



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Farbe-Ton-Zuordnungen bei Kindern im Volksschulalter

verfasst von | submitted by

Mag.Dr. Petra Albine Greiler-Weiß BA

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Arts (MA)

Wien | Vienna, 2024

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 066 836

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Musikwissenschaft

Betreut von | Supervisor:

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

DANKSAGUNG

Besonders bedanken möchte ich mich bei meinem Betreuer Univ.-Prof. Dr. Christoph Reuter, der sich für mein Thema begeistern konnte und mich mit seinen Ideen, Anregungen, Planung und Auswertung der Studie unterstützte und tatkräftig zur Seite stand, wenn sich Probleme auftaten.

Weiters gilt mein besonderer Dank Sarah Ambros MA, die mich mit ihrer Erfahrung im Zusammenhang mit Studien zu Farbe-Ton-Beziehungen beriet und mir mit wertvollen Gedanken zum Thema tatkräftig beistand.

Bedanken möchte ich mich auch bei Dr. Jörg Jewanski, der mein Interesse für dieses Thema geweckt hat und mich mit wertvollen Anregungen bei meiner Arbeit unterstützt hat.

Mein weiterer Dank gilt Frau Mag. Doris Marek, Direktorin der Privatvolksschule Notre Dame de Sion, im siebenten Wiener Gemeindebezirk, die mir die Möglichkeit gab, die Studie durchzuführen, sowie allen Lehrkräften, die die Studie pädagogisch begleiteten. Bedanken möchte ich mich auch bei allen Eltern, die ihr Einverständnis zur Durchführung der Studie mit ihren Kindern gaben.

Ein großes Dankeschön geht auch an die Kinder, die diese Studie überhaupt möglich machten, da sie diszipliniert und aufmerksam als Versuchspersonen agierten.

Bedanken möchte ich mich auch bei Frau Mag. Susanne Greiler für das Korrekturlesen meiner Masterarbeit, Julia Greiler für die technische Unterstützung sowie meinen engsten Vertrauten und Kolleg:innen, die mich während des Schreibens dieser Arbeit immer wieder motivierten und unterstützten.

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Schematische Darstellung der Gehirnnareale (Beck et al. 2018, S. 34).
- Abbildung 2: Gehirnnareale und ihre Funktionen (Schäffler & Schmidt 1995, S. 176).
- Abbildung 3: a) Querschnitt durch die Schnecke; b) Ausschnitt aus der Scala media; c) Corti Organ in Detailansicht (Hoth et al. 2014, S. 10).
- Abbildung 4: Drei Reihen w-förmig angeordnete äußere Haarzellen und eine gerade Linie innere Haarzellen (Reiss et al. 1989, S. 51).
- Abbildung 5: Tonotope Frequenzauflösung und Basilarmembranbreite (Müller et al. 2019, S. 515).
- Abbildung 6: Verarbeitungsstationen entlang der Hörbahn eines Ohres (Anzenbacher 2012, S. 35).
- Abbildung 7: Für die Verarbeitung von Musik wichtige Hirnnareale: 1 auditorischer Cortex, 2 Planum temporale, 3 Planum polare, 4 inferior-frontolateraler Cortex, 5 dorsolateral-präfrontaler Cortex, ventrolaterale-prämotorischer Cortex, 7 parietaler Assoziations-Cortex, 8 orbitofrontaler Cortex, 9 Gyrus temporalis superior (Koelsch & Schröger 2018, S. 467).
- Abbildung 8: Beschaffenheit des Augapfels (Beck et al. 2018, S. 148).
- Abbildung 9: Querschnitt durch die Netzhaut sowie deren schematische Darstellung (Beck et al. 2018, S. 149).
- Abbildung 10: Absorptionsspektrum der drei verschiedenen Zapfenarten (Neitz et al. 2011, S. 649).
- Abbildung 11: 1 Zapfen und Stäbchen, 2 Membranscheibe einer Stäbchenzelle, 3 photochemische Reaktion im Rhodopsin (Silbernagl & Despopulus 2012, S. 370–371).
- Abbildung 12: Sehnervkreuzung auf dem Weg ins Gehirn (schematische und MRT-Darstellung des menschlichen Gehirns) (Beck et al. 2018, S. 152).
- Abbildung 13: Zentrale Hörbahnen des Menschen (Hoth et al. 2014, S. 14).
- Abbildung 14: Verarbeitung der optischen Information im Großhirn (Beck et al. 2018, S. 153).
- Abbildung 15: Areale zur Verarbeitung von Musik im Gehirn (Gruhn 2010, S. 41).
- Abbildung 16: Vergleich der Hörbahnreifung mit den sensiblen Phasen des Spracherwerbs beim Menschen (Hoth et al. 2014, S. 18).
- Abbildung 17: Nucleus ambiguus in einer schematischen Darstellung des Hirnstamms und der Hirnnervenkerne (Netter 2000, Tafel 111).

