem 12-Bit D/A Umsetzer durch TDH-39 Kopfhörer in einem schallgedämpften Raum abgespielt. Die Lautstärke wurde folgendermaßen gewichtet: -6 dB pro Oktavverhältnis zu 240 Hz, das Lautstärkelevel eines Teiltönen bei 240 Hz betrug 65 dB SPL (Burns 1985, S. 468 f.).

Alle 21 Proband/innen dieser Studie waren Studenten der Purdue University und wurden mit 3,00\$ für ihre Teilnahme entlohnt. Jede/r Teilnehmer/in füllte vor Beginn des Experiments einen Fragebogen zu seinem/ihrer musikalischen Hintergrund aus, wobei dies kein Kriterium für die Teilnahme war (Burns 1985, S. 469).

Wie schon bei Shepard im Jahr 1964 wurden auch im Experiment von Burns relativ lange Pausen von 800 ms zwischen den Tönen eingefügt, um die Illusion der *Shepard Tones* aufrecht erhalten zu können. Die Versuchspersonen hörten jeweils zehn Zyklen von sieben verschiedenen Reizzuständen (C2S, OCT, OCT(2S), S2S, C4S, S4S und C6S) in zufälliger Reihenfolge. OCT steht hierbei für eine Teiltonzerlegung im Abstand einer Oktave (1200 Cent), C2S („compression by two semits“ (Burns, 1981, S. 469)) bezieht sich auf eine Komprimierung der Teiltonzerlegung um zwei Halbtöne (1000 Cent) und S2S („stretching by two semits“ (Burns, 1981, S. 469)) verweist auf eine Streckung um zwei Halbtöne (1400 Cent) (vgl. Abb. 8). Den Proband/innen wurde als Einführung erklärt, dass sie eine Tonsequenz zu hören bekämen, deren Tonhöhe stetig ansteigen würde. An bestimmten Punkten jedoch könnten plötzlich große

Tonhöhenabfälle vorkommen, worauf folgend die Tonhöhe wieder ansteigen würde. Die Teilnehmer/innen wurden darum gebeten, jedes Mal auf einen Knopf auf einer Antworttafel zu drücken, sobald sie diese Senkung wahrnehmen konnten (Burns, 1981, S. 469).

Table 1
Parameters for Stimulus Conditions

Stimulus Condition	R	P	S	T
C2S	10	10	1	10
OCT	12	9-8	1	12
OCT(2S)	12	9-8	2	6
S2S	14	8-7	1	14
C4S	8	13-12	1	8
S4S	16	7-6	1	16
C6S	6	17-16	1	6

Note—R = partial separation (in semits); P = number of partials; S = ratio between consecutive tones (in semits); T = number of tones in cycle.

Abb. 8: Parameter der Reizzustände (Burns, 1981, S. 469)

Nach dem Durchlauf aller Zyklen wurden den Versuchspersonen drei der Reizzustände (C2S, OCT und S2S) vorgespielt, jedoch dieses Mal mit einer Pause von nur 50 ms zwischen den Tönen. Zum Abschluss wurden diese drei Reizzustände noch einmal mit der Pause von 800 ms abgespielt (Burns, 1981, S. 469)

Durch das Erstellen von Histogrammen mit den Antworten jeder einzelnen Testperson zu jedem einzelnen Reizzustand und deren Vergleich, entdeckte E.M. Burns, dass sich die Antworten sehr stark voneinander unterschieden. Aus diesem Grund kategorisierte er die Antwortmuster in drei verschiedene Modi:

1. Wenn der Knopf gar nicht (oder nur sehr selten) während eines Durchlaufs durch alle zehn Zyklen eines Reizzustandes gedrückt wurde, war dies ein starkes Zeichen dafür, dass die Illusion einer stetig steigenden Tonhöhe erfolgreich wahrgenommen wurde.
2. Eine Antwort pro Zyklus eines Reizzustandes, die jeweils bei demselben Ton gegeben wurde, war ein klares Indiz dafür, dass die Proband/innen die zirkuläre Natur der Skala entdeckt hatten.
3. Falls der Antwortknopf mindestens einmal pro Zyklus auf verschiedenen, zufälligen Tönen gedrückt wurde, wies dies darauf hin, dass entweder eine mehrdeutige Situation entstanden war, bei dem die Teilnehmer/innen Sprünge in

der Tonhöhe wahrgenommen hatten, die in jedem Zyklus an einem anderen Ton auftraten, oder dass die Testpersonen zufällig geantwortet hatten (Burns, 1981, S. 469).

Nach der Auswertung der Histogramme konnte als Erstes festgestellt werden, dass es keinen großen Unterschied bei der Wahrnehmung gibt, wenn die Teiltöne durch Oktaven oder durch andere Verhältnisse getrennt werden. Daraus kann geschlossen werden, dass die Testpersonen dazu neigen, in einer Wahrnehmungsform zu bleiben, auch wenn sich die Reizzustände verändern: Jene Teilnehmer, welche die Illusion in einem der Reizzustände wahrnahmen, nahmen ihn zumeist in allen Konditionen wahr, während zum Beispiel jene, welche die Tonabfolge in einem Reizzustand als zyklisches Muster erkannten, auch für die anderen Beispiele in dieser Form der Wahrnehmung blieben (Burns 1981, S. 469).

In particular, there were no subjects who had a small number of responses in column 1 (indicating that they heard the illusion) for one of the octave conditions who did not also have a small number of responses in column 1 for some of the other conditions. Risset [...] has also produced the illusion with tones having nonoctave partial separation. These results are a clear demonstration that octave equivalence is not the basis for the illusion. (Burns 1981, S. 469 f.)

Obwohl bei diesem Experiment nur ein Drittel der Proband/innen die Illusion wahrnehmen konnten, kann man dies dennoch als Hinweis dafür sehen, dass das Phänomen der *Shepard Tones* auch mit Teiltonabständen in anderen Verhältnissen als jenen der Oktave funktioniert. Dass nur wenige Versuchspersonen die Illusion hörten, lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass sie eine andere Erwartungshaltung hatten, nämlich jene der wiederkehrenden Tonhöhenabfälle. In weiteren, informellen Sitzungen mit 20 Zuhörer/innen wurden die Skalen ohne Einführung abgespielt, was zur Folge hatte, dass 19 von ihnen die Illusion wahrnehmen konnten. Des Weiteren könnte die geringe Anzahl derjenigen, welche die Illusion bemerkten, auch dadurch erklärt werden, dass Teiltöne, welche die Grenze von 5 kHz überschritten, weggelassen werden mussten. Oftmals entdeckten die Proband/innen die zyklische Natur der Skala in dem Moment, in dem der erste zu hoch gewordene Teilton ausgeschlossen wurde (Burns 1981, S. 470).

Ferner konnte Burns durch den letzten Teil seines Experiments, bei dem drei der sieben Reizzustände noch einmal wiederholt wurden, feststellen, dass bei der Wahrnehmung

der Illusion ein Lerneffekt auftritt. Bei der Wiederholung mit einer Pause von 50 ms zwischen den Tönen berichteten fast alle Teilnehmer/innen davon, ein zyklisches Muster zu hören. Bei C2S(II), OCT(II) und S2S(II) wurde die Illusion der immer weiter aufsteigenden Tonskala also viel seltener wahrgenommen als bei der ursprünglichen Präsentation von C2S, OCT und S2S. Dieser Lerneffekt machte sich darüber hinaus bei manchen Proband/innen schon bei den zuerst abgespielten sieben verschiedenen Reizzuständen bemerkbar: Einige Testpersonen hörten die zyklische Natur der Skala schon nach dem Hören von zwei oder drei der Konditionen (Burns 1981, S. 471).

Auch in Burns Experimenten konnte kein Zusammenhang zwischen der musikalischen Ausbildung des Probanden bzw. der Probandin und deren Wahrnehmung der Illusion festgestellt werden. Des Weiteren stach die Illusion bei musikalisch ausgebildeten Versuchspersonen nicht stärker heraus, wenn die Teiltöne im Abstand einer Oktave lagen. Obwohl schon früher ein großer Zusammenhang zwischen dem musikalischen Training und der Oktaväquivalenz abgeleitet werden konnte, bestätigte diese nicht vorhandene Korrelation Burns' Vermutung, dass die Gleichartigkeit der Oktaven kein entscheidender Faktor für die Entstehung dieser Illusion sei (Burns 1981, S. 470). Dennoch wird das Konzept des Chromas aus diesem Grund nicht ungültig, da die zweidimensionalen Modelle zur Beschreibung der Wahrnehmung der relativen Tonhöhe unter gewissen Umständen und bei Personen mit herausragender musikalischer Ausbildung weiterhin eine Berechtigung haben. Laut Burns sollte die Hauptfrage in dieser Diskussion lauten, ob die Oktaväquivalenz ein reines Ergebnis ist, welches aus Lernen und Erfahrung resultiert, oder ob im menschlichen auditorischen System eine angeborene Basis dafür existiert (Burns 1981, S. 471).

4.2 Die Skala von Nakajima et al.

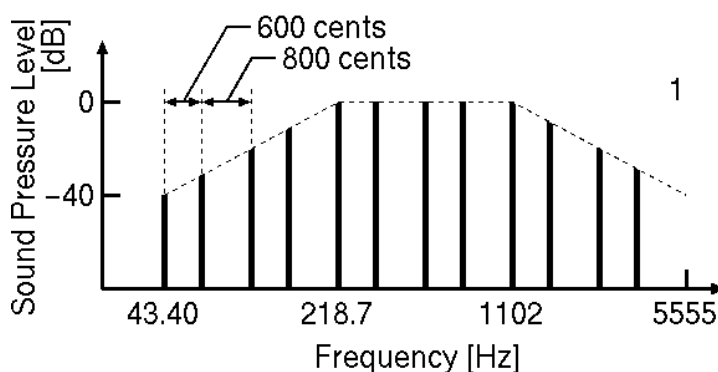


Abb. 9: Die Skala von Nakajima et al. mit Teiltönen im Abstand von abwechselnd 600 und 800 Cent (Nakajima, Sasaki, ten Hoopen 2000 [CD], 21-1anim)

Nakajima et al. generierten im Jahr 1991 komplexe Töne, um die Zirkularität der Tonhöhe, die Roger N. Shepard entdeckt hatte, weiter zu erforschen. Diese Töne waren ähnlich jener Skala von E.M. Burns¹, da sie wiederum eine spektrale Periodizität von 1400 Cent aufwiesen. Diese Teiltonabstände von 1400 Cent wurden in verschiedenen Experimenten in jeweils zwei Teile mit dem Verhältnis von 700:700 (Set I), 600:800 (Set II), 550:850 (Set III), 500:900 (Set IV), 450:950 (Set V), 400:1000 (Set VI) und 0:1400 (Set VII) unterteilt. Bei den Verhältnissen 0:1400 und 400:1000 konnten die Teilnehmer/innen eine Periodizität bei 1400 Cent feststellen, bei dem Verhältnis 700:700 und 600:800 reagierten sie darüber hinaus auf eine Periodizität von 700 Cent (Nakajima et al. 1991, S. 291).

In diesem Kapitel wird genauer auf die Skala mit Teiltonabständen von abwechselnd 600 und 800 Cent eingegangen, da diese im weiteren Verlauf noch wichtig sein wird. Dennoch werden aber auch die anderen Teiltonverhältnisse kurz erläutert. Da innerhalb der 1400 Cent-Abstände jeweils abwechselnd Intervalle von 600 und 800 Cent (siehe Abb. 9) gebildet wurden, erzielten diese Töne eine Quasi-Periodizität bei 700 Cent. Auch diese Töne werden grundsätzlich als kontinuierlich auf- oder absteigend bezeichnet, wenn sie die spektrale Periode von 1400 Cent in 100-Cent-Schritten abdecken (Nakajima 2000 [CD], Kapitel V).

Wie zuvor bei Shepard wurden auch in dem Experiment von Nakajima et al. die Komponenten um jeweils 100 Cent verschoben, während die spektrale Hüllkurve nicht verändert wurde. Wenn Komponenten 5555 Hz erreichten bzw. überschritten, wurden sie weggelassen und durch tiefere Komponenten, welche mindestens eine Frequenz von 43,40 Hz erreicht haben mussten, ersetzt. Die spektrale Hüllkurve war trapezförmig und entsprach den Koordinaten einer logarithmischen Frequenz und einer logarithmischen Amplitude. Die Lautstärke blieb in einem Bereich zwischen 218,7 Hz und 1102 Hz konstant, während sie bei den Frequenzen 43,40 Hz und 5555 Hz um 40 dB abgesenkt wurde (siehe Abb. 7). Die einzelnen Töne hatten eine Dauer von 100 ms, wobei eine Anstiegs- und Abfallzeit von 10 ms inkludiert war (Nakajima et al. 1991, S. 296).

¹ siehe Kapitel 4.1: S2S – „Stretching by two semits“

Zum Generieren dieser Töne wurde ein TEAC PS-9000-216 Computer mit einem D/A Wandler verwendet, abgespielt wurden sie monophon mit ungefähr 80 dBA durch einen ONKYO AG-5 Verstärker und STAX SR-X MK.3 Kopfhörer (Nakajima et al. 1991, S. 297).

Der Ablauf dieses Experiments war folgendermaßen: Die Töne wurden in Paaren abgespielt, wobei zwischen jedem Tonpaar eine Pause von 600 ms lag. Danach folgte eine Pause von drei Sekunden, um den Proband/innen Zeit zum Antworten zu geben. Hierbei mussten die Teilnehmer/innen entscheiden, ob der zweite Ton höher oder tiefer als der erste Ton war. Die Versuchspersonen waren zehn Studenten, welche Amateurmusiker/innen mit normalem, unbeschädigtem Gehör waren (Nakajima et al. 1991, S. 298).

Bei jedem abgespielten Tonset konnte bei den Testpersonen eine auftretende Zirkularität nachgewiesen werden, sodass die Proband/innen wiederum eine endlos aufsteigende Skala hörten. Während bei den Tönen mit Teiltonabständen im Verhältnis 700:700, 400:1000 und 0:1400 Cent jeweils die echte spektrale Periodizität bei 700 Cent (Set I) oder 1400 Cent (Set VI und Set VII) wahrgenommen wurde, unterschieden sich die Ergebnisse der Teilnehmer/innen bei Set II (600:800): Hierbei nahmen die Versuchspersonen zwei Perioden innerhalb jeder 1400-Cent-Periode wahr, da die Tonhöhe auch auf Basis einer spektralen Quasi-Periodizität bei 700 Cent beurteilt wurde (Nakajima et al. 1991, S. 299 f.).

Aus diesen Ergebnissen resultierend führten Nakajima et al. ein weiteres Experiment durch, bei dem die Sets III, IV und V verwendet wurden, die Verhältnisse wurden jedoch auf 550:850, 500:900 und 450:950 geändert. Hierbei traten einige unterschiedliche Ergebnisse auf, obwohl sich die Antworten der Proband/innen im ersten Experiment geähnelt hatten (Nakajima et al. 1991, S. 302).

In diesem Experiment war es Nakajima et al. nicht möglich, die Versuchspersonen nach ihren Antworten zu klassifizieren, da die Unterteilung in Einzelkreis und Doppelkreis nicht möglich war. Vor allem in den Sets III und IV basierten einige Proband/innen ihre Aussagen sowohl auf der spektralen Periodizität von 1400 Cent als auch auf der spektralen Quasi-Periodizität bei ungefähr 700 Cent (Nakajima et al. 1991, S. 310).

Die generellen Ergebnisse dieser beiden Experimente konnten, wie zuvor schon bei E.M. Burns, weiter bestätigen, dass es Zweifel daran geben sollte, ob die Illusion der *Shepard Tones* wirklich im Zusammenhang mit einer Oktaväquivalenz steht, da auch mit Teiltönen im Abstand von 1400 Cent (in verschiedenen Verhältnissen) dasselbe Phänomen der auf- oder absteigenden Skala erreicht werden konnte. Dies ist jedoch verwunderlich, da es schwierig sein sollte, die Skala endlos zu empfinden, weil unter anderem der 13. Ton von Set II dem ersten Ton der Reihe ähneln sollte. Dieser Ton wird nämlich dadurch, dass die Komponenten des ersten Tons um eine Oktave nach oben versetzt werden. Obwohl dies der Fall ist, wurde der Ton von den Proband/innen nicht als eine Oktave höher als der erste Ton, sondern nur als allgemein höher bezeichnet (Nakajima et al. 1991, S. 303).

Zur Interpretation des Chromas widersprechen Nakajima et al. der Theorie von E.M. Burns: Da das durchschnittliche Verhältnis in der Skala mit Teiltönen im Abstand von 600:800 Cent als 700:700 betrachtet werden kann, ist dies ein weiterer Hinweis darauf, dass die konventionelle Interpretation der *Shepard Tones* nicht richtig ist. Dies lässt sich damit erklären, dass die Testpersonen in diesem Experiment den Unterschied zwischen 600 und 800 Cent, also 200 Cent, negieren konnten, was sehr schwierig sein würde, wenn die stetige Aufwärtsbewegung durch das Chroma entstehen würde (Nakajima et al. 1991, S. 307).

We would like to describe our hypothesis more systematically within the context of the present experiments. In Set II, Tones 3 and 10 are situated near each other in the double-circle configurations, as shown in Figures 2-4. The uppermost part of Figure 9 shows the reason. The spectra of these tones are really close to each other, although their tone numbers are not. If we neglect differences of 100 cents, they are identical. The lower parts of this figure show how Tone 5 is perceived as higher than these tones. Thus, Tones 3 and 10 can be regarded as similar with respect to relative pitch judgments, from which double-circle configurations result.² (Nakajima et al. 1991, S. 307)

Dennoch lehnen die Autoren die Vorstellung des Ton-Chromas oder der Oktaväquivalenz nicht zur Gänze ab, sie schlagen lediglich vor, vorsichtig bei der Anwendung dieser zu sein. Dies lässt sich auf zwei Arten anwenden: Im *Tritonus-Paradoxon* von Diana Deutsch ist die dynamische Tonhöhe kein guter Anhaltspunkt zur Beurteilung der relativen Tonhöhe. In diesem Fall kann das Chroma sehr wohl eine

² Abbildungen siehe Anhang

entscheidende Rolle spielen. Im Gegensatz dazu ist im Fall dieser Experimente das Ton-Chroma kein passendes Indiz, weshalb die dynamische Tonhöhe im Vordergrund stehen könnte. Diese Theorie lässt sich auf verschiedene Situationen anwenden, Chroma und dynamische Tonhöhe können allerdings auch zusammenarbeiten: “They are mixed together in a complex manner in music, and it is sometimes necessary to separate them experimentally.” (Nakajima et al. 1991, S. 312).