- Abbildung 18: Erste Seite des Fragebogens: Neben der Angabe der für die Studie notwendigen demographischen Daten wurden die Kinder aufgefordert ihren momentanen Gefühlszustand zu beschreiben und abschließend die Aufgabenstellung zu bewerten. Die musikalischen Vorkenntnisse wurden anhand von Bildern erhoben.
- Abbildung 19: Liste zum Eintragen der jeweiligen Farbe-Ton-Zuordnung.
- Abbildung 20: Verteilung der Lieblingsfarben pro Schulstufe (x-Achse) in Prozent (y-Achse).
- Abbildung 21: Vergleich der Verteilung der Lieblingsfarben der Buben (links) und Mädchen (rechts) pro Schulstufe (x-Achse) in Prozent (y-Achse).
- Abbildung 22: Ermittelte Durchschnittsfarben für die Klänge von Cello, Flöte, Gitarre, Horn, Klarinette, Klavier, Oboe, Sägezahnton, Sinuston und Trompete der verschiedenen Oktavlagen von C.
- Abbildung 23: Menü zur audiovisuellen Darstellung der Zusammenhänge zwischen Klangeigenschaften und getroffener Farbwahl abrufbar nach Proband:innengruppe.
- Abbildung 24: Audiomerkmalspectral Complexity der verwendeten Klangquellen in aufsteigender Reihenfolge und dessen Auswirkung auf die Farbe-Ton-Zuordnung unter Berücksichtigung geschlechterspezifischer Unterschiede bezogen auf alle Proband:innen als auch unter spezieller Berücksichtigung der Angaben der Mädchen aller vier Schulstufen.
- Abbildung 25: Audiomerkmaltimbral Warmth der verwendeten Klangquellen in aufsteigender Reihenfolge und dessen Auswirkung auf die Farbe-Ton-Zuordnung unter Berücksichtigung geschlechterspezifischer Unterschiede bezogen auf alle Proband:innen als auch unter spezieller Berücksichtigung der Angaben der Mädchen aller vier Schulstufen.
- Abbildung 26: Audiomerkmalspectral Hardness der verwendeten Klangquellen in aufsteigender Reihenfolge und dessen Auswirkung auf die Farbe-Ton-Zuordnung unter Berücksichtigung geschlechterspezifischer Unterschiede bezogen auf alle Proband:innen unter Berücksichtigung aller vier Schulstufen.
- Abbildung 27: Audiomerkmalspectral Major und Minor Thirds strength und dessen Auswirkung auf die Farbe-Ton-Zuordnung unter Berücksichtigung bezogen auf alle Proband:innen.

- Abbildung 28: Audiomerkmale Pitch Saliency der verwendeten Klangquellen in aufsteigender Reihenfolge und dessen Auswirkung auf die Farbe-Ton-Zuordnung unter Berücksichtigung geschlechterspezifischer Unterschiede bezogen auf alle Proband:innen und unter spezieller Berücksichtigung der Schüler:innen der zweiten Schulstufen.
- Abbildung 29: Häufigkeit der gewählten Farben pro Klang bezogen auf beide Durchgänge (Weinrot) und Anzahl der von den Proband:innen in beiden Durchgängen getroffene gleiche Farbwahl (Türkis) pro Klang über alle Schulstufen (c = Cello, f = Flöte, g = Gitarre, h = Horn, k = Klarinette, p = Klavier, o = Oboe, sa = Sägezahn, si = Sinus, t = Trompete).