Nakajima et al. schlugen eine einfache, jedoch nicht ausgereifte Erklärung für die Tonhöhen-Zirkularität von periodischen und quasi-periodischen Spektren komplexer Töne vor:

When some spectral components shift together in the same direction and by similar degrees, they appear to cause the perception of a global pitch movement, as we concluded in our previous study. The degrees of these shifts need not be precisely equal. [...] Also in the Shepard demonstration, a sufficient number of components must shift together in the same direction to cause a pitch shift in this direction [...] (Nakajima et al. 1991, S. 310 f.)

4.3 Die Skala von Murakita et al.

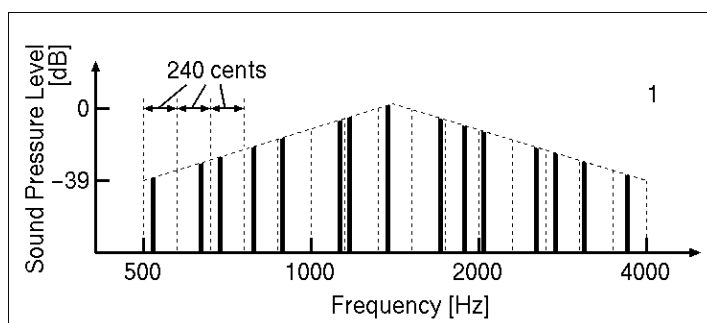


Abb. 10: Die Skala von Murakita et al. mit unregelmäßigen Teiltonabständen (Nakajima, Sasaki, ten Hoopen 2000 [CD], 22-1anim)

Murakita et al. generierten im Jahr 1997 komplexe Töne, welche aus 15 Komponenten bestanden und keine spektrale Periodizität aufweisen konnten. Für die Entstehung dieser Töne wurden drei Oktaven in 15 Bereiche, welche aus jeweils 240 Cent bestanden, eingeteilt. Pro 240-Cent-Bereich wurde eine Komponente zufällig innerhalb dieses Abstandes platziert, sodass keine Regelmäßigkeiten auftreten konnten (siehe Abb. 10). Um daraus eine Skala zu bilden wurde wiederum jede einzelne spektrale Komponente um 100 Cent aufwärts geschoben. Sobald eine Komponente über die obere spektrale Grenze bewegt wurde, tauchte eine andere Komponente von der unteren Grenze auf, um die Anzahl und die Dichte der Komponenten aufrecht zu erhalten. Auch bei dieser Skala

werden die Töne normalerweise als kontinuierlich aufsteigend oder absteigend wahrgenommen (Nakajima 2000 [CD], Kapitel V).

5. Tritonus-Paradoxon nach Diana Deutsch

Es wird ein Muster von Tönen untersucht, welches einige bemerkenswerte Eigenschaften besitzt. Es wird als aufsteigend gehört, wenn es in einer Tonart gespielt wird, aber als absteigend, wenn es in einer anderen Tonart gespielt wird. Wenn das Muster auf Tonband aufgenommen und dann mit verschiedenen Geschwindigkeiten wiedergegeben wird, wird es abhängig von der Geschwindigkeit der Wiedergabe entweder als aufsteigend oder als absteigend gehört. Als weiteres Paradoxon wird das Muster in irgendeiner Tonart von manchen Zuhörer/innen als aufsteigend, aber von anderen als absteigend gehört. (Deutsch 1986, S. 275, vgl. Abb. 11)



Abb. 11: Die Wahrnehmung derselben Tonpaare durch zwei verschiedene Testpersonen (Deutsch 1986, S. 279)

Das von Diana Deutsch erforschte *Tritonus-Paradoxon* baut auf den *Shepard Tones* auf, da hierbei Tritonus-Intervalle aus den Tönen der Shepard-Skala herausgenommen werden. Sie teilte die Töne zum besseren Verständnis in *Pitch Classes* ein; den *Pitch Class Circle* kann man in Abb. 12 erkennen. In dieser Einteilung bilden alle Cs, Ds, etc. egal welcher Oktave eine Klasse (Deutsch 1991 (b), S. 338).

Schon Shepard zeigte, dass seine generierten Töne als entweder aufsteigendes oder absteigendes Muster gehört werden, je nachdem in welche Richtung die kürzere Distanz auf dem *Pitch Class Circle* zurückgelegt werden muss. Bei seinen Forschungen konnte er feststellen, dass das Intervall des Tritonus zweideutig ist, wenn es mit seiner neu generierten Skala abgespielt wird (Shepard 1964, S. 2351).

An interesting aspect of the diametrically opposed tones is that their ambiguity is usually not *subjective*. That is, the second tone is nearly always heard as clearly higher or clearly lower than the first tone (by a diminished fifth in either case). The ambiguity shows up, rather, in the discrepancy between the judgments made on different occasions. [...] That is, they [the subjects] would say that although the second tone was clearly different in pitch they were unsure of the direction of the difference [...] (Shepard 1964, S. 2351)

Roger N. Shepard beließ es jedoch dabei, dass vor allem dieses spezielle Intervall schwer zu definieren ist und forschte nicht weiter nach möglichen Ursachen. Aus diesem Grund wollte Diana Deutsch erforschen, wie sich die Wahrnehmung genau verhält, wenn man ein Tonpaar verwendet, welches genau im Abstand einer halben Oktave liegt, sodass dieselbe Distanz in beide Richtungen vorliegt. (vgl. Deutsch 1986, S. 276)

What happens, for example, when C is played followed by F#, or A is played followed by D#, and so on? Will judgments of height here be ambiguous, or will some other principle be invoked to resolve ambiguity? In Shepard's experiment, data were averaged over subjects and also over pitch classes, and for such data, ascending and descending judgments occurred equally often. This finding is consistent with a perceived ambiguity of height in this condition. (Deutsch, 1986, S. 287)

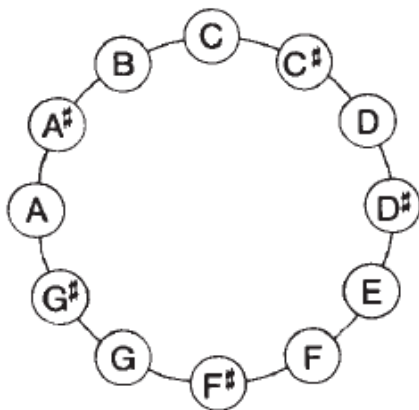


Abb. 12: „Pitch Class Circle“: Gruppierung aller Töne im Oktavabstand – Diana Deutsch (Deutsch 1986, S. 276)

Wenn jene Intervalle Testpersonen vorgespielt werden, können diese nicht einstimmig sagen, in welche Richtung die Melodie fortgeführt wird, da manche Menschen das Intervall als aufsteigend, andere wiederum als absteigend wahrnehmen. Hat man sich in eine Richtung eingehrt (z.B. C#-G = absteigend), so bleibt man in dieser Richtung (d.h. man würde G-C# als aufsteigend wahrnehmen) bis zu einer bestimmten Grenze, darüber bzw. darunter hört man die entgegengesetzte Richtung (Deutsch 1991 (b), S. 336 f.).

Diana Deutsch gab sich jedoch nicht mit Shepards Aussage zur Zweideutigkeit der Tritoni zufrieden, sondern erforschte, nach welchen Gesetzen diese Intervalle in die jeweils eine oder andere Richtung gehört werden. Dabei orientierte sie sich am *Pitch*

Class Circle in der Hoffnung, dass Töne in der einen Region immer als „höher“, in der gegenüberliegende Region immer als „tiefer“ wahrgenommen werden (Deutsch 1986, S. 276). Um diese Theorie entweder zu bestätigen oder zu widerlegen, führte Deutsch einige Experimente durch:

5.1 Allgemeines Experiment zum *Tritonus-Paradoxon*

In einem ersten Experiment zum *Tritonus-Paradoxon* nahmen acht musikalisch ausgebildete Versuchspersonen mit normalen Gehörbedingungen teil. Sieben der Teilnehmer/innen waren Student/innen der University of California, San Diego und wurden für ihre Teilnahme bezahlt. Diana Deutsch war die achte Versuchsteilnehmerin (Deutsch 1986, S. 277).

Die Proband/innen wurden in schalldichten Kabinen mit den Intervallen konfrontiert. Die verwendeten Töne wurden hierbei auf einem VAX 11/780-Computer generiert, das benötigte Sound-Synthese-System wurde von Moore im Jahr 1982 entwickelt. Mit einem digitalen Sony PCM-F1 Audioprozessor wurden diese Töne aufgenommen und rückwärts abgespielt, danach wurden sie durch einen Crown-Verstärker durchgeleitet. Die Tonbeispiele wurden den Testpersonen daraufhin mit einer Lautstärke von ungefähr 72 dB SPL durch Grason-Stadler TDH-49-Kopfhörer binaural präsentiert (Deutsch 1986, S. 276).

Die Töne bestanden wie zuvor schon bei Shepard aus Sinustönen mit Teiltonabständen im Intervall einer Oktave. Die Amplituden der sechs Sinustöne wurden durch eine fixe, glockenförmige Hüllkurve bestimmt (vgl. Abb. 13). Um mögliche Effekte durch die relative Amplitude der Sinustöne zu kontrollieren, wurden alle Töne mit Hüllkurven an sechs verschiedenen Positionen generiert. Die Spitzen dieser Kurve waren im Abstand einer halben Oktave platziert, nämlich bei $\sharp$ (185 Hz), c' (262 Hz), $\sharp'$ (370 Hz), c'' (523 Hz), $\sharp''$ (740 Hz) und c''' (1047 Hz). (vgl. Deutsch 1986, S. 278)

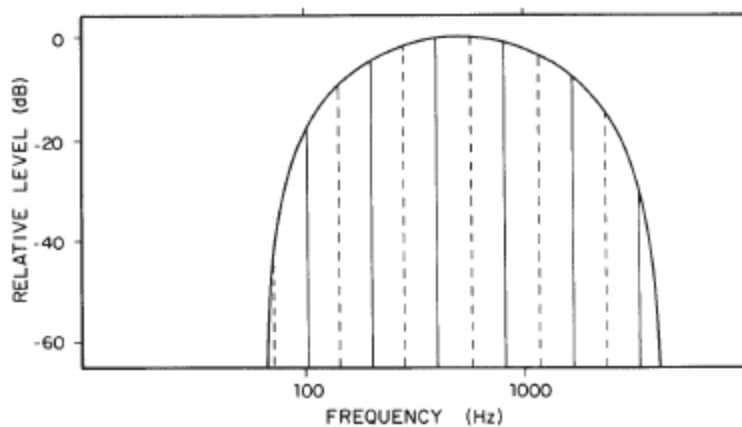


Abb. 13: spektrale Darstellung der verwendeten Töne (hier: die Hüllkurve ist zentriert bei 523 Hz (c''))
(Deutsch 1986, S. 275)

Unter jeder dieser sechs spektralen Hüllkurven wurden zwölf Tonpaare generiert, welche den *Pitch Class*-Paaren C-F#, C#-G, D-G#, D#-A, E-A#, F-H, F#-C, G-C#, G#-D, A-D#, A#-E und H-F entsprachen. Dies ergab eine Gesamtanzahl von 72 Tonpaaren, welche in Blöcken von jeweils 12 abgespielt wurden. Jeder hier verwendete Block enthielt Töne, welche unter einer der sechs Hüllkurven generiert wurden, und darüber hinaus ein Exemplar jedes *Pitch-Class*-Paares. Die Tonpaare wurden in zufälliger Reihenfolge abgespielt, mit der Einschränkung, dass dieselbe *Pitch Class* nicht in zwei aufeinanderfolgenden Tonpaaren vorhanden sein durfte. Auch die zwölf verschiedenen Blöcke wurden in zufälliger Reihenfolge wiedergegeben. (Deutsch 1986, S. 278)

Das Experiment lief folgendermaßen ab: Bei jedem Durchlauf wurde den Teilnehmer/innen ein aufeinanderfolgendes Tonpaar vorgespielt, welches danach beurteilt werden sollte, ob das Muster auf- oder absteigend war. Jeder Ton dauerte hierbei 500 ms, es gab keine Pause zwischen den beiden Tönen. Zwischen den Tonpaaren war eine Pause von fünf Sekunden, welche den Versuchspersonen Zeit geben sollte, ihre Antworten zu notieren. Die Proband/innen wurden zu zwei Sitzungen an verschiedenen Tagen geladen, wobei bei jeder Sitzung 12 Blöcke mit jeweils 12 Tonpaaren abgespielt wurden. Zwischen den Blöcken gab es jeweils eine Pause von einer Minute, zwischen dem sechsten und siebten Block wurde diese Pause auf fünf Minuten verlängert. Zu Beginn jeder Sitzung wurden ein paar Übungsbeispiele gegeben, die Ergebnisse der beiden Sitzungen wurden gemittelt (Deutsch 1986, S. 276).

5.1.1 Ergebnisse

Bei sechs von acht Teilnehmer/innen konnte eine Regelmäßigkeit der Positionen rund um den *Pitch Class Circle* festgestellt werden. Da die anderen beiden Proband/innen keine solchen systematischen Beziehungen aufweisen konnten, wurden sie in Deutschs Auswertung beiseitegelassen (Deutsch 1986, S. 278).

Aus den Bewertungen der sechs Versuchspersonen konnte festgestellt werden, dass große Unterschiede in der Wahrnehmung der Tritonus-Paare bestehen (siehe Abb. 14).

Während ein/e Teilnehmer/in (FT) die *Pitch Classes* von H bis E immer als „höher“ und die *Pitch Classes* von F# bis A immer als „tiefer“ wahrnahm, produzierte ein/e weitere/r Proband/in (DD) eine Funktion, welche annähernd das Spiegelbild der Funktion der ersten Person war. Der/die Teilnehmer/in TK beurteilte wiederum die Töne A bis C immer als „höher“, C# bis G als „tiefer“. MB zeigte eine klare Spitze bei dem Ton H und den zugehörigen Tiefpunkt bei F. Während die Person AS die Töne A# bis D# als „höher“ und die Töne E bis A als „tiefer“ beurteilte, empfand MJD die Töne F# bis A als „höher“ und im Gegensatz dazu C bis D# als „tiefer“. Diese Erkenntnis impliziert, dass die Tritonus-Paare bei einer großen Menge an Versuchspersonen in vielen verschiedenen Arten gehört werden würde (Deutsch 1986, S. 278).

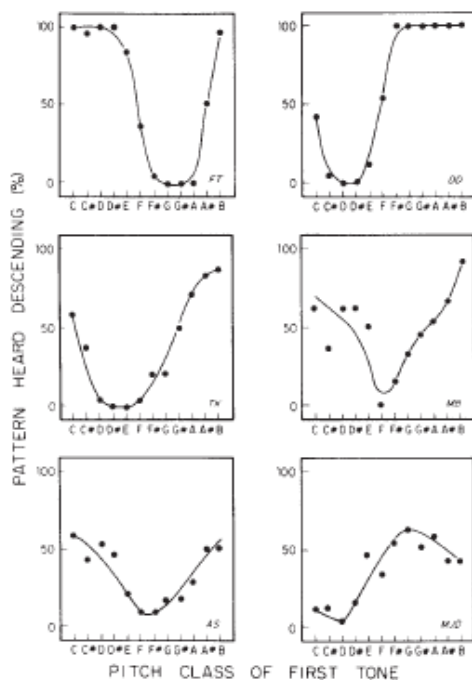


Abb. 14: Bewertungen der sechs Versuchspersonen, ob ein Tonpaar ein absteigendes Muster bildet, als Funktion der *Pitch Class* des ersten Tons (in Prozent) dargestellt (Deutsch 1986, S. 279)

The finding that listeners are able to refer to the absolute positions of tones along the pitch-class circle in making judgments of height shows that the possession of absolute pitch is, in a sense, considerably more common than has been assumed [...]. The extent to which this principle is invoked in determining the perceived heights of naturally occurring sounds remains to be investigated. (Deutsch 1986, S. 279)

Nachdem Diana Deutsch durch dieses Experiment einen Zusammenhang zwischen dem *Pitch Class Circle* und der Wahrnehmung des Tritonus-Intervalls aus der Shepard-Skala feststellen konnte, widmete sie sich vor allem der Frage, ob es gewisse Einflüsse auf die Verteilung der Tongruppen am *Pitch Class Circle* gäbe.

5.2 Einflüsse auf das *Tritonus-Paradoxon*

Als die ersten allgemeinen Forschungen zu diesem Thema abgeschlossen waren, vertiefte Diana Deutsch sich noch weiter in die Materie, um Einflüsse auf die Empfindung des *Tritonus-Paradoxons* festzustellen. Hierbei konzentrierte sie sich vor allem auf regionale Einflüsse und auch auf den Einfluss der Sprache, um einen Zusammenhang zwischen den verschieden wahrgenommenen Mustern zu finden. Zu beiden Themen wurden einige Experimente durchgeführt:

5.2.1 Regionale Einflüsse

In einer Studie von Diana Deutsch aus dem Jahr 1991 wurde ein großer Unterschied zwischen Testpersonen aus Kalifornien und Testpersonen aus Südengland in der Wahrnehmung des *Tritonus-Paradoxons* entdeckt. In diesem Experiment wurde ersichtlich, dass die kalifornische Gruppe eher dazu tendierte, das Intervall als absteigend zu hören, wenn die Gruppe aus England den Tritonus als aufsteigend hörte, und umgekehrt (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 213).

Bei diesem Experiment wurden wie auch schon früher Sinustöne mit Teiltönen im Abstand einer Oktave verwendet, sodass die Töne klar einer Tonklasse zugeordnet (z.B. C, C#, D, D#, etc.), aber nur schlecht in ihrer Höhe definiert werden konnten. (vgl. Deutsch 1991 (b), S. 336) Es nahmen 36 Personen an diesem Experiment teil, welche in zwei Gruppen aufgeteilt wurden. Die erste Gruppe umfasste 24 Proband/innen, welche in Kalifornien aufwuchsen und das letzte Jahr in Kalifornien verbracht hatten. Die zwölf Versuchspersonen der zweiten Gruppe wuchsen im Süden Englands auf, jedoch lebte der Großteil von ihnen zum Zeitpunkt des Experiments in Kalifornien. Eine weitere

Einschränkung zur Teilnahme war, dass niemand aus Kalifornien einen Elternteil, der in England aufwuchs, und auch umgekehrt kein Proband oder keine Probandin aus England einen Elternteil, welcher in Kalifornien aufwuchs, haben durfte (Deutsch 1991 (b), S. 339).

Es wurden zwölf Tonpaare verwendet, welche die Tonklassen C-F#, C#-G, D-G#, D#-A, E-A#, F-H, F#-C, G-C#, G#-D, A-D#, A#-E und H-F umfassten. Jedes dieser Tonpaare wurde unter vier verschiedenen spektralen Hüllkurven generiert, sodass insgesamt 48 Tonpaare verwendet wurden. Jeder dieser Töne dauerte 500 ms, innerhalb eines Tonpaares wurde keine Pause eingefügt. Darüber hinaus hatten alle Töne dieselbe Lautstärke. Die 48 Tonpaare wurden in Blöcken von jeweils zwölf präsentiert, wobei jeder Block aus den Tönen einer der vier spektralen Hüllkurven bestand. Die Reihenfolge der abgespielten Tonpaare war zufällig, mit der Einschränkung, dass dieselbe Tonklasse nicht in zwei aufeinanderfolgenden Tonpaaren auftreten durfte (Deutsch 1991 (b), S. 340).

Die Proband/innen wurden wie schon im Experiment davor in schalldichten Kabinen mit den Tonpaaren konfrontiert, wobei sie jeweils beurteilen mussten, ob das Muster auf- oder absteigend sei. Zwischen jedem Block gab es eine Pause von einer Minute, zwischen dem achten und dem neunten Block wurde wiederum eine Pause von fünf Minuten eingefügt. Die Tonpaare wurden im Abstand von fünf Sekunden präsentiert. Wie zuvor wurden die Testpersonen auch in diesem Experiment zu zwei Sitzungen eingeladen, in welchen jeweils alle 16 Blöcke abgespielt wurden. Auch hier wurde der Durchschnitt der Ergebnisse ausgerechnet und es gab vor jeder Sitzung einige Übungsbeispiele (Deutsch 1991 (b), S. 340).

Bei der Auswertung dieses Experiments wurden die *Pitch Classes* der englischen und der kalifornischen Teilnehmer/innen getrennt voneinander betrachtet. Hierbei konnte festgestellt werden, dass F#, G und G# bei der Gruppe der Engländer/innen am häufigsten an der Spitze des *Pitch Class Circles* lagen, während es bei der Gruppe der Kalifornier/innen die Töne H, C, C#, D und D# waren. Daraufhin stellte Diana Deutsch die Hypothese auf, dass die kalifornischen Versuchspersonen eine ähnliche Verteilung am *Pitch Class Circle* haben sollten, wie sie bei einer Studie mit kalifornischen Student/innen aus dem Jahr 1987 auftrat. Die englischen Proband/innen sollten jedoch eine andere Form der Verteilung aufzeigen. Diese Hypothese zeigte sich als richtig, da

21 der 24 Kalifornier/innen in diese Kategorie fielen, während dies nur bei drei der zwölf Engländer/innen der Fall war (Deutsch 1991, S. 342).

Wie auch schon in früheren Studien wurde auch hier überprüft, ob es einen Zusammenhang zwischen der musikalischen Ausbildung und dem *Tritonus-Paradoxon* geben könnte. Zu diesem Zweck wurden sowohl die englische, als auch die kalifornische Gruppe in zwei Unterkategorien geteilt. In die erste Unterkategorie kamen jeweils diejenigen, die mehr als zwei Jahre musikalischen Trainings hinter sich hatten, in die andere kamen die Personen, welche weniger als zwei Jahre musikalisch ausgebildet worden waren. Auch in diesem Fall konnte nach dem Vergleich der Ergebnisse der Unterkategorien keine signifikanten Unterschiede in der Wahrnehmung des Tritonus-Paradoxons festgestellt werden (Deutsch 1991, S. 343).

In diesem Experiment überprüfte Deutsch außerdem, ob das Alter eine Rolle in der Wahrnehmung spielen könnte. Hierbei wurden die beiden Gruppen wiederum in je zwei Unterkategorien geteilt, nämlich in jene, welche über 22 Jahre alt waren, und jene, deren Alter darunter lag. Nach dem Vergleich der Untergruppen konnten wiederum keine wichtigen Abweichungen festgestellt werden (Deutsch 1991, S. 344). An dieser Stelle könnte man jedoch auch vermuten, dass die Altersunterschiede der Versuchspersonen zu gering waren, um signifikante Abweichungen hervorzurufen.

Zuletzt wurden in dieser Studie männliche und weibliche Testpersonen sowohl in der englischen als auch in der kalifornischen Gruppe verglichen. Auch hierbei konnten keine großen Unterschiede aufgezeigt werden (Deutsch 1991, S. 344).

Folgende Erkenntnisse konnten aufgrund dieser Studie gewonnen werden: Dass die Orientierung am *Pitch Class Circle* bei der kalifornischen Gruppe ungefähr bei C# und D liegt, bei der englischen jedoch bei G, lässt nach Deutsch darauf schließen, dass sowohl die eigene Sprache als auch die Interpretation der Sprache von anderen einen Einfluss auf die Wahrnehmung hat. Da die Töne in diesen Experimenten eher als *Pitch Classes* anstatt der wirklichen Tonhöhe interpretiert werden, können sowohl männliche als auch weibliche Testpersonen in dieselben Kategorien eingeordnet werden, obwohl ihre Stimmen in verschiedenen Tonlagen liegen (Deutsch 1991, S. 344).

Des Weiteren konnte die Hypothese aufgestellt werden, dass ein Zusammenhang zwischen dem *Tritonus-Paradoxon* und dem Lernprozess bestehen könnte, der durch

das Ausgesetztsein auf Sprachklänge entsteht. Diese Hypothese führte weiter zu der Annahme, dass auch andere Charakteristika der Tonhöhenwahrnehmung möglicherweise mit dem Lernprozess zusammenhängen könnten. Zu dem Zeitpunkt der Studie gab es jedoch noch keine Verifikation dieser Annahmen (Deutsch 1991, S. 345).

Basierend auf diesen Erkenntnissen erfolgte im Jahr 1994 ein weiteres Experiment, welches von Frank Ragozzine und Diana Deutsch durchgeführt wurde. Hierbei sollte erforscht werden, ob wiederum auf regionale Einflüsse geschlossen werden kann, wenn die Versuchspersonen aus verschiedenen Regionen der Vereinigten Staaten stammten (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 213).

From this [Deutsch 1991] and other analyses of the data, it is concluded that regional differences in perception of the tritone paradox do indeed exist within the United States and that there is in addition an effect of familial background. (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 213)

Aufgrund dieser Hypothese führten Ragozzine und Deutsch das folgende Experiment durch:

28 Versuchspersonen, die den Großteil ihrer ersten 20 Lebensjahre in Mahoning und/oder Trumbull (Ohio) lebten, wurden für diese Forschung in zwei Gruppen, nämlich "local" und "alien", geteilt. Die 17 Personen, die zur Gruppe "local" eingeteilt wurden, hatten Eltern, die beide schon in demselben Ort aufwuchsen. Die restlichen elf Personen wurden der Gruppe "alien" zugeteilt, da mindestens eines ihrer Elternteile an einem anderen Ort aufgewachsen war (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 218).

Die verwendeten Tonmuster und deren Generierung waren wiederum identisch zu jenen, welche Diana Deutsch schon im Jahr 1987 in ihren Experimenten eingesetzt hatte: Jeder Ton bestand aus sechs sinusförmigen Teiltönen, deren Lautstärke durch eine glockenförmige Hüllkurve bestimmt wurde. Auch in diesem Experiment wurde jedes der zwölf Tonpaare unter vier verschiedenen Hüllkurven im Abstand einer halben Oktave generiert und die Tonbeispiele wurden wiederum zufällig, mit der Einschränkung, dass derselbe Ton nicht in zwei aufeinanderfolgenden Tonpaaren vorkommen dürfe, abgespielt (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 216 f.).

Auch der Ablauf der Tonbeispiele war in diesem Experiment fast identisch mit jenem von Diana Deutsch aus dem Jahr 1991: Jeder Ton eines Tonpaares hatte wiederum eine Dauer von 500 ms, das Tonpaar wurde nicht durch eine Pause getrennt. Die

verschiedenen Tonpaare wurden in diesem Fall jedoch durch Pausen mit einer Dauer von vier anstatt von fünf Sekunden voneinander getrennt. Nach jedem Block von Tonbeispielen wurde eine Minute Stille eingefügt, zwischen dem achten und dem neunten Block gab es für die Proband/innen eine Pause von fünf Minuten (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 217).

Wie bei Diana Deutschs Forschungen üblich, wurden die Teilnehmer/innen darum gebeten, an einem anderen Tag ein weiteres Mal an dem Experiment mitzuwirken. Die Forschungen fanden an beiden Terminen in Mahoning und Trumbull in Ohio statt (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 218).

Vor Beginn des Experiments mussten die Versuchspersonen einen Fragebogen ausfüllen, welcher detaillierte Fragen über den Wohnort bzw. die Wohnorte der Teilnehmer/innen in den ersten 20 Jahren ihres Lebens enthielt. Darüber hinaus wurden auch Fragen darüber gestellt, wo die Eltern während deren ersten 20 Jahren gelebt hatten. Zusätzlich zu den regionalen Fragen beantworteten die Proband/innen auch einige Details zu ihrer musikalischen Bildung. Der Altersdurchschnitt der getesteten Personen lag in diesem Experiment bei 24,25 Jahren, wobei die jüngste Person 18 Jahre alt war, die älteste 33 (ebda.).

Die teilnehmenden Versuchspersonen wurden durch einen vorherigen Test ausgewählt, wenn sie nicht mehr als vier Fehler in 48 Beispielen machten. In diesem Testdurchlauf mussten die Personen entscheiden, ob aus reinen Tönen bestehende Tonpaare im Abstand eines Tritonus auf- oder absteigende Bewegungen formten. Darüber hinaus wurden diejenigen, welche die Voraussetzungen erfüllten, einer Audiometrie unterzogen. Nur diejenigen, welche hier keinen Hörverlust aufzeigen konnten, wurden letztendlich bei dem Experiment zugelassen (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 218).

Für die Auswertung des Experiments wurden jene Antworten, welche das Tonpaar als absteigend beschrieben, über die vier spektralen Hüllkurven gemittelt und als Funktion des ersten Tons beschrieben. Dadurch wurde schnell erkennbar, dass die *Pitch Class* ein weiteres Mal eine große Rolle bei der Wahrnehmung spielt, diese aber von Teilnehmer/in zu Teilnehmer/in stark variieren kann. Danach wurden die Spitzen des jeweiligen Probanden bzw. der jeweiligen Probandin, also diejenigen ersten Töne des Tonpaares, welche am häufigsten als „höher“ wahrgenommen wurden, oben am *Pitch*

Class Circle eingezeichnet. Von hier ausgehend wurden die Töne chromatisch aufsteigend im Uhrzeigersinn eingezeichnet (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 218 f.).

So kam es beispielsweise dazu, dass die ersten Töne der aus der Gruppe „alien“ stammenden Versuchsperson C und C# waren. Die Spitzen der Testperson SC, welche aus der Gruppe „local“ stammte, lagen im Gegensatz dazu bei den Tönen G# und A. Aufgrund dieser Unterschiede wurden die Spitzen der *Pitch Classes* getrennt voneinander für die Gruppen „alien“ und „local“ betrachtet, wobei folgende Erkenntnisse gemacht wurden: Während die Spitzen aller Teilnehmer/innen der Gruppe „alien“ in jener Hälfte des *Pitch Class Circles* lagen, welche von A# zu E reichten, zeigten die Proband/innen aus der Gruppe „local“ eine andere Verteilung. Neun der 17 teilnehmenden Personen aus dieser Gruppe hatten ihre Spitzen ebenfalls in derselben Hälfte des *Pitch Class Circles* wie jene aus der Gruppe „alien“, bei den restlichen acht Testpersonen lagen die Spitzen in der gegenüberliegenden Hälfte des *Pitch Class Circles* (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 219).

In der weiteren Auswertung wurde wiederum überprüft, ob das Alter, das Geschlecht oder die musikalische Ausbildung bei der Wahrnehmung der Tonhöhe eine Rolle spielen könnte. Hierbei konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den 14 jüngeren und den 14 älteren Teilnehmer/innen festgestellt werden. Des Weiteren konnten auch keine besonderen Abweichungen festgestellt werden, als die Gruppen „alien“ und „local“ getrennt voneinander in Bezug auf das Alter der Proband/innen untersucht wurden. Auch bei der Betrachtung der Spitzenverteilung von Männern und Frauen konnte sowohl im Gesamten, als auch gruppenintern keine Differenz gesehen werden. Die Untersuchung der musikalischen Ausbildung fand folgendermaßen statt: Die Teilnehmer/innen wurden in zwei Gruppen geteilt, in der ersten Gruppe waren jene, welche weniger als zwei Jahre musikalisch ausgebildet wurden, in der zweiten Gruppe diejenigen, welche eine längere Ausbildung genossen hatten. Auch dieser Vergleich brachte jedoch keine neuen Erkenntnisse zum Vorschein, sodass gesagt werden konnte, dass das Alter, das Geschlecht und die musikalische Bildung keine Rolle für die Wahrnehmung des *Tritonus-Paradoxons* spielen würde (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 220).

Als Beantwortung der Forschungsfrage konnte festgestellt werden, dass es tatsächlich Unterschiede in der Wahrnehmung dieses Phänomens gibt, wenn die Versuchspersonen

aus verschiedenen Regionen innerhalb der Vereinigten Staaten stammen. Die als "alien" bezeichnete Gruppe soll laut Ragozzine starke Wahrnehmungsunterschiede im Gegensatz zu der als "alien" betitelten Gruppe gezeigt haben. Alle Spitzen der Gruppe "local" konnten auf die Töne H, C, C#, D und D# definiert werden. Dies ist laut den Autoren identisch zu der „kalifornische Wahrnehmungsspanne“. Die Ergebnisse der Gruppe "local" zeigten auf der anderen Seite jedoch eine komplett andere Verteilung (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 220).

Da die Antworten der aus der Gruppe "local" stammenden Versuchspersonen so unterschiedlich waren – ungefähr die Hälfte der Teilnehmer/innen fiel mit ihren Antworten in die „kalifornische Wahrnehmungsspanne“, die restlichen Personen zeigten jedoch ein komplett gegensätzliches Antwortschema auf – verlangte dies eine weitere, genauere Untersuchung. Da die Profile der Testpersonen aus der Gruppe "local" jedoch allgemein nicht so stark ausgeprägt waren wie jene der zweiten Gruppe, konnte man nur die Hypothese aufstellen, dass bei diesen Proband/innen auch andere Faktoren, neben jenen der Sprache der Eltern, einen Einfluss auf die Wahrnehmung des *Tritonus-Paradoxons* darstellen könnten. Ragozzine und Deutsch führten diese These weiter aus und kamen zu der Spekulation, dass diese kanonische Art der Wahrnehmung des Phänomens auf die Medien zurückzuführen sei. Vor allem durch das Radio und das Fernsehen wirken verbreitet sprachliche Einflüsse auf alle Menschen, welche an irgendeinem Ort in den Vereinigten Staaten wohnen, ein. Dies könnte darin resultieren, dass bei manchen Testpersonen die Spitzen der *Pitch Classes* in jener Tonspanne liegen, in welcher in früheren Experimenten auch schon jene von kalifornischen Proband/innen lagen (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 220 f.).

Diese Erkenntnis ließ einen weiteren Schluss zu, nämlich jenen, dass die Testpersonen aus der Gruppe "local", deren Spitzen in der Wahrnehmung als „kalifornisch“ bezeichnet werden konnten, aus irgendeinem Grund empfänglicher für linguistische Einflüsse außerhalb ihrer Region seien, als die Testpersonen aus derselben Gruppe, welche eine andere Spitzenverteilung aufzeigten (Ragozzine; Deutsch 1994, S. 222).

Diana Deutsch erforschte darüber hinaus noch intensiver die Wahrnehmung der Testpersonen in der Gruppe "local", indem sie Töne unter wiederum verschiedenen spektralen Hüllkurven generierte. Hierbei stellte sie fest, dass die Spitzen der *Pitch Classes* davon abhängig sind, unter welcher Hüllkurve die Töne generiert wurden: Bei

jenen Teilnehmer/innen, welche in das „kalifornische Muster“ fielen, stach diese Beziehung vor allem bei Tönen hervor, welche unter tieferen spektralen Hüllkurven generiert wurden, während die anderen Versuchspersonen, welche dem „englischen Muster“ zugeteilt werden konnten, eher auf Töne, die unter höheren spektralen Hüllkurven generiert wurden, ansprachen (Deutsch 1994 (b), S. 136).

Given the existing literature on the pitch of speech as a function of linguistic community, these patterns of relationship provide further evidence that perception of the tritone paradox is related to the processing of speech sounds.
(Deutsch 1994 (b), S. 136)

Mit dieser Erkenntnis, dass ein Zusammenhang zwischen den Klängen der Sprache und der Wahrnehmung der Illusion des *Tritonus-Paradoxons* besteht, folgte der Vorschlag, dies auch in anderen Regionen der Vereinigten Staaten zu untersuchen:

In sum, the present study shows that regional differences in perception of the tritone paradox do exist within the United States. It remains to be seen which other areas of the country exhibit similar, or even more extreme, differences.
(Ragozzine; Deutsch 1994, S. 224)

5.2.2 Einfluss der Sprache

Die Entdeckungen zu den regionalen Einflüssen führte zwangsweise zu einer weiteren Vermutung, welche in etwa zur selben Zeit untersucht wurde: Beeinflusst auch die Sprache bzw. die eigene Stimme die Wahrnehmung des *Tritonus-Paradoxons*?

Ob ein auf- oder absteigendes Intervall gehört wird, kann laut Diana Deutsch auch am Tonumfang der eigenen Stimme liegen. Zur Erforschung dieses Ansatzes führte Deutsch zwei Experimente mit jeweils neun Versuchspersonen durch.

Im ersten Experiment hörten die Versuchspersonen 48 Tritoni und mussten stets beurteilen, ob sie einen Schritt auf- oder abwärts hören. Danach wurde der Durchschnitt über Ergebnisse gebildet und es wurden pro Teilnehmer/in die *Pitch Classes* ermittelt, ab denen die Intervalle eher aufwärts oder eher abwärts gehört wurden. Dies bildete die Richtung (oder die höchste Position innerhalb) des *Pitch Class Circles* (Deutsch 1990, S. 374).

Wie auch in den anderen von Diana Deutschs Experimenten bestanden alle Töne aus sechs sinusförmigen Komponenten, welche im Abstand einer Oktave aneinandergereiht wurden. Es wurde darüber hinaus dieselbe glockenförmige Hüllkurve, welche zuvor

schon des Öffern beschrieben wurde, verwendet, um die Lautstärke zu definieren. Um verschiedene mögliche Effekte, welche beispielsweise durch relative Lautstärken oder Lautheiten der Komponenten hervorgerufen werden könnten, kontrollieren zu können, wurden die Tonpaare ein weiteres Mal an vier verschiedenen Positionen des Spektrums unter den Hüllkurven gebildet. Diese vier Positionen lagen bei 262 Hz (C[‘]), 370 Hz (F[‘]), 523 Hz (C^{‘‘}) und 740 Hz (F^{‘‘}). Auch diese Töne hatten eine Dauer von 500 ms, wobei zwischen den Tonpaaren keine Pause eingefügt wurde. Alle Töne hatten darüber hinaus dieselbe Lautstärke (Deutsch 1990, S. 374).