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Gegenüberstellung der für die beiden Sinnesorgane charakteristischen Funktionsweisen.
- Tabelle 2: Symbolik und Wirkung von Farben (nach Frieling 2006, S. 32, 67–87, 91–118; Welsch & Liebmann 2012, S. 53–54, 58, 62, 66, 70, 76, 81, 93, 104).
- Tabelle 3: Merkmale der Synästhesie und crossmodaler Korrespondenz im Vergleich (Behne 1991, S. 114 nach Deroy & Spence 2013, S. 658–659).
- Tabelle 4: Melodie- und Rhythmuswahrnehmung in den ersten zehn Lebensjahren (Gembris 1987, S. 142; Gembris 1998, S. 276–282, 285–287; Dowling 2005, S. 71; Gruhn 2010, S. 3).
- Tabelle 5: Zusammensetzung der Stichproben und Angaben zu den musikalischen Vorkenntnissen der Schüler:innen.
- Tabelle 6: Angaben zu den musikalischen Vorkenntnissen bezogen auf die Schüler:innen pro Schulstufe in Prozent.
- Tabelle 7: Angaben zu den musikalischen Vorkenntnissen bezogen auf die Gesamtzahl der Schüler:innen in Prozent.
- Tabelle 8: Klassenweise und schulstufenweise Erfassung der Angaben zur Befindlichkeit und der Aufgabenstellung bezogen auf die Gesamtzahl der Schüler:innen in Prozent.
- Tabelle 9: Beschreibung der für diese Arbeit relevanten Audiomerkmale (Laurier et al. 2010, ohne Seitenangabe; Czedik-Eysenberg 2021, S. 260–264).
- Tabelle 10: Präsentierte Oktavlagen des Tones C der jeweiligen Klangquellen.
- Tabelle 11: Nähere Spezifikation der verwendeten Farben:
a = Rot/Grün-Achse (positive Werte = Rot, negative Werte = Grün), b = Gelb/Blau-Achse (positive Werte = Gelb, negative Werte = Blau), H = Farbton, S = Sättigung, hier B = V = absolute Helligkeit, R = Rotanteil, G = Grünanteil, B = Blauanteil.
- Tabelle 12: Verteilung der nicht ausgewerteten Fragebögen auf Klassen und Geschlecht der Kinder.
- Tabelle 13: Sättigungsmittelwert S-MW, Standardabweichung (Maß für Abweichung der Werte vom Sättigungsmittelwert), Varianz (ähnlich wie Standardabweichung nur quadriert berechnet), Spannweite (Differenz zwischen größtem und kleinstem Wert, d. h. zwischen Sättigungen der zugehörigen Farben).

- Tabelle 14: Beliebtheit von Farben in Bezug auf Alter und Geschlecht (Frieling 2006, S. 27, 30–31, 67–87, 91–118; Emmett 1994, S. 117, 126).
- Tabelle 15: Schulstufenweiser Vergleich der Zuordnung der Farben Schwarz und Dunkelgrün.
- Tabelle 16: Korrelationen zwischen männlichen und weiblichen Versuchspersonen hinsichtlich getroffener Farbe-Ton-Zuordnung nach Tonhöhen und Farbcharakteristika: R = Rotanteil, G = Grünanteil, B = Blauanteil, H = Farbton, S = Sättigung, V = Helligkeit; die Bezeichnungen hoch, mitte, tief beziehen sich auf das Register des Tones C.
- Tabelle 17: Korrelationen zwischen den einzelnen Schulstufen hinsichtlich getroffener Farbe-Ton-Zuordnung nach Tonhöhen und Farbcharakteristika: R = Rotanteil, G = Grünanteil, B = Blauanteil, H = Farbton, S = Sättigung, V = Helligkeit; die Bezeichnungen hoch, mitte, tief beziehen sich auf das Register des Tones C.
- Tabelle 18: Korrelationen zwischen den Buben der einzelnen Schulstufen hinsichtlich getroffener Farbe-Ton-Zuordnung nach Tonhöhen und Farbcharakteristika: R = Rotanteil, G = Grünanteil, B = Blauanteil, H = Farbton, S = Sättigung, V = Helligkeit; die Bezeichnungen hoch, mitte, tief beziehen sich auf das Register des Tones C.
- Tabelle 19: Korrelationen zwischen den Mädchen der einzelnen Schulstufen hinsichtlich getroffener Farbe-Ton-Zuordnung nach Tonhöhen und Farbcharakteristika: R = Rotanteil, G = Grünanteil, B = Blauanteil, H = Farbton, S = Sättigung, V = Helligkeit; die Bezeichnungen hoch, mitte, tief beziehen sich auf das Register des Tones C.
- Tabelle 20: Korrespondenzen zwischen Farbe und Musikinstrumenten (Emmett 1994, S. 179–180; Reuter et al. 2018; Ambros et al. 2021, S.1076–1078 und der für diese Arbeit durchgeführten Studie).
- Tabelle 21: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Spectral Complexity hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).
- Tabelle 22: Vergleich der Audiomerkmale Spectral Decrease und Spectral Energy aller analysierten Klangquellen in aufsteigender Reihenfolge.

- Tabelle 23: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Spectral Decrease hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).
- Tabelle 24: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Spectral Energy hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).
- Tabelle 25: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Timbral Warmth hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).
- Tabelle 26: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Roughness (nach Zwicker) hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).
- Tabelle 27: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Spectral Flux (< 100 Hz) hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).
- Tabelle 28: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Hardness hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).
- Tabelle 29: Vergleich der Audiomerkmale Major Thirds strength und Minor Thirds strength aller analysierten Klangquellen in aufsteigender Reihenfolge.
- Tabelle 30: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Major Thirds strength hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).
- Tabelle 31: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Minor Thirds strength hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).
- Tabelle 32: Vergleich der Audiomerkmale Envelope Flatness und Envelope Kurtosis aller analysierten Klangquellen in aufsteigender Reihenfolge.
- Tabelle 33: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Envelope Flatness hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).
- Tabelle 34: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Envelope Kurtosis hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).