Die zwölf Tonpaare C-F#, C#-G, D-G#, D#-A, E-A#, F-H, F#-C, G-C#, G#-D, A-D#, A#-E und H-F wurden jeweils unter den vier verschiedenen Hüllkurven generiert, sodass im Gesamten 48 Tonpaare entstanden. Diese Tonpaare wurden in Blöcken von jeweils 12 abgespielt, wobei ein Block jene Tonpaare enthielt, welche unter derselben Hüllkurve gebildet wurden. Des Weiteren enthielt jeder Block jedes Tonpaar einmal, die Tonpaare wurden in vier verschiedenen Reihenfolgen abgespielt. Die Tonpaare wurden durch eine Pause von fünf Sekunden voneinander getrennt, zwischen den Blöcken gab es jeweils eine Unterbrechung von einer Minute. Für das Experiment wurden 16 Blöcke gebildet, sodass jede der vier Reihenfolgen unter jeder der vier Positionen der spektralen Hüllkurve präsentiert wurde (Deutsch 1990, S. 374 f.).

Die für das Experiment benötigten Töne wurden auf einem VAX 11/780-Computer generiert, welcher mit einem DSC-200 Audio Data Conversion-System verknüpft wurde. Diese Töne wurden mit einem digitalen Sony PCM-F1 Audioprozessor aufgenommen und abgespielt. Das Ergebnis wurde durch einen Crown-Verstärker geleitet und den Testpersonen durch Grason-Stadler TDH-49-Kopfhörer mit einer Lautstärke von durchschnittlich 72 dB SPL präsentiert (Deutsch 1990, S. 375).

Die Versuchspersonen wurden ausgewählt, indem durch Audiometrie gemessen wurde, ob das Gehör irgendwelche Schäden hatte. Wenn dies nicht der Fall war und die Personen darüber hinaus fähig waren, die Tonhöhe von Intervallen im Abstand von Tritoni zu beurteilen, waren sie für das Experiment geeignet. Da eine wesentliche Variation der Orientierung am *Pitch Class Circle* für die Forschung wichtig war, wurden aus all jenen, welche die ersten zwei Bedingungen erfüllten, zehn Teilnehmer/innen ausgewählt. Da sich eine Person während der Forschungszeit eine Atemwegsinfektion zuzog, musste diese ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund

beendeten fünf weibliche (AH, DM, DD, TT und MD) und vier männliche (MC, MM, ES und WB) Versuchspersonen das Experiment. Acht der Teilnehmer/innen waren Studenten an der University of California, San Diego und wurden für ihre Partizipation bezahlt. Auch Diana Deutsch selbst unterzog sich dem Experiment. Jede Testperson wurde zu zwei Sitzungen geholt, bei denen jeweils alle 16 Blöcke präsentiert wurden. Die Ergebnisse der beiden Sitzungen wurden gemittelt. Zu Beginn jeder Sitzung wurden außerdem ein paar Beispiele zur Übung abgespielt (Deutsch 1990, S. 375).

Um die erzielten Ergebnisse zu verdeutlichen, wurden die Tonpaare, die als absteigendes Muster bezeichnet wurden, als eine Funktion der Tonhöhe des ersten Tons dargestellt und die Prozentanteile, in welchen die Tonhöhe des ersten Tons als „höher“ bezeichnet wurden, berechnet. Anhand des Teilens des *Pitch Class Circles* in zwei Hälften konnte festgestellt werden, dass alle sechs *Pitch Classes* der einen Hälfte bei jeder einzelnen Versuchsperson als „höher“ gehört wurden, die anderen sechs *Pitch Classes* wurden im Gegensatz dazu jeweils als „tiefer“ wahrgenommen (Deutsch 1990, S. 375).

In diesem Experiment konnten jedoch große Unterschiede in der Beziehung zwischen der Tonhöhe und der wahrgenommenen Höhe festgestellt werden. So hörten die beiden Testpersonen DM und WB die Töne von C# bis F# als „höher“ und die Töne von G bis C „tiefer“, sodass bei ihnen die höchste Position am *Pitch Class Circle* zwischen D# und E lag. Dem gegenübergestellt ist zum Beispiel die Teilnehmerin DD, welche die Töne F bis A# als „höher“ und H bis E als „tiefer“ hörte. Ihre höchste Position am *Pitch Class Circle* lag somit zwischen G und G#. Auch die Probanden ES und MC hatten wiederum eine andere Position am *Pitch Class Circle*, bei ihnen lag diese nämlich zwischen C und C#, da sie die Töne A# bis D# als „höher“, E bis A aber als „tiefer“ wahrnahmen. Bei den drei Proband/innen AH, MM und TT lag die höchste Position am *Pitch Class Circle* zwischen D und D#, bei der Teilnehmerin MD jedoch zwischen G# und A (Deutsch 1990, S. 376).

Diese Ergebnisse führten nun zu dem zweiten Experiment, bei dem die Stimme der neun Proband/innen miteinbezogen wurde:

Im zweiten Experiment wurden je 15 Minuten freie Rede der neun Versuchspersonen aufgenommen und nach der Grundtonhöhe ausgewertet. Dieses Ergebnis wurde danach mit der Richtung des *Pitch Class Circles* verglichen und es wurde hierbei festgestellt,

dass die höchste Position innerhalb des *Pitch Class Circles* in den meisten Fällen der Sprachumfangsgrenze des Probanden bzw. der Probandin entspricht (Deutsch 1990, S. 377 ff.).

Weitere Überlegungen zu diesem Thema stammen von Bruno Repp aus dem Jahr 1994. Er stellte fest, dass die obere Grenze des Tonumfangs bei Sprache sehr stark schwanken kann, während die untere Grenze weitaus stabiler ist. Deswegen wiederholte er die beiden Sprachtests von Deutsch mit 10 englischen, 15 niederländischen und 17 amerikanischen Versuchspersonen (Repp 1994, S. 227).

Nach jeweils 3 Tests à 144 Beispiele stellte er große Unterschiede zwischen den Testergebnissen der einzelnen Tests fest, die Ergebnisse waren also nicht reversibel. Repp bemerkte jedoch keine großen Unterschiede zwischen den niederländischen und englischen Versuchspersonen. Die Unterschiede zwischen englischen und amerikanischen Versuchspersonen konnten allerdings bestätigt werden, sodass Repp dem Einfluss der Region auf die Empfindung des *Tritonus-Paradoxons* zustimmte. Die Abhängigkeit vom Tonumfang der Sprechstimme konnte laut Repp nicht bestätigt werden (Repp 1994, S. 235 ff.).

In einer Antwort auf Repps Ergebnisse argumentierte Diana Deutsch im Jahr 1994 in ihrem Artikel "The Tritone Paradox and the Pitch Range of the Speaking Voice: Reply to Repp", dass Deutschs und Repps Ergebnisse nicht vergleichbar wären, da Repp andere Prozeduren, welche sich stark von jenen von Diana Deutsch unterschieden, benutzte. Des Weiteren seien Repps Resultate nicht interpretierbar, da sie einige methodologische Lücken aufwiesen (Deutsch 1994 (a), S. 257).

In diesem Artikel beschreibt Deutsch die drei größten Fehler, welche Repp gemacht haben sollte:

The first [problem] concerns Repp's conclusions concerning geographical correlates with perception of the tritone paradox. The second concerns the presence of large spectral effects in his data. The third concerns his examination of correlates between perception of the tritone paradox and the pitch range of the listener's speaking voice. (Deutsch 1994 (a), S. 257 f.)

Zum ersten Thema, den geografischen Zusammenhängen, argumentierte Deutsch, dass in ihrem Experiment aus dem Jahr 1991 eine Gruppe von 24 Testpersonen, welche in Kalifornien aufgewachsen waren, einer zweiten Gruppe von zwölf Testpersonen,

welche in England aufgewachsen waren, gegenübergestellt wurde. Da Repp jedoch auch niederländische Versuchspersonen in sein Experiment einfließen lassen hatte, sei das Ergebnis nicht brauchbar (Deutsch 1994 (a), S. 258). Hier stellt sich jedoch die Frage, warum Repps Ergebnisse keine Berechtigung haben sollten, nur weil die Proband/innen aus anderen Regionen stammten.

Des Weiteren seien die Ergebnisse nicht vergleichbar, da Repp die Töne nicht unter vier verschiedenen spektralen Hüllkurven generiert hatte, sondern unter nur einer. Da er darüber hinaus die Pausen zwischen den Beispielen auf 2,5 Sekunden gekürzt hatte, könnte dies die Bewertung der Tonpaare beeinflusst haben (Deutsch 1994 (a), S. 259).

Auch die Aufnahme der Testpersonen variierte sehr stark, da bei Diana Deutsch 15 Minuten freie Rede aufgenommen wurde, während Bruno Repp seine Teilnehmer/innen zehn Sätze vorlesen ließ. Dies sei vor allem aus dem Grund problematisch, da sich die Tonhöhe der eigenen Stimme beim Lesen im Gegensatz zu freier Rede verändert (Deutsch 1994 (a), S. 262).

Ob die Einwände von Diana Deutsch ihre Berechtigung haben, sei dahingestellt. Denn warum soll die eine Variante der Untersuchung schlechter sein, nur weil bereits eine andere Variante existiert?

5.3 Erklärungsversuche zum *Tritonus-Paradoxon*

Die wichtigste Erklärung ist wahrscheinlich jene, dass das *Tritonus-Paradoxon* durch eine bestimmte Lautstärkenverteilung der Teiltöne eines jeden einzelnen Tons entsteht. Dies liegt daran, dass man durch diese Einstellung der Lautstärke die absolute Tonhöhe des abgespielten Tons nicht mehr genau definieren, sondern nur noch die Tonklasse zuordnen kann.

Wie schon des Öfteren in Kapitel 5 erwähnt wurde, erklärt Diana Deutsch das Phänomen des *Tritonus-Paradoxons* damit, dass Tonhöhen mental in sogenannten *Pitch Classes* angeordnet sind, dass also alle Cs, alle Ds, alle Es etc. egal welcher Oktave eine Klasse bilden. Diese *Pitch Classes* sind laut Deutsch mental kreisförmig angeordnet.³

Als weitere Erklärungen für die verschiedenen Bewertungen des *Tritonus-Paradoxons* werden meist die zuvor in Kapitel 5.2.1 und 5.2.2 beschriebenen regionalen Einflüsse

³ siehe Abb. 12, Kapitel 5

und der Einfluss der Sprache genannt. Während die regionalen Einflüsse in weiteren Experimenten bestätigt werden konnten, wurde der Einfluss der eigenen Stimme durch das Experiment von Repp jedoch mehr oder weniger widerlegt, da das Experiment größere Ausmaße als jenes von Diana Deutsch hatte.

Als nächster Schritt sollte nun untersucht werden, ob noch andere Faktoren für die Wahrnehmung des *Tritonus-Paradoxons* eine Rolle spielen, die bis jetzt noch nicht erforscht wurden.

6. Neue Forschungen zum *Tritonus-Paradoxon*

Bei den neuen Forschungsansätzen wurden zwei verschiedene Herangehensweisen verwendet: Einerseits wurde das *Tritonus-Paradoxon* noch einmal mit dem bestehenden Tonmaterial von Diana Deutsch erforscht, andererseits wurde eine Skala in der Art von Nakajima erzeugt, um festzustellen, ob hierbei ähnliche Ergebnisse zustande kommen.

Eine weitere Überprüfung der regionalen und sprachlichen Einflüsse gestaltete sich als schwierig, da alle Testpersonen aus derselben Region stammten. Dennoch wurden die Ergebnisse dieser Versuchspersonen mit jenen, welche von Diana Deutsch u.a. zu den regionalen Einflüssen getestet wurden, verglichen.

Des Weiteren wurden auch andere Fragen, welche früher zwar schon kurz betrachtet, aber nie genau untersucht wurden, gestellt, welche möglicherweise interessante Ergebnisse zum Vorschein bringen könnten. Diese Fragen lauteten beispielsweise „Werden die Tritoni von Männern und Frauen unterschiedlich wahrgenommen?“, „Spielt das Alter eine Rolle bei der Tonhöhenwahrnehmung?“ und „Gibt es wirklich keine unterschiedlichen Tendenzen bei Nicht-Musiker/innen, Hobby-Musiker/innen und professionellen Musiker/innen?“

Diese Fragen wurden vorerst mit dem bestehenden Tonmaterial von Diana Deutsch erforscht. In diese Experimente wurden jedoch um das Dreifache mehr Versuchspersonen integriert, als dies bei Deutsch der Fall war. Bei der Auswertung der Ergebnisse wurden des Weiteren die Faktoren Geschlecht, Alter und musikalische Ausbildung in Verbindung miteinander betrachtet.

Im zweiten Teil der Forschung wurde eine Skala in der Art von Nakajima mit Teiltönen im Abstand von kleinen Sexten und Tritoni nachgebildet. Diese generierte Skala wurde wiederum im Stil von Diana Deutschs Hörbeispielen zusammengeschnitten, um so ähnliche Verhältnisse wie möglich hervorzurufen.

Eine wichtige Veränderung musste jedoch hierbei durchgeführt werden: Die Intervalle wurden von einem Tritonus (wie bei Diana Deutsch) ausgeweitet auf eine reine Quinte, da diese die Hälfte von 1400 Cent darstellt. Hierbei wurden wiederum die zuvor genannten Faktoren berücksichtigt, um in weiterer Folge einen Vergleich daraus ziehen, inwiefern sich die Wahrnehmung verändert, wenn die Teiltöne der komplexen Töne einer Skala verändert werden.

6.1 Unter Verwendung des bestehenden Tonmaterials von Diana Deutsch

6.1.1 Vorgehensweise

An dem Experiment nahmen 30 Teilnehmer/innen teil, darunter jeweils 15 Männer und 15 Frauen. Je fünf weibliche Probandinnen und fünf männliche Probanden gehörten den folgenden Altersgruppen an: 14-29 Jahre, 30-49 Jahre, über 50 Jahre.

Zu Beginn des Experiments füllten die Teilnehmer einen kurzen Fragebogen⁴ aus, bei welchem das Alter, das Geschlecht und die musikalische Bildung erfasst wurden. Darüber hinaus wurde dadurch geklärt, ob jemand ein absolutes Gehör habe.

Die Versuchspersonen beantworteten die Frage nach der Höhe des zweiten Tons des Intervalls auf Formblättern, indem sie einen nach oben oder unten zeigenden Pfeil einsetzten.

Die Tonbeispiele wurden über Sony MDR-ZX100-Kopfhörer abgespielt, sodass jede/r Proband/in unter denselben Voraussetzungen am Experiment teilnehmen konnte.

6.1.2 Die teilnehmenden Testpersonen

Alle Testpersonen stammten aus dem Bezirk Amstetten in Niederösterreich und gingen unterschiedlichen Tätigkeiten nach: Sowohl Schüler/innen, Student/innen als auch berufstätige Personen und Pensionist/innen waren vertreten.

Der Altersdurchschnitt der Teilnehmer/innen lag bei 41,9 Jahren, die jüngste Person war 14 Jahre alt, die älteste 75. Bei den Frauen lag der Altersdurchschnitt bei ungefähr 41,3 Jahren, bei den Männern bei gerundet 42,5 Jahren.

Der Altersdurchschnitt der verschiedenen Altersgruppen lässt sich folgendermaßen beschreiben:

- 14-29 Jahre: In dieser Gruppe betrug das durchschnittliche Alter 20,5 Jahre; nach Geschlechtern getrennt ergab dies folgende Zahlen:
 - weiblich: 20,8 Jahre
 - männlich: 20,2 Jahre

⁴ siehe Anhang

- 30-49 Jahre: In der zweiten Kategorie wurde ein Durchschnittsalter von 43,3 Jahren berechnet. Hierbei lässt sich ein leichter Altersunterschied zwischen den weiblichen und den männlichen Versuchspersonen feststellen:
 - weiblich: 42,0 Jahre
 - männlich: 44,6 Jahre
- über 50 Jahre: Bei der dritten Altersklasse wurde ein durchschnittliches Alter von 61,9 Jahren errechnet. Wie auch in der zweiten Kategorie erreichten die männlichen Teilnehmer ein etwas höheres Alter als die weiblichen Teilnehmerinnen:
 - weiblich: 61,2 Jahre
 - männlich: 62,6 Jahre

Von den 30 Proband/innen gaben neun Frauen und acht Männer an, ein Instrument zu spielen bzw. zu singen und/oder⁵ außerhalb des Schulunterrichts mehr als zwei Jahre musikalisch gebildet worden zu sein. Somit waren insgesamt 17 Proband/innen bzw. 56,7% der Teilnehmer/innen zumindest als Hobbymusiker/innen einzustufen.

Vier Versuchspersonen darunter – je zwei Frauen und zwei Männer – antworteten, dass sie beruflich als Musiker/innen tätig seien. Die professionellen Musiker/innen machten somit 23,5% derjenigen aus, welche eine musikalische Ausbildung genossen hatten.

Somit lässt sich folgende Statistik aufstellen: 43,35% der teilnehmenden Versuchspersonen waren Nicht-Musiker/innen, welche weder musikalisch gebildet wurden, noch als Hobby ein Instrument spielten bzw. sangen. Genau dieselbe Anzahl an Proband/innen, nämlich wiederum 43,35%, konnten als Hobbymusiker/innen eingestuft werden und eine Minderheit von 13,3% der Teilnehmer/innen war als Profimusiker/innen einzuordnen.

Niemand der getesteten Personen gab an, ein absolutes Gehör zu besitzen. Es wurden nur jene Menschen zu dem Experiment zugelassen, welche keine Probleme bzw. Krankheiten am Gehör hatten. Der normale Hörverlust durch das steigende Alter wurde jedoch akzeptiert, sodass auch ältere Personen mitmachen konnten.

⁵ Die weibliche Testperson LL gab an, mehr als zwei Jahre musikalisch gebildet worden zu sein, jedoch kein Instrument zu spielen bzw. zu singen; der Proband DO antwortete wiederum, dass er ein Instrument spielen würde, aber keine musikalische Ausbildung erfahren hätte. Auch diese beiden Personen werden hier als „musikalisch“ eingestuft.

6.1.3 Testergebnisse

Nach Beendigung des Experiments und dessen Auswertung wurden die Testergebnisse auf verschiedene Arten betrachtet, nämlich in Betracht auf das Alter, das Geschlecht und die musikalische Bildung. Vorerst werden jedoch die allgemeinen Ergebnisse, welche zuerst ausgewertet wurden, geschildert.

Betrachtet man die Ergebnisse der gesamten Teilnehmer/innen, so lässt sich schnell feststellen, dass Diana Deutschs Theorie des *Pitch Class Circles* einerseits sehr gut anwendbar ist, andererseits jedoch auch problematisch sein kann. Dies lässt sich folgendermaßen begründen: Bei der Auswertung fiel auf, dass, wie auch bei den Experimenten von Diana Deutsch, manche Töne vermehrt als „höher“, andere wiederum vermehrt als „tiefer“ wahrgenommen werden. Deutsch erklärte dies damit, dass jeder Mensch Töne in einer Region des *Pitch Class Circles* zumeist als „höher“ wahrnimmt, die Töne der gegenüberliegenden Region jedoch als „tiefer“. (vgl. Deutsch 1986, S. 276)

Betrachtet man die Ergebnisse aller Testpersonen, so fällt auf, dass vor allem die Töne H, D und C zumeist als „höher“ empfunden wurden, wenn sie als erster Ton des Tonpaares gespielt wurden. Im Gegensatz dazu wurden die Töne G, F# und G# als erster Ton häufig als „tiefer“ wahrgenommen. Wie man anhand der Abbildung des *Pitch Class Circles* gut erkennen kann, bestätigen diese Resultate Diana Deutschs Theorie.⁶

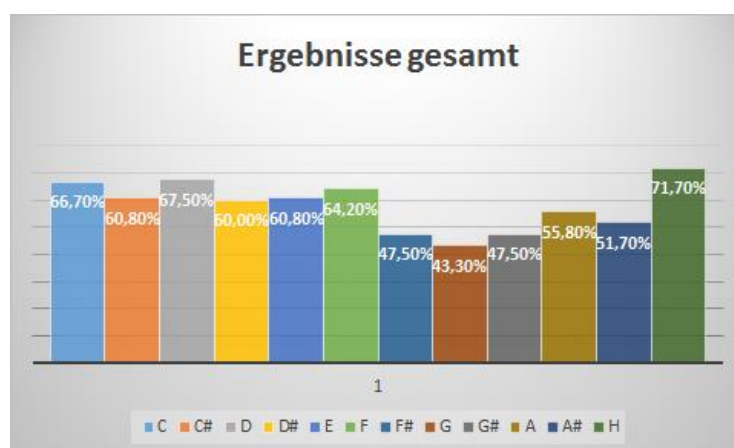


Abb. 15: Häufigkeit der Wahrnehmung des ersten Tons als „höher“ (Deutsch, gesamt)

⁶ vgl. Kapitel 5, Abb. 12

Die genaue Auswertung der Tonpaare (mit Betrachtung des jeweils ersten Tons) ergab folgende Werte: Die Tonklasse H wurde in 71,7% der Fälle von den Proband/innen als „höher“ wahrgenommen, D zu 67,5% und C zu 66,7%. Im mittleren Bereich der Wahrnehmung lagen folgende Tonklassen: F wurde in 64,2% der Antworten als „höher“ bezeichnet, C# sowie E zu 60,8% und D# zu 60,0%. Darüber hinaus wurden auch A (55,8%) und A# (51,7%) öfter als höher als der zweite Ton des Tonpaares empfunden. Jene Tonklassen, welche meistens als tiefer klingend beschrieben wurden, lauten wie folgt: G# und F# wurden nur in 47,5% aller Antworten als „höher“ eingeschätzt, wenn sie an erster Stelle des Tonpaares standen, und der Ton G in nur noch 43,3% aller Fälle.

In realen Zahlen lässt sich dies folgendermaßen beschreiben: Jeder erste Ton eines Tonpaares wurde insgesamt 120 Mal bewertet, wobei das H in 86 Fällen als „höher“ und nur in 34 Bewertungen als „tiefer“ wahrgenommen wurde. Der am zweitmeisten als „höher“ angesehene Ton D wurde 81 Mal als „höher“ und 39 Mal als „tiefer“ bewertet und der Ton C wurde in 80 Fällen als „höher“ angesehen.

Bei den Tönen, welche das Schlusslicht bilden, sah dies folgendermaßen aus: F# und G# wurden jeweils 57 Mal als „höher“ gehört, 63 Mal jedoch als „tiefer“ und G wurde nur 52 Mal von 120 Bewertungen als „höher“ wahrgenommen.

Nach statistischer Auswertung mithilfe der Binomialverteilung konnte festgestellt werden, dass jene Töne, welche öfter als 71 Mal bzw. seltener als 49 Mal von den Proband/innen als „höher“ wahrgenommen wurden, mit einer Signifikanz von 5% unter Ausschluss des Zufalls bewertet wurden. Somit lässt sich feststellen, dass die Töne C, C#, D, D#, E, F sowie H überzufällig oft als der höhere Ton des Tonbeispiels bezeichnet wurden. Bei den Tönen, welche am seltensten als höherer Ton angegeben wurden, konnte der Zufall in diesem Fall jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Testergebnisse in Bezug auf das Alter

Beim Vergleich der Ergebnisse der drei verschiedenen Altersgruppen konnte festgestellt werden, dass die jüngste Gruppe (14-29) stark von den Ergebnissen der anderen beiden abwich. Anhand dieser Gruppe konnte darüber hinaus auch bemerkt werden, dass Dianas Theorie der gegenüberliegenden Regionen nicht immer zutreffend ist.

Bei der Gruppe der 14- bis 29-Jährigen bildeten die Tonklassen D, E und F die Spitze, welche am häufigsten als „höher“ gehört wurde. Mit Abstand am seltensten wurden die Tonklassen A# und C# als „höher klingend“ beschrieben.

Am meisten wurde der Ton E als „höher“ beschrieben, nämlich in 72,5% aller Fälle. Darauf folgte das F mit 67,5%, gefolgt von D mit 65,0%. Im mittleren Bereich lagen in dieser Gruppe die Töne H (62,5%), G (60,0%) sowie D# und F# (je 55,0%). G# wurde gleich oft als „tiefer“ und als „höher“ angesehen, seltener als in 50% der Fälle wurden A und C (47,5%), C# (42,5%) sowie zuletzt A# (40,0%) als der höhere Ton des Tonpaares beschrieben.

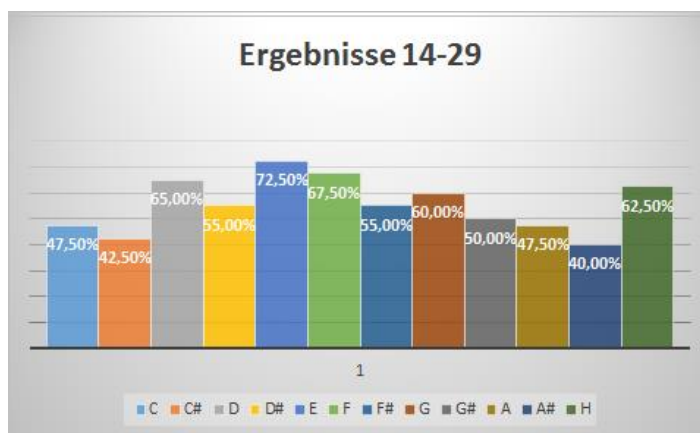


Abb. 16: Häufigkeit der Wahrnehmung des ersten Tons als „höher“ (Deutsch, Gruppe 14-29)

Im Vergleich der anderen beiden Gruppen ergaben sich Ergebnisse, welche nicht sehr stark voneinander abwichen.

In der Gruppe der 30- bis 49-Jährigen erreichten die Tonklassen H, C, C# und D die höchste Anzahl in der Bewertung als „höher“. Der Tiefpunkt lag hierbei mit großem Abstand bei dem Ton G, gefolgt von G#.

Wiederum in Prozent beschrieben ergab sich in der zweiten Gruppe folgende Reihung: Die Tonklassen H wie auch C wurden zu 72,5% als höherer Ton wahrgenommen, zu 70,0% wurde C# als „höher“ beschrieben und zu 67,5% D. Darüber hinaus wurden D# und E in 62,5% der Fälle als „höher“ angesehen, F und F# in 60,0%. A# wurde zu 57,5% als höherer Ton wahrgenommen, A zu 55,0% und G# zu 52,5%. Der einzige Ton, welcher seltener als in der Hälfte der Fälle als „höher“ gehört wurde, ist G mit 45,0%.

Die Gruppe der über 50-Jährigen ähnelte der zuvor beschriebenen Gruppe sehr stark: Auch in diesem Fall lagen die Töne H, C, C# und D die höchsten Positionen am *Pitch Class Circle*. Im Gegensatz dazu standen die Töne G und F#, welche nur sehr selten als höherer Ton wahrgenommen wurden. Verglichen mit der Gruppe der 30- bis 49-Jährigen zeigte sich jedoch ein Unterschied: Die Spitzen und Tiefen wurden in dieser Gruppe viel deutlicher wahrgenommen.

So wurden H und C beispielsweise in 80,0% aller Fälle als „höher“ bezeichnet, wenn diese Töne an erster Stelle des Tonpaares standen. C# und D wurden außerdem zu 70% als der höhere Ton bezeichnet. Im Mittelfeld lagen A mit 65,0%, D# mit 62,4%, F mit 60,0%, A# mit 57,5% und G# mit 52,5%. Seltener als in 50% der Fälle wurden darüber hinaus folgende Töne wahrgenommen: E wurde nur zu 47,5% als höherer erster Ton beschrieben, F# zu 45,0%. An letzter Stelle stand wie auch in der vorherigen Gruppe der Ton G, welcher nur in 37,5% aller Fälle als „höher“ bezeichnet wurde.

In diesem Fall stellte sich bei der statistischen Auswertung heraus, dass jene Töne, welche öfter als 26 Mal und seltener als 14 Mal als höherer Ton wahrgenommen wurden, mit einem Signifikanzniveau von 5% nicht zufällig bewertet wurden. Im Fall der jüngsten Gruppe bedeutete dies, dass nur bei den Tönen E (29 Mal) und F (27 Mal) der Zufall ausgeschlossen werden konnte. Die Gruppe der 30- bis 49-Jährigen zeigte jedoch herausstechendere Ergebnisse auf: In diesem Fall wurden die Töne C, C#, D und H überzufällig oft als höherer Ton wahrgenommen. Jedoch wurde wiederum kein Ton seltener als 14 Mal als „höher“ bewertet. In der ältesten Altersgruppe wurden sogar fünf Töne, nämlich C, C#, D, A und H, überdurchschnittlich oft und somit unter Ausschluss des Zufalls als höherer Ton bezeichnet.

Testergebnisse in Bezug auf das Geschlecht

Obwohl in vorherigen Experimenten von beispielsweise Diana Deutsch keine Unterschiede zwischen den Antworten von Männern und Frauen festgestellt werden konnten, wurde dieser Aspekt hier ein weiteres Mal untersucht. Nach der geschlechtsspezifischen Auswertung konnte bemerkt werden, dass Deutsch in diesem Fall mit ihren Ergebnissen möglicherweise nicht zu 100% richtig lag.

Schon bei der Betrachtung der höchsten Positionen entlang des *Pitch Class Circles* fallen einige Unterschiede auf, wenn man Männer und Frauen getrennt voneinander betrachtet.

Vorerst werden die Ergebnisse der Männer beschrieben, weil diese eher in das gesamte Bild der Auswertung einzuordnen sind. Wie sehr häufig zuvor war bei den männlichen Teilnehmern der höchste Punkt am *Pitch Class Circle* die Tonklasse H, gefolgt von D, C und C#. Dazu passend lagen die Tonklassen G, G# und F# an der tiefsten Position.

In Prozent beschrieben fällt diese Aufteilung noch stärker auf: H wurde in 73,3% aller Fälle als höherer Ton beschrieben, wenn dieser als erster Ton des Tonpaares abgespielt wurde. In 70,0% der Bewertungen wurde die Tonklasse D als „höher“ angesehen, C und C# wurden zu jeweils 66,7% als höherer Ton wahrgenommen. Im Mittelfeld der Wahrnehmung lagen die Tonklassen D# (56,7%), F (53,3%), E (51,7%) sowie A und A# (je 48,3%). Weit abgeschlagen davon wurde G in nur 38,3% der Fälle als „höher“ bezeichnet. Noch seltener wurden G# zu 36,7% und F# zu 33,3% als höherer Ton des Tonpaares gehört.

Bei den Probandinnen hingegen sah die Verteilung etwas anders und vor allem komplizierter aus. Die Tonklassen, welche in dieser Gruppe am häufigsten als höherer Ton wahrgenommen wurden, waren F, E, H und C. Des Weiteren wurde in dieser Kategorie nur eine Tonklasse selten als „höher“ angesehen, nämlich die Tonklasse G.

Auch hierbei hilft eine Beschreibung der Antworten in Prozent, um ein besseres Verständnis zu erlangen: In 75,0% der Fälle wurde F als höherer Ton des Tonpaares beschrieben, weshalb diese Tonklasse an der höchsten Position entlang des *Pitch Class Circles* steht. Die benachbarte Tonklasse E wurde zudem in 70,0% der Bewertungen als „höher“ gekennzeichnet. Erstaunlich ist jedoch, dass auch die Tonklasse H zu 70,0% und die Tonklasse C zu 66,7% sehr häufig als höherer Ton angesehen wurden. In absteigender Reihenfolge wurden darauffolgend die kommenden Tonklassen als „höher“ bezeichnet: Zu 65,0% wurde D als „höher“ wahrgenommen, zu 63,3% D# und A#. F# folgte mit 61,7% aller Bewertungen vor G# mit 58,3%. Des Weiteren wurden sowohl C# als auch A# in 55,0% aller Fälle als höherer Ton des Tonpaares angesehen. Einzig die Tonklasse G wurde öfter als der tiefe Ton angesehen, in nur 48,3% der Antworten wurde dieser Ton als „höher“ bezeichnet.

Obwohl die Kategorie der weiblichen Versuchspersonen etwas verwirrende Ergebnisse zum Vorschein brachte, kann dennoch gesagt werden, dass sehr wohl Unterschiede in der Wahrnehmung zwischen Männern und Frauen bestehen, da deren *Pitch Classes* verschieden verteilt sind.

Im Falle der Untersuchung auf Unterschiede zwischen den Geschlechtern konnte durch die statistische Auswertung festgestellt werden, dass all jene Töne unter Ausschluss des Zufalls bewertet wurden, welche häufiger als 38 Mal und seltener als 22 Mal als „höher“ bewertet wurden. Im Fall der männlichen Testgruppe konnte somit gesagt werden, dass die Töne C, C#, D und H überzufällig häufig als höherer Ton beschrieben wurden, während F# überzufällig selten als „höher“ wahrgenommen wurde. Die restlichen sieben Töne wurden laut Signifikanzniveau von 5% zufällig oft als „höher“ oder „tiefer“ wahrgenommen. Bei der weiblichen Testgruppe wurde erkennbar, dass alle vier Töne an der Spitze, also C, E, F und H, und darüber hinaus auch noch D unter Ausschluss des Zufalls als „höher“ beschrieben wurden. Die restlichen sieben Töne wurden laut Auswertung wiederum zufällig wahrgenommen.

Testergebnisse in Bezug auf die musikalische Bildung

Auch in diesem Fall wurden in allen anderen Experimenten von Diana Deutsch und auch von anderen Forschern keine Unterschiede zwischen Nicht-Musiker/innen, Hobby-Musiker/innen und Profi-Musiker/innen entdeckt. Dennoch konnten in dieser Forschung einige Abweichungen festgestellt werden. Während die Ergebnisse der Nicht-Musiker/innen und der Hobby-Musiker/innen annähernd übereinstimmten, konnte doch bemerkt werden, dass bei den Antworten der Profi-Musiker/innen ein anderes Schema zum Vorschein kommt.

Die höchsten Positionen am *Pitch Class Circle* erreichten bei der Gruppe der Nicht-Musiker/innen ein weiteres Mal die Töne H, C und D. Ein weiterer Ton, welcher eigentlich nicht zu der Theorie von Diana Deutsch passt, stach in diesem Fall jedoch heraus: Auch F wurde sehr häufig als der höhere Ton bezeichnet, wenn er an erster Stelle des Tonpaares abgespielt wurde. Auch die Töne, welche am seltensten als höherer Ton gehört wurden, waren keine Überraschung: F# und G standen wie schon oftmals in den anderen Betrachtungen bei den Nicht-Musiker/innen an letzter Stelle.

In 75,0% der Fälle wurde in dieser Gruppe H als höherer Ton bezeichnet, gefolgt von C und D (jeweils zu 69,2%). F lag jedoch nur knapp hinter diesen beiden Zahlen, es wurde in 67,3% der Fälle als der höhere Ton wahrgenommen. Des Weiteren wurden die Töne C# und E (57,7%), A# (55,8%), D# (53,8%) und G# (51,9%) häufiger als der höhere Ton bezeichnet, als sie als tieferer Ton bezeichnet wurden. In genau 50,0% aller Fälle nahm diese Gruppe den Ton A als höheren Ton des Tonpaares wahr, gefolgt von F# zu nur 42,3% und mit großem Abstand G, welches nur in 34,6% der Bewertungen als „höher“ bezeichnet wurde.

Die höchsten Positionen am *Pitch Class Circle* erreichten auch in der Gruppe der Hobby-Musiker/innen ähnliche Tonklassen, nämlich H bis D#. In dieser Gruppe wurden jedoch weder F# noch G am seltensten als höherer Ton wahrgenommen, sondern G#.

Die Verteilung der Antworten der Hobby-Musiker/innen betrug folgende Prozentanteile: H wurde am häufigsten mit 75,0% als höherer Ton eines Tonpaares wahrgenommen, wenn es als erster Ton abgespielt wurde. Darauf folgten die Tonklassen C, D und D#, welche in 69,2% aller Fälle als höherer Ton beschrieben wurden. Sehr häufig wurde außerdem auch C#, nämlich zu 65,4%, als „höher“ bezeichnet. Im Mittelfeld lagen in der Gruppe der Hobby-Musiker/innen sechs Töne: A wurde in 61,5% und E in 59,6% der Fälle als höherer Ton des Tonpaares beschrieben. F wurde knapp öfter als die Hälfte (51,9%) als „höher“ bezeichnet und die Tonklassen F#, G und A# wurden genau zu 50,0% als „höher“ gehört. In dieser Kategorie gab es nur eine Tonklasse, welche öfter als „tiefer“ wahrgenommen wurde: G# wurde nur in 44,2% der Fälle als der höhere Ton angesehen.

Bei der Gruppe der professionellen Musiker/innen zeigte sich jedoch eine deutliche Veränderung im Gegensatz zu den beiden anderen Gruppen. Ob diese jedoch aussagekräftig ist, müsste weiter überprüft werden, da in diesem Experiment nur vier Profi-Musiker/innen mitwirkten.

Die *Pitch Classes*, welche die höchste Position am *Pitch Class Circle* einnehmen, lagen bei den professionellen Musiker/innen an anderer Stelle als bei den anderen beiden Kategorien: Am häufigsten wurde die Tonklasse E als höherer Ton wahrgenommen, gefolgt von F und F#. Aber auch C# wurde deutlich oft als „höher“ eingestuft.

Erstaunlich an dieser Gruppe ist jedoch, dass keine Tonklasse festgestellt werden konnte, welche zumeist als tieferer Ton gehört wird.

In Prozent gesehen ergab sich bei der Auswertung der Gruppe der Profi-Musiker/innen folgende Auflistung: E wurde mit 75,0% am häufigsten als höherer Ton wahrgenommen, in 68,8% der Fälle wurden die Tonklassen F und F# als „höher“ bezeichnet. Darauffolgend wurde C# in 62,5% der Bewertungen als „höher“ angesehen. Die Tonklassen G# und A wurden darüber hinaus zu 56,3% als der höhere Ton des Tonpaares gehört. Alle anderen Tonklassen, nämlich C, D#, G, A# und H# wurden interessanterweise genau zu einer Hälfte als „höher“ und zur anderen Hälfte als „tiefer“ wahrgenommen.

Durch die statistische Auswertung mit einem Signifikanzniveau von 5% konnte festgestellt werden, dass die Töne C, D, F und H bei den Nicht-Musiker/innen überzufällig oft als „höher“ bezeichnet wurden, während der Ton „G“ überzufällig selten als „höher“ wahrgenommen wurde. Die verbleibenden sieben Töne der Skala fielen in die Kategorie „zufällig bewertet“. In dieser Auswertung mussten die Töne mindestens 34 Mal bzw. höchstens 18 Mal als höherer Ton bewertet werden, um den Zufall ausschließen zu können. Bei der Gruppe der Hobby-Musiker/innen wurde die Erkenntnis gewonnen, dass die Töne C, C#, D, D# sowie H überdurchschnittlich oft und somit unter Ausschluss des Zufalls als „höher“ bewertet wurden. Bei der Gruppe der professionellen Musiker/innen konnte bei der Bewertung aller Töne der Zufall nicht ausgeschlossen werden, was aber höchstwahrscheinlich in Zusammenhang mit der geringen Anzahl an Proband/innen steht.

Herausragende Ergebnisse bestimmter Testpersonen

Bei der Auswertung der Formblätter konnte festgestellt werden, dass einige Teilnehmer/innen aus dem üblichen Schema ausbrachen und eine andere Art der Wahrnehmung aufzeigten.

Eine interessante Wahrnehmung der Tritoni zeigte beispielsweise die 22-jährige Probandin JD, welche in die Kategorie Hobby-Musiker/in eingestuft werden konnte, auf, da sie 77,1% der Tonbeispiele von Deutschs generierten Tönen als absteigendes Muster bezeichnete. Darüber hinaus gab es kein einziges Tonpaar, welches sie gar nicht, oder zumindest nur einmal, als absteigend wahrnahm. Obwohl diese Wahrnehmung

eher als ungewöhnlich zu bezeichnen ist, wurde die Probandin dennoch nicht aus der Auswertung ausgeschlossen, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen.

Sehr ähnlich beantwortete auch die 23-jährige Hobby-Musikerin SG die Frage nach dem höheren Ton des Tonpaares: Wie schon bei JD bezeichnete auch SG genau 77,1% aller Tonpaare als absteigend. Eine weitere Gemeinsamkeit der beiden ist, dass auch SG mindestens zwei Mal bei jedem Tonpaar angab, dass der zweite Ton tiefer sei als der erste.

Die 38-jährige, professionelle Musikerin MO zeigte ein weiteres interessantes Wahrnehmungsschema auf: Sie gab zwar nur in 70,8% der Fälle an, dass das Tonpaar ein absteigendes Muster darstellte, im Gespräch nach dem Experiment erklärte sie jedoch, dass sie fast alle Tonpaare nach unten gehört hätte, wenn sie sich nicht während der Testung plötzlich auf höhere Teiltöne konzentriert hätte.

Neben diesen drei soeben erwähnten Probandinnen konnten in diesem Teil der Forschung keine weiteren Testpersonen bemerkt werden, welche ein ungewöhnliches Wahrnehmungsschema aufzeigten.

6.1.4 Erkenntnisse

Durch die wiederholte, etwas abgeänderte Durchführung von Diana Deutschs Experiment konnte festgestellt werden, dass im Gegensatz zu den vorherigen Ergebnissen sehr wohl Unterschiede in der Wahrnehmung entstehen können. Es wurden die drei Faktoren Geschlecht, Alter und musikalische Ausbildung betrachtet, in jeder dieser Kategorien konnten Wahrnehmungsdifferenzen beobachtet werden.

Bei der Auswertung der Ergebnisse nach dem Alter der Testpersonen zeigten sich vor allem bei der jüngsten Gruppe, also bei den zehn Teilnehmer/innen, welche zwischen 14 und 29 Jahre alt waren, andere Spitzen der *Pitch Classes* als in den anderen beiden Gruppen, welche ähnliche Ergebnisse erzielten. Aus diesem Grund wäre eine weitere Erforschung des Phänomens mit jüngeren Personen oder möglicherweise sogar Kindern sehr interessant.

Auch der Vergleich der Ergebnisse von Männern und Frauen brachte mit dieser größeren Menge an Versuchspersonen neue Erkenntnisse. Während sich bei der männlichen Testgruppe zu erwartende Spitzen aufzeigten, ergab die Auswertung der

weiblichen Gruppe zweideutige Ergebnisse mit Spitzen, welche sowohl bei den Tönen E und F, als auch bei C und H lagen. Hier wäre es interessant zu erforschen, ob dieses Ergebnis der weiblichen Gruppe rein zufällig entstand, oder ob sich zwei verschiedene Spitzen des Öfteren feststellen lassen.

Als die Kategorien Nicht-Musiker/innen, Hobby-Musiker/innen und Profi-Musiker/innen getrennt voneinander betrachtet und verglichen wurden, konnten bei den professionellen Musiker/innen große Unterschiede bei der Wahrnehmung des *Tritonus-Paradoxons* im Gegensatz zu den anderen beiden Gruppen festgestellt werden.

Dieses Antwortschema der professionellen Musiker/innen, welche sehr viele Tonklassen zu jeweils 50,0% als höherer Ton wahrnahmen, lässt sich möglicherweise durch die folgende These erklären: Durch kurze Gespräche über das Experiment mit jeder einzelnen Versuchsperson wurde klar, dass vor allem die professionellen Musiker/innen, aber auch manche der Hobby-Musiker/innen, nicht nur einen, sondern mehrere Töne zugleich hören konnten und sich dann im Moment der Beantwortung spontan für den jeweils etwas prägnanteren entschieden, um einen Pfeil setzen zu können. Diese Theorie würde erklären, warum es in der Kategorie der Profi-Musiker/innen (bis auf E mit 75,0%) keine wirklich herausragenden Tonklassen gab.

6.2 Unter Verwendung der Skala von Nakajima et al.

6.2.1 Generieren der benötigten Töne

Die benötigten Töne wurden nach dem Vorbild der Skala von Nakajima et al.⁷ auf einem MacBook Pro 2012 mit dem Programm Ableton Live 9 generiert.

Die Komponenten waren zwölf Sinustöne, welche im Abstand von abwechselnd 600 und 800 Cent aneinandergereiht wurden. Hierbei wurde vorerst eine Funktion anhand der Abbildung⁸ gebildet, um die Lautstärke der Komponenten der einzelnen Töne zu berechnen. Da die Steigung der ersten fünf Teiltöne eine Spanne von -40 dB auf 0 dB darstellt, konnte $k = \frac{40}{2800} = 0,0142857$ definiert werden.

Somit wurden für den jeweils ersten Ton des Intervalls bei den ersten vier Teiltönen folgende (gerundete) Lautstärken verwendet: 1. Teilton = -40 dB, 2. Teilton = -31,4 dB, 3. Teilton = -20 dB, 4. Teilton = -11,4 dB, vom fünften bis zum neunten Teilton wurde

⁷ vgl. Kapitel 4.1, Abb. 9

⁸ vgl. Kapitel 4.1, Abb. 9

wie auch bei Nakajima et al. die Lautstärke bei 0 dB belassen. Bei den abschließenden drei Teiltönen wurden folgende (gerundete) Lautstärken eingesetzt: 10. Teilton = -11,4 dB, 11. Teilton = 20 dB, 12. Teilton = -28,6 dB.

Die Teiltöne des jeweils zweiten Tons des Intervalls wurden wiederum mit der Funktion $k = \frac{40}{2800} = 0,0142857$ berechnet. Hierbei wurde sich an der nachfolgenden Abbildung (Abb. 17) von Nakajima et al., welche den siebten Ton der Skala, also eine Quinte darstellt, orientiert.

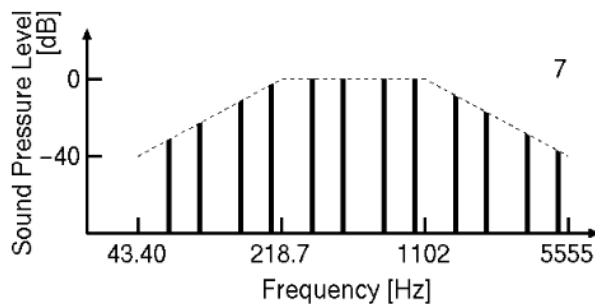


Abb. 17: Der siebte Ton der Skala von Nakajima et al. (Nakajima, Sasaki, ten Hoopen 2000, 21-1anim)

In dieser Berechnung ergaben sich folgende (gerundete) Lautstärken: 1. Teilton = -30 dB, 2. Teilton = -21,4 dB, 3. Teilton = -10 dB und 4. Teilton = -1,4 dB, die vier darauffolgenden Komponenten wurden wiederum bei 0 dB belassen. Für die letzten vier Teiltöne wurden abermals die Lautstärken (gerundet) berechnet: 9. Teilton = -10 dB, 10. Teilton = -18,6 dB, 11. Teilton = -30 dB und 12. Teilton = -38,6 dB. Unter dieser Voraussetzung wurden zwölf verschiedene Tonpaare gebildet.

6.2.2 Vorgehensweise

In diesem zweiten Teil der Forschung nahmen dieselben 30 Versuchspersonen teil, welche schon im ersten Experiment getestet wurden.

Die Versuchspersonen beantworteten die Frage nach der Höhe des zweiten Tons des Intervalls auf denselben Formblättern wie im ersten Teil des Experiments, indem sie wiederum einen nach oben oder unten zeigenden Pfeil einsetzten.

Auch in diesem Teil der Forschung wurden die Tonpaare über dieselben Sony MDR-ZX100-Kopfhörer abgespielt, um Unterschiede in der Wahrnehmung zu vermeiden.

Die zwölf Tonpaare, nämlich F-C, F#-C#, G-D, G#-D#, A-E, A#-F, H-F#, C-G, C#-G#, D-A, D#-A# und E-H, wurden sowohl vorwärts, als auch rückwärts in zufälliger Reihenfolge abgespielt. Die einzige Einschränkung war, dass kein Ton derselben *Pitch Class* zweimal hintereinander abgespielt werden durfte. Dies ergab 24 Tonpaare, welche zweimal in wiederum zufälliger Reihenfolge abgespielt wurden, sodass die Testpersonen im Gesamten 48 Tonpaare zu beurteilen hatten.

6.2.3 Testergebnisse

Sehr auffällig bei der Auswertung dieses Teils der Forschung war, dass sich die Spitzen der *Pitch Classes* im Gegensatz zu den Tonbeispielen von Diana Deutsch sehr stark verlagert hatten. Während in jenem Teil des Experiments, in dem die bereits vorhandenen Tonpaare, welche von Diana Deutsch generiert wurden, verwendet wurden, die Spitzen bei den Tonklassen H, C und D lagen, konnte in diesem Teil, in welchem die Töne nach der Skala von Nakajima et al. generiert wurden, festgestellt werden, dass die Spitzen nun bei den Tonklassen F, F# und G# lagen. Des Weiteren fiel sofort auf, dass die Spitzen nicht so eindeutig wie im ersten Teil des Experiments waren.

Auch bei dieser Auswertung wurde jeweils der erste Ton des Tonpaares betrachtet. Am häufigsten wurde bei den gesamten Teilnehmer/innen die Tonklasse G#, gefolgt von F und F#, als höherer erster Ton bezeichnet. Die Tonklassen, welche am seltensten als „höher“ bezeichnet wurden, waren C, D und H.

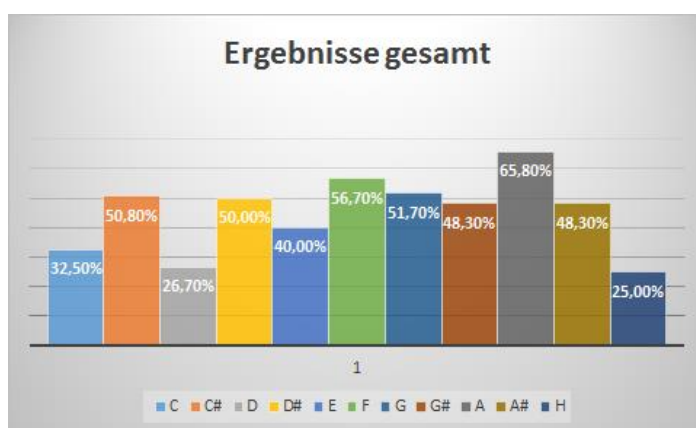


Abb. 18: Häufigkeit der Wahrnehmung des ersten Tons als „höher“ (Nakajima et al., gesamt)

In Prozent gemessen wurde G# in 65,8% und F in 56,7% aller Fälle als der höhere Ton bezeichnet. Darauffolgend wurden sehr viele Tonklassen zu in etwa 50,0% als „höher“

bezeichnet: F# wurde in 51,7% der Bewertungen als höherer Ton angegeben, gefolgt von C# mit 50,8% und D# mit exakt 50,0%. Die Tonklassen G und A wurden zu 48,3% als höherer Ton des Tonpaares wahrgenommen, A# zu 42,5% und E zu 40,0%. Sehr selten wurden die Töne C (32,5%), D (26,7%) und H (25,0%) als höherer Ton beschrieben.

Wiederum in Zahlen beschrieben lassen sich die Spitzen und Tiefen des *Pitch Class Circles* folgendermaßen angeben: Der Ton G# wurde mit 79 von 120 Mal am öftesten als höherer Ton wahrgenommen und dabei nur 41 Mal als „tiefer“ bezeichnet. Die Tonklasse F, welche darauffolgend am häufigsten als „höher“ gehört wurde, wurde nur 68 Mal von den 120 Beispielen als „höher“ bezeichnet. Der Ton, welcher am seltensten als höherer Ton des Tonpaares beschrieben wurde, nämlich H, wurde nur in 30 Fällen als „höher“ angegeben, 90 Mal jedoch als „tiefer“.

Auch in diesem Fall wurde eine statistische Auswertung durchgeführt, um die Zufälligkeit der Bewertung zu bestimmen. Hierbei konnte festgestellt werden, dass der Ton G# mit einem Signifikanzniveau von 5% überzufällig oft als höherer Ton bewertet wurde, während die Töne C, D und H überzufällig selten als „höher“ wahrgenommen wurden. Bei der Wahrnehmung der restlichen acht Tonklassen zeigte sich jedoch, dass diese Bewertung rein zufällig vonstattengegangen sein könnte.

Testergebnisse in Bezug auf das Alter

Auch die Beantwortung der Tonbeispiele, die nach der Skala von Nakajima et al. generiert wurden, wurde in der Auswertung in Bezug auf das Alter untersucht. Hierbei wurden wiederum die Ergebnisse der drei Altersgruppen 14-29, 30-49 und über 50 miteinander verglichen. Auch in diesem zweiten Teil des Experiments konnte festgestellt werden, dass die jüngste Gruppe, im Gegensatz zu den anderen beiden, andere Ergebnisse aufwies.

Die Spitzen entlang des *Pitch Class Circles* lagen bei der Altersgruppe der 14- bis 29-Jährigen bei den Tönen G# und A, interessanterweise aber auch bei D#. Die Tonklassen, welche am seltensten als der höhere Ton des Tonpaares bezeichnet wurden, waren in diesem Fall H, C# und D.

Die drei Tonklassen G#, A und D# wurden in jeweils 65,0% aller Fälle als „höher“ bezeichnet, wenn sie als erster Ton des Tonpaares fungierten. Darauffolgend wurden G

zu 60,0%, F zu 57,5% und E sowie F# zu 55,0% als höherer Ton wahrgenommen. In 42,5% der Bewertungen wurde außerdem A# als „höher“ beschrieben, in 40,0% die Tonklasse C. Die drei Tonklassen, welche zumeist als tieferer Ton beschrieben wurden, wenn sie an erster Stelle des Tonpaares abgespielt wurden, waren C# (37,5% als „höher“), D (35,0%) und H (32,5%).

Die Gruppen der 30- bis 49-Jährigen und derjenigen, welche über 50 Jahre alt waren, wiesen wiederum ähnliche Ergebnisse auf, die prozentuelle Aufteilung zeigte jedoch kleine Unterschiede. Darüber hinaus gab es in der ältesten Gruppe ungewöhnliche Spitzen.

Der Ton, welcher in der Altersgruppe der 30- bis 49-Jährigen am häufigsten als höherer Ton des Tonpaares beschrieben wurde, war G#. Aber auch die Tonklassen F, F# und A wurden sehr häufig als „höher“ beschrieben. Im Gegensatz dazu wurden die Tonklassen H, C und D sehr selten als der höhere Ton des Beispiels wahrgenommen.

In Prozent ergibt sich somit folgende Auflistung: Mit Abstand am häufigsten wurde G# in 67,5% der Fälle als höherer Ton wahrgenommen. Darauf folgten die Töne F, F# und A, welche jeweils zu 60,0% als „höher“ bezeichnet wurden. Nach einem größeren Sprung wurde C# in 47,5% der Bewertungen als „höher“ angegeben, G und A# zu 42,5%. Die Tonklassen D# und E wurden nur noch zu jeweils 40,0% als „höher“ wahrgenommen, C zu 35,0%. Das Schlusslicht bildeten in dieser Altersgruppe die Töne H (25,0%) und D (20,0%).

In ältesten Gruppe lag die Spitze des *Pitch Class Circles* bei C#, dicht gefolgt von G#. Am seltensten wurden wie auch schon in der Kategorie der 30- bis 49-Jährigen die Tonklassen C und H als höherer Ton des Tonpaares bezeichnet.

In 67,5% aller Bewertungen wurde in dieser Altersgruppe die Tonklasse C# als höherer Ton des Tonbeispiels angegeben. Interessanterweise wurde jedoch auch G# in 65,0% der Fälle als Spitze entlang des *Pitch Class Circles* angegeben. Nach einem großen Abstand folgte der Ton F mit 52,5% in der Bewertung als höherer Ton. Alle anderen Töne wurden häufiger als tieferer Ton des Tonpaares bezeichnet: In 42,5% aller Fälle wurde G als höherer Ton angegeben, in 40,0% F. Darauf folgend wurden A zu 37,5% und A# zu 30,0% als „höher“ wahrgenommen. Die Tonklassen D, D# und E wurden in jeweils 25,0% der Antworten als höherer Ton angegeben, C nur noch in 22,5% aller

Fälle. Mit Abstand am seltensten wurde in dieser Gruppe H als höherer Ton wahrgenommen, nämlich nur in 17,5% der Beispiele.

Nach statistischer Auswertung der Ergebnisse der Gruppe der 14- bis 29-Jährigen konnte festgestellt werden, dass in diesem Teil des Experiments nur die Tonklasse H unter Ausschluss des Zufalls (mit einer Signifikanz von 5%) bewertet wurde. Die restlichen elf Töne wurden jedoch laut Statistik zufällig bewertet. Die mittlere Altersgruppe wies zwei Töne auf, welche überzufällig selten als „höher“ angesehen wurden, nämlich D und H. Darüber hinaus wurde der Ton G in dieser Altersgruppe überzufällig oft als höherer Ton bewertet. Auch in diesem Fall wurden acht der zwölf Tonklassen von den Versuchspersonen zufällig bewertet. In der Altersgruppe der über-50-Jährigen ließen sich klarere Ergebnisse erkennen: Die Töne C, D, D#, E, A# sowie H wurden unter Ausschluss des Zufalls zumeist als „tiefer“ wahrgenommen. Die übrigen sechs Töne der Tonskala wurden jedoch wiederum zufällig bewertet.

Testergebnisse in Bezug auf das Geschlecht

Auch in diesem Teil der Forschung zeigten sich wie schon zuvor Unterschiede in der Wahrnehmung des *Tritonus-Paradoxons* bei der getrennten Betrachtung der Ergebnisse der männlichen und der weiblichen Versuchspersonen.

Die Töne, welche bei von den Männern am häufigsten als der höhere Ton des Tonpaares bezeichnet wurden, waren F, F# und G#. Im Gegensatz dazu wurden die Tonklassen C, D und H am seltensten als höherer Ton angesehen.

In 61,7% der Fälle wurde F als „höher“ wahrgenommen, wenn es an erster Position des Tonpaares abgespielt wurde. G# folgte dicht darauf mit 58,3%, F# mit 56,7% der Bewertungen, aber auch G wurde zu 55,0% als „höher“ beschrieben. Darauf folgten die Töne A (53,3%) und C# (50,0%). Die Tonklassen, welche seltener als „höher“ gehört wurden, waren D# mit 43,3%, E mit 41,7% und A# mit 33,3%. Der Ton C wurde nur noch in 30,0% aller Antworten als höherer Ton des Tonpaares beschrieben, D in 23,3% der Fälle. Zuletzt wurde H am seltensten, in nur 18,3% der Bewertungen, als höherer Ton des Tonpaares beschrieben.

Im Vergleich dazu ergaben sich bei der Auswertung der Ergebnisse der weiblichen Gruppe wiederum interessante Spitzen entlang des *Pitch Class Circles*. G# wurde hierbei mit Abstand am häufigsten als höherer Ton des Tonpaares angegeben, gefolgt

wurde dieser Ton jedoch von D#. Die drei Tonklassen, welche am seltensten als höherer Ton bezeichnet wurden, waren identisch mit jenen der männlichen Testgruppe, nämlich H, C und D.

Die Tonklasse G# wurde bei den weiblichen Versuchspersonen in 73,3% aller Fälle als höherer Ton bezeichnet, wenn sie an erster Stelle des Tonbeispiels abgespielt wurde. An zweiter Stelle folgte in dieser Gruppe D# mit 56,7%. Die Töne C#, F und A# wurden zu jeweils 51,7% als „höher“ bezeichnet, F# nur noch zu 46,7%. Auch die Tonklassen A (43,3%), G (41,7%) und E (38,3%) wurden relativ selten als „höher“ wahrgenommen. Zuletzt wurden bei den Frauen die Töne C in 35,0% der Fälle, H zu 31,7% und D mit 30,0% der Antworten als höherer Ton bezeichnet.

Auch in diesem Fall wurde eine statistische Auswertung mit einem Signifikanzniveau von 5% durchgeführt. Daraus konnten folgende Erkenntnisse gezogen werden: Bei der männlichen Testgruppe wurden die Töne C, D, A# und H überzufällig selten als höherer Ton bewertet. Die Bewertung der restlichen acht Töne war in diesem Fall wiederum zufällig. Die Ergebnisse der weiblichen Testgruppe ließen nach der statistischen Auswertung darauf schließen, dass die Töne C, D und H unter Ausschluss des Zufalls selten als „höher“ bezeichnet wurden. Wie schon zuvor wurden auch in dieser Gruppe die übrigen neun Töne jedoch zufällig bewertet.

Testergebnisse in Bezug auf die musikalische Bildung

Die Betrachtung der Antworten in Bezug auf die musikalische Bildung zeigte in diesem zweiten Teil des Experiments nicht so starke Unterschiede auf, wie dies mit den Tonbeispielen von Diana Deutsch der Fall war. Dennoch ist auch hier eine genauere Analyse der Ergebnisse nicht uninteressant.

Die Spitze der Nicht-Musiker/innen lag ein weiteres Mal in diesem Teil der Forschung bei G#. Interessanterweise wurden die Töne C# und F am zweithäufigsten als höherer Ton des Tonpaares beschrieben. In dieser Kategorie lagen die Töne, welche am seltensten als „höher“ bezeichnet wurden, nämlich C, D und H, sehr weit abgeschlagen von allen anderen Tonklassen.

Der Ton G#, welcher in dieser Kategorie den Höhepunkt bildete, wurde in 71,2% aller Fälle von den Nicht-Musiker/innen als höherer Ton des Tonpaares wahrgenommen, wenn er an erster Stelle abgespielt wurde. Darauf folgend wurden C# und F zu 59,6% als

„höher“ bezeichnet. Alle anderen Tonklassen wurden seltener als zu 50,0% als „höher“ beschrieben: D# wurde in 44,2%, A# in 40,4% und F# in 38,5% der Bewertungen als höherer Ton gekennzeichnet. Des Weiteren wurde G in 34,6% und A zu nur noch 28,8% als „höher“ wahrgenommen. Sehr selten wurden die restlichen vier Töne als „höher“ bezeichnet: E (21,2%), C (19,2%), D (13,5%) und H (11,5%) bilden das Schlusslicht derjenigen Töne, welche als „höher“ gehört wurden.

In der Kategorie der Hobby-Musiker/innen lagen drei andere Töne an der Spitze des *Pitch Class Circles*, nämlich D#, G und A. Die Tonklassen, welche am seltensten als höherer Ton wahrgenommen wurden, lagen wiederum bei H, C und D.

In Prozent angegeben wurde D# am häufigsten in 69,2% der Fälle als höherer Ton des Tonpaares angegeben, gefolgt von G (65,4%) und A (63,5%). In der Kategorie der Hobby-Musiker/innen lagen die Ergebnisse sehr nahe aneinander, sodass E und F# darauffolgend in jeweils 61,5% der Bewertungen als „höher“ bezeichnet wurden. Die Tonklasse G# wurde zu 59,6%, F zu 55,8% und C# zu exakt 50,0% als „höher“ wahrgenommen. Die Töne C, D und A# wurden in 48,1% der Antworten als höherer Ton des Tonpaares beschrieben, zuletzt wurde H mit 40,4% als „höher“ bezeichnet.

Im Gegensatz zur Kategorie der Hobby-Musiker/innen klafften die Bewertungen der Töne bei den professionellen Musiker/innen sehr stark auseinander. F# stand hierbei an der Spitze, gefolgt von G# und F. Die Töne, welche am seltensten als „höher“ bezeichnet wurden, waren (anders als in den beiden vorherigen Gruppen) H, D und D#.

Mit 75,0% der Bewertungen stand F# in der Gruppe der professionellen Musiker/innen eindeutig an der Spitze des *Pitch Class Circles*. Gefolgt wurde diese Tonklasse von G# (68,8%) und F (56,3%). Neben dem Ton G, welcher in 50,0% der Fälle als höherer Ton des Tonpaares beschrieben wurde, waren dies alle Töne, welche häufiger als „höher“ wahrgenommen wurden. Die Tonklasse A wurde zu 37,5%, die Tonklasse E nur zu 31,3% als „höher“ bezeichnet. Darauf folgend wurden die Töne C, C# und A# in je 25,0% der Antworten als „höher“ beschrieben, H in 18,8%. Extrem selten wurde D# (6,3%), sogar nie wurde D (0,0%) von den Profi-Musiker/innen als höherer Ton des Tonpaares wahrgenommen.

Die statistische Auswertung, welche wiederum mit einer Signifikanz von 5% durchgeführt wurde, ließ im Fall der Nicht-Musiker/innen darauf schließen, dass die

Töne C, D, E, G, A und H unter Ausschluss des Zufalls selten als „höher“ wahrgenommen wurden. Überzufällig oft als „höher“ wahrgenommen wurde in dieser Gruppe im Gegensatz nur der Ton G#. Bei den Hobby-Musiker/innen wurde nur der Ton D# überzufällig oft als höherer Ton angesehen, die Bewertung blieb im Fall aller anderen Töne im Bereich des Zufalls. Bei der Gruppe der Profi-Musiker/innen ergab sich in diesem Teil ein signifikanteres Ergebnis als im ersten Teil des Experiments: Die Töne D, D# und H wurden unter Ausschluss des Zufalls selten als „höher“ wahrgenommen. Die Bewertung der restlichen acht Töne fiel aber auch hierbei unter die Kategorie „zufällig bewertet“.

Herausragende Ergebnisse bestimmter Testpersonen

In diesem Forschungsteil stach die 14-jährige Hobby-Musikerin LE mit ihren Ergebnissen heraus, weil sie die Töne G bis A# immer als „höher“ bezeichnete, die Töne C, C#, D und E jedoch immer als „tiefer“ beschrieb. Die restlichen Töne beurteilte sie jeweils zu 50,0% als „höher“ bzw. „tiefer“. Sie war die einzige Testperson, welche in diesem zweiten Teil des Experiments so klare Ergebnisse zum Vorschein brachte.

Noch extremer als im ersten Teil der Forschung beantwortete die Probandin JD die Frage nach der Höhe der Tonpaare: In 79,2% der Fälle antwortete sie dieses Mal, dass der zweite Ton des Tonbeispiels tiefer sei als der erste. Dasselbe Wahrnehmungsschema konnte auch bei dem 40-jährigen Hobby-Musiker SN festgestellt werden. Auch er bezeichnete 79,2% aller Tonpaare als absteigend.

Das Gegenteil konnte bei der 46-jährigen Hobby-Musikerin DE festgestellt werden, welche in diesem Teil des Experiments nur 22,9% aller Tonbeispiele als absteigend bezeichnete. Aber auch die Nicht-Musikerinnen JG (im Alter von 63 Jahren) und AS (im Alter von 64 Jahren) nahmen sehr wenige Tonpaare, nämlich nur 18,8%, als absteigend wahr.

6.2.4 Erkenntnisse

Vorerst konnte festgestellt werden, dass die Antworten in diesem zweiten Teil des Experiments nicht nach so strengen Regeln eingeordnet werden konnten, wie dies im ersten Teil der Fall war. Dies liegt höchstwahrscheinlich daran, dass durch die vielen verschiedenen Teiltöne pro Tonpaar mehrere Möglichkeiten wahrgenommen werden konnten. Dies betonten vor allem alle Profi-Musiker/innen, aber auch einige der Hobby-

Musiker/innen erwähnten, dass sie mehrere Töne zugleich hören würden. So genau wurde dies von den Nicht-Musiker/innen nicht erläutert, der Großteil von ihnen meinte jedoch, dass diese Töne schwieriger zu bewerten seien, als diejenigen aus dem ersten Teil des Experiments.

Wie auch schon im ersten Forschungsteil konnte in diesem zweiten Teil festgestellt werden, dass die Wahrnehmung des *Tritonus-Paradoxons* bei der Gruppe der 14- bis 29-Jährigen große Unterschiede im Gegensatz zu den anderen beiden Altersgruppen aufzeigt. Aus diesem Grund wird auch an dieser Stelle vorgeschlagen, ein Experiment in dieser Art und Weise mit jüngeren Personen und/oder Kindern durchzuführen, da hierbei möglicherweise auf Besonderheiten gestoßen werden könnte.

Auch die Auswertung in Bezug auf das Geschlecht zeigte Ähnlichkeiten zum ersten Teil des Experiments auf. Hier bewahrte die männliche Gruppe wiederum ein Schema, das eher als „normal“ eingestuft werden konnte, während bei den weiblichen Versuchspersonen zwei verschiedene Spitzen entdeckt werden konnte. Aus diesem Grund wird die These aufgestellt, dass dieser Unterschied zwischen den Geschlechtern nicht nur zufällig entstanden ist, sondern dass dies einer Regel folgen könnte.

In Bezug auf die musikalische Ausbildung konnte in diesem Teil des Experiments keine starke Abweichung festgestellt werden, da die Spitzen und Tiefen in allen drei Gruppen an ähnlichen Tonklassen lagen. Das einzig auffällige war, dass in der Gruppe der Nicht-Musiker/innen und der Profi-Musiker/innen starke Unterschiede in der Bewertung der Töne als „höher“ oder „tiefer“ festzustellen war, während in der Kategorie der Hobby-Musiker alle Töne relativ ähnlich oft als „höher“ bzw. als „tiefer“ wahrgenommen wurden.

6.3 Vergleich der beiden Forschungsteile

Anhand des durchgeführten Experiments konnten einige Unterschiede zwischen den Bewertungen der Tonpaare von Diana Deutsch und denjenigen, welche nach der Skala von Nakajima et al. generiert wurden, festgestellt werden.

Auffällig war vor allem, dass sich die Spitzen bei den Tönen von Diana Deutsch eher zwischen H und D bewegten, bei den weiblichen Versuchspersonen aber auch rund um

D# bis F. Im Gegensatz dazu variierten die Spitzen bei den Tönen nach der Skala von Nakajima et al. vor allem zwischen F und A.

Dies definierte genau jenen Bereich, in dem bei Deutschs Tonbeispielen die Tiefen lagen. Die Tiefen bei den Tonbeispielen nach der Skala von Nakajima et al. lagen in diesem Fall wiederum vor allem zwischen H und D, es konnten jedoch auch einige Ausschweifungen nach A# und E festgestellt werden.

Neben diesen Auffälligkeiten konnte auch bemerkt werden, dass die Bewertung der Tonbeispiele von Diana Deutsch nach klareren Regeln ablief, während die Bewertung der neu generierten Töne höchstwahrscheinlich oftmals das Zufallsprinzip einfließen ließ, was sich vermutlich dadurch erklären lässt, dass die Teiltöne im zweiten Forschungsteil viel komplexer waren als jene des ersten Teils, weshalb oftmals mehrere Töne zugleich wahrgenommen werden konnten. Dies führte verständlicherweise manchmal zu Verwirrungen, sodass nicht sicher entschieden werden konnte, ob das Muster auf- oder absteigend gehört wurde. Da bei Deutschs Tönen die Komponenten nur aus Oktaven bestanden, ließen sich diese Beispiele leichter bewerten. Auch die statistische Auswertung ließ erkennen, dass die Töne von Diana Deutsch um einiges öfter unter Ausschluss des Zufalls bewertet wurden, als dies bei den Tönen nach der Skala von Nakajima et al. der Fall war.

Im ersten Teil des Experiments konnten bei der Auswertung in Bezug auf die drei Faktoren Alter, Geschlecht und musikalische Ausbildung leichter Abweichungen festgestellt werden als im zweiten Teil. Dies ist dadurch erklärbar, dass die Antworten mit den Tonbeispielen von Diana Deutsch geregelter abliefen, sodass auch schneller Abweichungen bemerkt werden konnten. Da die Bewertungen der Tonbeispiele, welche nach der Skala von Nakajima et al. generiert wurden, generell etwas schwieriger zu definieren waren, fiel auch die Auswertung dieser drei Faktoren ein wenig komplizierter aus.

In diesem Zusammenhang kann nun auch die Forschungsfrage, welche folgendermaßen lautete, beantwortet werden: „Wird die Illusion des *Tritonus-Paradoxons* auch wahrgenommen, wenn anstatt einer Skala von Tönen mit Teiltonkomponenten im Abstand einer Oktave die Skala von Nakajima et al. mit Teiltonkomponenten im Abstand von abwechselnd 600 und 800 Cent verwendet wird?“

Ja, die Illusion des *Tritonus-Paradoxons* wird auch wahrgenommen, wenn Diana Deutschs Skala durch jene von Nakajima et al. ersetzt wird. Es kann jedoch vermutet werden, dass die Töne nicht nach denselben Regeln beurteilt werden, wie dies mit einer Skala von Tönen mit Teiltonkomponenten im Abstand einer Oktave der Fall ist.

Nach der Auswertung aller Antworten lässt sich die Vermutung aufstellen, dass bei der Beurteilung von Tonpaaren, welche nach der Skala von Nakajima et al. generiert werden, nicht nur die *Pitch Classes* eine wichtige Rolle spielen, sondern dass auch der Zufall ein wenig mitwirkt. Diese Vermutung beruht auf den Aussagen vieler Versuchspersonen, welche angedeutet hatten, dass sie mehrere verschiedene Töne wahrnehmen und sich bei der Beantwortung spontan für ein daraus resultierendes Intervall entscheiden würden.

7. Schlusswort

Nach der Einleitung dieser Masterarbeit wurde eine Einführung in das Thema verfasst, um den Leser bzw. die Leserin mit der Thematik akustischer Illusionen vertraut zu machen.

Darauffolgend konzentrierte sich das dritte Kapitel auf die *Shepard Tones*, welche eine wichtige Rolle für die Illusion des *Tritonus-Paradoxons* spielen, da durch diese bestimmte Tonskala das Phänomen, welches im Mittelpunkt dieser Arbeit steht, entdeckt wurde. Hierbei wurde vor allem beschrieben, wie diese Skala generiert wurde und welche Experimente zu Beginn durchgeführt wurden.

Im vierten Kapitel wurden drei neuere, verschiedene Skalen vorgestellt, mit welchen die Täuschung der *Shepard Tones* weiter erforscht wurde. Im Vordergrund dieser Thematik stand vor allem die Skala, welche von Nakajima et al. generiert wurde, da sie für die neuen Forschungen, deren Ergebnisse in dieser Arbeit bekannt gegeben wurden, von großer Bedeutung war.

Kapitel fünf beschrieb darauffolgend das *Tritonus-Paradoxon*. Hierbei wurden wiederum die bisherigen Forschungsstände beschrieben, sowie einige Erklärungen für das Phänomen geliefert.

Im letzten Kapitel dieser Masterarbeit wurde letztendlich die Forschungsfrage geklärt. Hierfür wurde ein Experiment mit 30 Versuchspersonen zum *Tritonus-Paradoxon* durchgeführt, dessen Ergebnisse an dieser Stelle präsentiert wurden. Das wichtigste Ergebnis soll nun hier kurz zusammengefasst werden: Die Illusion des *Tritonus-Paradoxons* funktioniert nicht nur mit Tonpaaren, deren sinusförmige Teiltonkomponenten aus Intervallen im Abstand von Oktaven bestehen, sondern auch mit Tonpaaren, deren sinusförmige Teiltonkomponenten aus Intervallen abwechselnd im Abstand von 600 und 800 Cent bestehen. Damit die Illusion auch unter diesen Voraussetzungen funktioniert, müssen die Intervalle der Tonpaare jedoch von einem Tritonus auf eine kleine Sexte gestreckt werden.

8. Literaturverzeichnis

Braus, Ira: "Retracing One's Steps: An Overview of Pitch Circularity and Shepard Tones in European Music, 1550-1990", in: *Music Perception*, Vol. 12, Nr. 3, University of California, Frühling 1995, S. 323-351

Bregman, A.S. & Tougas, Y.: "Auditory streaming and the continuity illusion", in: *Perception & Psychophysics*, Vol. 47, Austin, Tex.: Psychonomic Journals Goleta, Calif. 1990, S. 121-126

Burns, E.M.: "Circularity in relative pitch judgments for inharmonic complex tones: The Shepard demonstration revisited, again", in *Perception & Psychophysics*, Vol. 30, Nr. 5, 1981, S. 467-472

Cavé, Christian; Risset, Jean-Claude: „Musikalische Illusionen. Vom Ohr an der Nase herumgeführt“, in: *Gehirn und Geist*, 2010, S. 92-98

Deutsch, Diana: "A Musical Paradox", in: *Music Perception*, Vol. 3, Nr. 3, University of California, Frühling 1986, S. 275-280

Deutsch, Diana: "The Tritone Paradox: An Influence of Language on Music Perception", in: *Music Perception*, Vol. 8, Nr. 4, University of California, Sommer 1991 (b), S. 335-347

Deutsch, Diana: "The Tritone Paradox and the Pitch Range of the Speaking Voice: Reply to Repp", in: *Music Perception*, Vol. 12, Nr. 2, University of California, Winter 1994 (a), S. 257-263

Deutsch, Diana: "The Tritone Paradox: Some Further Geographical Correlates", in: *Music Perception*, Vol. 12, Nr. 1, University of California, Herbst 1994 (b), S. 125-136

Deutsch, Diana; North, Tom; Ray, Lee: "The Tritone Paradox: Correlate with the Listener's Vocal Range for Speech", in: *Music Perception*, Vol. 7, University of California, 1990, S. 371-384

Dowling, W. Jay; Harwood, Dane L.: *Music Cognition*, Academic Press, Inc., Orlando u.a., 1986

Ebeling, Martin: *Tonhöhe physikalisch – musikalisch – psychologisch – mathematisch*, Frankfurt am Main u.a. 1999

Meschede, Dieter [Hrsg.]: *Gerthsen Physik. Mit 93 Tabellen, 105 durchgerechneten Beispielen und 1074 Aufgaben mit vollständigen Lösungen auf CD-ROM*, 22. vollständig neubearbeitete Auflage. Springer, Berlin u.a. 2004

Nakajima Yoshitaka et al.: “Dynamic Pitch Perception for Complex Tones of Periodic Spectral Patterns“, in: *Music Perception*, Vol. 8, Nr. 3, University of California, Frühling 1991, S. 291-314

Nakajima, Yoshitaka et al.: *Demonstrations of Auditory Illusions and Tricks* [CD], 2. Auflage, 2000

Pierce, John R.: *Klang. Musik mit den Ohren der Physik*, Heidelberg, Berlin: Spektrum, Akad. Verlag, 1999

Ragozzine, Frank; Deutsch, Diana: “A Regional Difference in Perception of the Tritone Paradox within the United States“, in: *Music Perception*, Vol. 12, Nr. 2, University of California, Winter 1994, S. 213-255

Repp, Bruno H.: “The Tritone Paradox and the Pitch Range of the Speaking Voice: A Dubious Connection“, in: *Music Perception*, Vol. 12, Nr. 2, University of California, Winter 1994, S. 227-255

Révész, Géza: „Zur Geschichte der Zweikomponentenlehre in der Tonpsychologie“ in: *Zeitschrift für Psychologie*, Band 99, 1926, S. 325-356

Shepard, Roger N.: “Circularity in Judgments of Relative Pitch“, in: *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 36, Nr. 12, Dezember 1964, S. 2346-2353

Sommerfeld, Arnold: *Vorlesungen über die Theoretische Physik: Optik*, Akad. Verlag, Leipzig, 1949

9. Abbildungs- und Grafikverzeichnis

Abb. 1: „Treppauf Treppab“ – M.C. Escher (Pierce 1999, S. 176)

Abb. 2: Illusion der *Shepard Tones* durch kleine und große Noten verdeutlicht
(<http://www.myquilt.de/al/physalt/shep.gif>, 5.7.2014)

Abb. 3: Schalldrucklevel (in dB) von 10 simultan abgespielten sinusartigen Komponenten im Oktavabstand (Shepard 1964, S. 2347)

Abb. 4: *Hunnenschlacht*, Franz Liszt (Braus 1995, S. 333)

Abb. 5: *Preludes for Piano*, Nr. 2, David Cleary (Braus 1995, S. 344)

Abb. 6: *Phases*, Jean-Claude Risset (Braus 1995, S. 346)

Abb. 7: Die Skala von E.M. Burns mit Teiltönen im Abstand von 1400 Cent (Nakajima, Sasaki, Ten Hoopen 2000, 20-1anim)

Abb. 8: Parameter der Reizzustände (Burns, 1981, S. 469)

Abb. 9: Die Skala von Nakajima et al. mit Teiltönen im Abstand von abwechselnd 600 und 800 Cent (Nakajima, Sasaki, Ten Hoopen 2000, 21-1anim)

Abb. 10: Die Skala von Murakita et al. mit unregelmäßigen Teiltonabständen (Nakajima, Sasaki, Ten Hoopen 2000, 22-1anim)

Abb. 11: Die Wahrnehmung derselben Tonpaare durch zwei verschiedene Testpersonen (Deutsch 1986, S. 279)

Abb. 12: „*Pitch Class Circle*“: Gruppierung aller Töne im Oktavabstand - Diana Deutsch (Deutsch 1986, S. 276)

Abb. 13: spektrale Darstellung der verwendeten Töne (hier: die Hüllkurve ist zentriert bei 523 Hz (c[‘])) (Deutsch 1986, S. 275)

Abb. 14: Bewertungen der sechs Versuchspersonen, ob ein Tonpaar ein absteigendes Muster bildet, als Funktion der *Pitch Class* des ersten Tons (in Prozent) dargestellt (Deutsch 1986, S. 279)

Abb. 15: Häufigkeit der Wahrnehmung des Tons als „höher“ (Deutsch, gesamt)

Abb. 16: Häufigkeit der Wahrnehmung des Tons als „höher“ (Deutsch, Gruppe 14-29)

Abb. 17: Der siebte Ton der Skala von Nakajima et al. (Nakajima, Sasaki, Ten Hoopen 2000, 21-1anim)

Abb. 18: Häufigkeit der Wahrnehmung des ersten Tons als „höher“ (Nakajima et al., gesamt)

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

10. Anhang

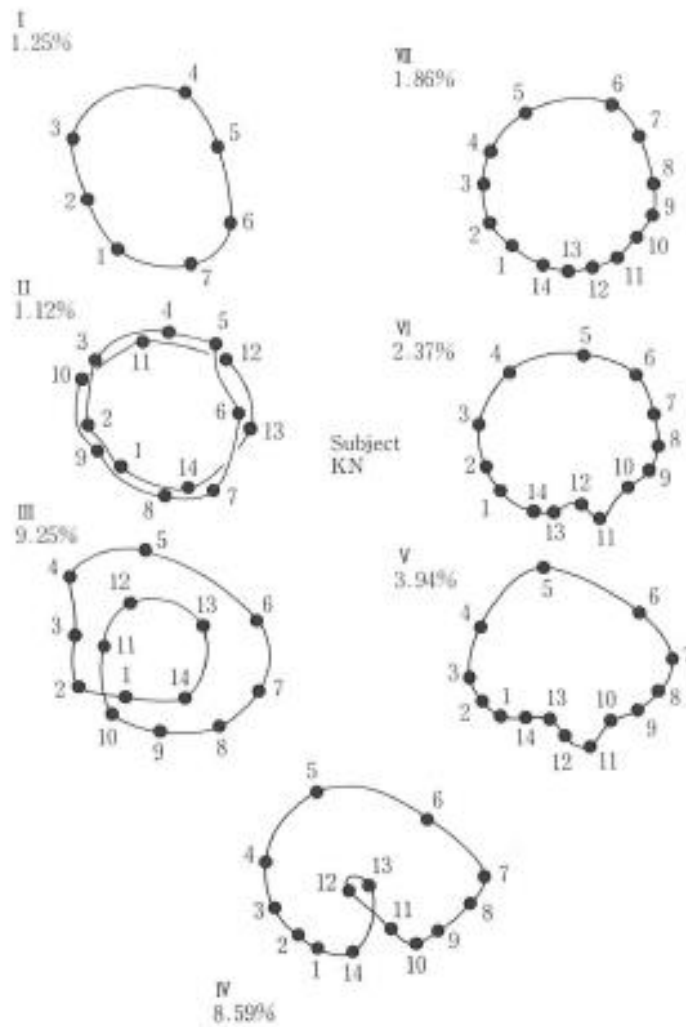


Fig. 2. Configurations obtained from a typical subject, KN. Each configuration reflects the subjective dissimilarities with respect to relative pitches among the tones within the set concerned. Stress values are indicated with the numbers of the tone sets.

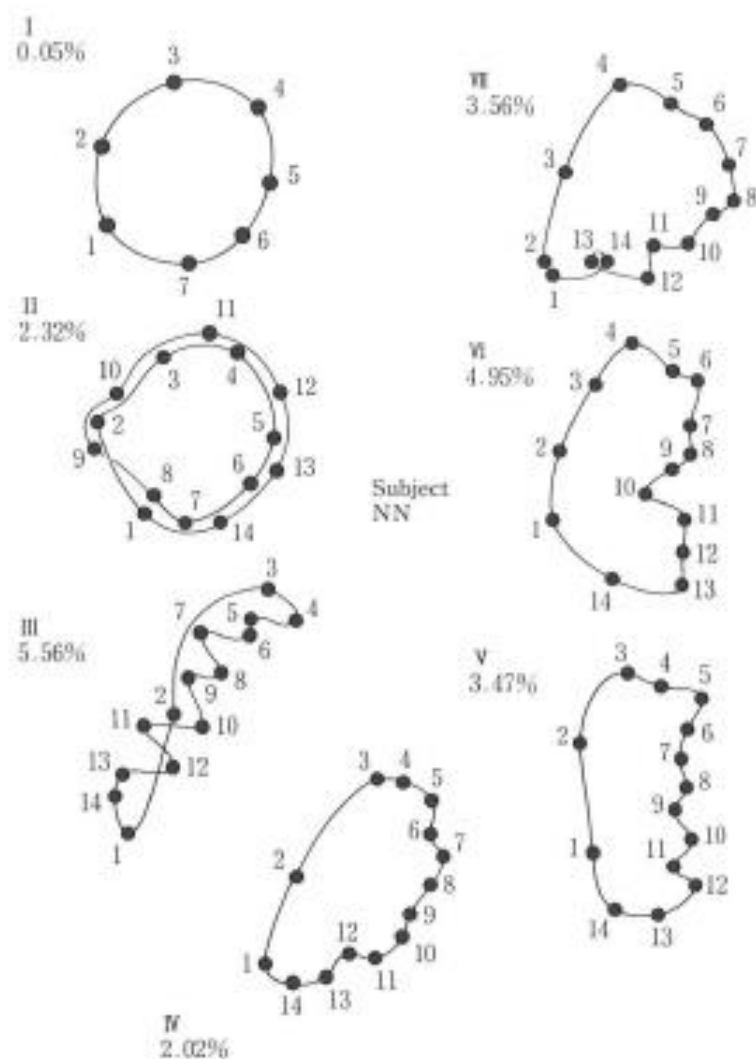


Fig. 3. Configurations obtained from an exceptional subject, NN. See the caption for Figure 2.

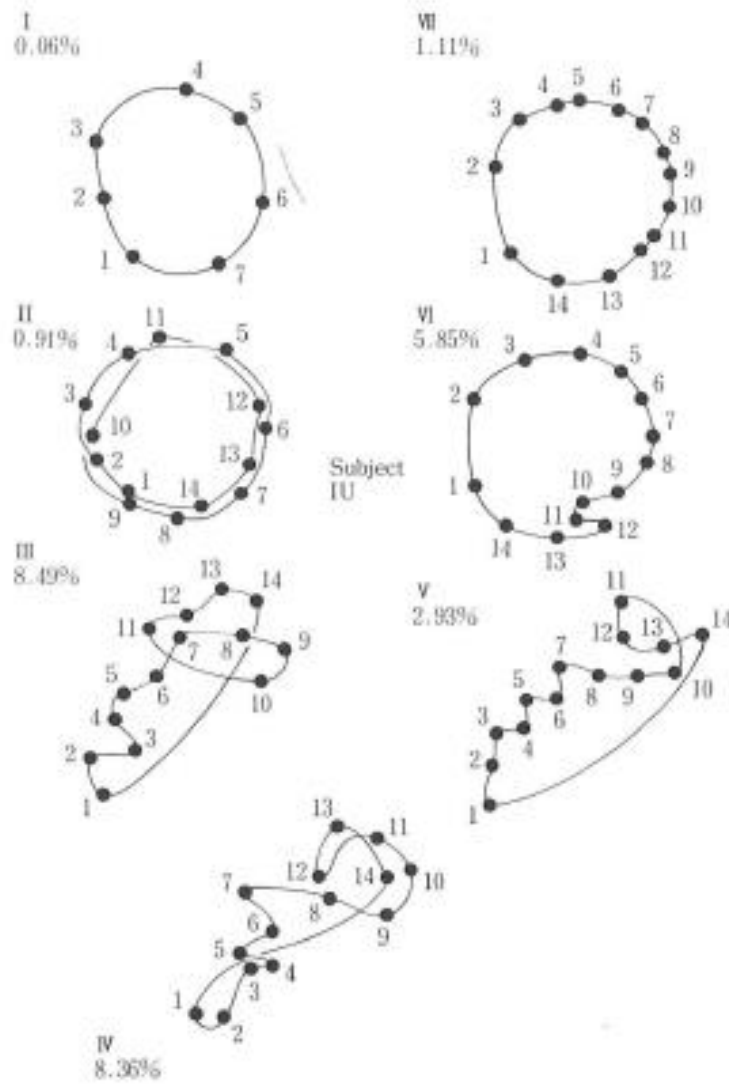


Fig. 4. Configurations obtained from an exceptional subject, IU. See the caption for Figure 2.

Anh. 3 (Nakajima et al. 1991, S. 301)

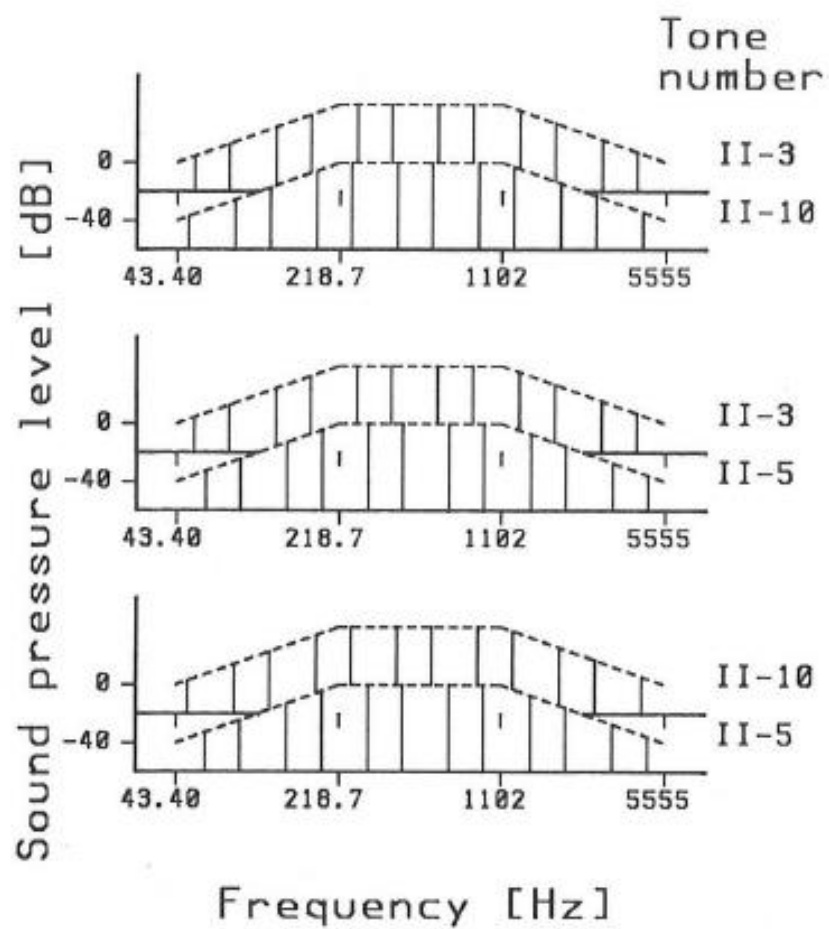


Fig. 9. Examples of tone pairs in Set II.

Anh. 4 (Nakajima et al. 1991, S. 308)

Experiment zum Tritonus-Paradoxon

1. Alter: _____
2. Geschlecht: o weiblich o männlich
3. Spielen Sie ein Instrument bzw. singen Sie? o ja o nein
4. Wurden Sie mehr als zwei Jahre musikalisch gebildet (außerhalb des Schulunterrichts)? o ja o nein
5. Besitzen Sie ein absolutes Gehör? o ja o nein
6. Sind sie beruflich als Musiker/in tätig? o ja o nein

Ihnen werden nun 8 x 12 Tonpaare präsentiert, bitte setzen Sie jeweils einen nach unten zeigenden Pfeil ein, wenn der zweite Ton des Tonpaares tiefer klingt als der erste; verwenden Sie einen nach oben zeigenden Pfeil, wenn Sie den zweiten Ton höher empfinden als den ersten. Zu Beginn werden Ihnen 6 Tonpaare zur Übung präsentiert.

		Group							
Practice		1	2	3	4	5	6	7	8
Tone pair	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
	9								
	10								
	11								
	12								

Figures 10 & 11.

Lebenslauf

Name: Tanja Offenberger, BA

Schulbildung: 09/1997 – 06/2001 Volksschule Preinsbacherstraße Amstetten
09/2001 – 06/2009 Bundesgymnasium Amstetten
26/06/2009 Matura

Studium: 10/2009 – 11/2012 Bachelorstudium Musikwissenschaft
07/11/2012 Bachelor of Arts
seit 11/2012 Masterstudium Musikwissenschaft

Sprachkenntnisse: Deutsch (Muttersprache)
Englisch (C1-Level)
Französisch (B1-Level)
Niederländisch (Grundkenntnisse)

EDV-Kenntnisse: langjährige Erfahrung mit Microsoft Office Anwendungen
versiert im Umgang mit dem Internet