- Tabelle 35: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Pitch Saliency hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).
- Tabelle 36: Anzahl der Fragebögen und übereinstimmende Farbe-Ton-Zuordnung in beiden Durchgängen nach Schulstufen, Geschlecht und gesamt sowie die Mittelwerte und den Wertebereich der übereinstimmenden Zuordnungen.
- Tabelle 37: Klang und die diesem am häufigsten zugeordnete Farbe sowie die Anzahl der Übereinstimmungen (die sich aber nicht immer mit der am häufigsten gewählten Farbe deckt).

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen:

ca.	circa
dB	Dezibel
d. h.	das heißt
ebd.	ebenda
et al.	et alii (und andere)
Hrsg.	Herausgeber
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz
mm	Millimeter
mm ²	Quadratmillimeter
msec	Millisekunde(n)
µsec	Mikrosekunde(n)
nm	Nanometer
S.	Seite
sec	Sekunde(n)
u. a.	und andere
vgl.	vergleiche

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	6
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen:	10
1. Einleitung	13
2. Grundlagen der sensorischen Wahrnehmung	16
2.1. Anatomie und Funktionsweise des menschlichen Gehörs	17
2.2. Anatomie und Funktionsweise des menschliche Sehsinns	26
2.3. Zusammenfassender Vergleich der beiden sensorischen Einheiten	33
3. Die kindliche Entwicklung des Hör- und Sehsinns	35
3.1. Die kindliche Entwicklung des Gehörs	35
3.2. Die kindliche Entwicklung des Sehsinns	36
3.3. Neuroplastizität	38
4. Physikalischer Hintergrund zu Klängen und Farben	40
4.1. Schallwellen und Klangereignisse	40
4.2. Elektromagnetische Wellen und sichtbares Licht	42
4.3. Die Wirkung von Farben	43
5. Farbe-Ton-Beziehung	46
5.1. Historischer Hintergrund zur Farbe-Ton-Beziehung	46
5.2. Synästhesien versus crossmodale Korrespondenzen	47
6. Das Phänomen der Offenohrigkeit	54
6.1. Begriffsdefinitionen	54
6.2. Die musikalische Entwicklung des Kindes	56
6.3. Forschungsstand bezüglich Offenohrigkeit im Überblick	61
7. Empirischer Teil Studie zur Farbe-Ton-Beziehung mit Kindern der Primarstufe	64
7.1. Fragestellung und Hypothesenbildung	64

7.2. Methodik.....	66
7.2.1. Informationen zu den Versuchspersonen und der Durchführung der Studie	66
7.2.2. Verwendete Stimuli.....	69
7.3. Auswertung.....	73
8. Diskussion der Ergebnisse	75
8.1. Deskriptive Erhebung der Lieblingsfarben der Kinder	75
8.2. Untersuchung der aufgestellten Hypothesen	79
8.2.1. Vergleich der Farbe-Ton-Zuordnung nach Schulstufen und Geschlecht	79
8.2.2. Klangcharakteristika und deren Einfluss auf die Farbe-Ton-Zuordnung.....	92
8.2.3. Häufigkeit gleicher Farbe-Ton-Zuordnungen in beiden Durchgängen.....	112
9. Zusammenfassung und Conclusio	116
Literaturverzeichnis	118
Anhang.....	125
Abschließende Diskussion der Studie und aufgetretene Schwierigkeiten.....	125
Ergänzendes Datenmaterial.....	127
Abstract.....	146

1. Einleitung

Schwerpunkt dieser Arbeit sind die sogenannten crossmodalen Korrespondenzen, die auch als kreuzweise Korrespondenzen oder crossmodale correspondences bezeichnet werden, wobei im Zentrum des Interesses die Farbe-Ton-Beziehung steht, da diese auch zusammenhängend wahrgenommen werden können. Es sei darauf hingewiesen, dass Farbe-Ton-Beziehung ein Begriff aus der Musik ist und Ton nicht im physikalischen Sinn als reine Sinusschwingung zu verstehen, sondern mit der musikalischen Definition im Sinne von Klang gleichzusetzen ist. Daher bezieht sich diese Arbeit nicht nur auf Ton- sondern auch auf Klangassoziationen. In weiterer Folge wird aber auch ein Fokus auf die Farbe-Klangfarbe-Beziehung gelegt.

Der theoretische Teil befasst sich mit der Anatomie und Funktionsweise des Gehörs und Sehsinns sowie mit den physikalischen Grundlagen zu Klangereignissen und Farbempfinden. Die Farbe-Ton-Beziehung ist ein Phänomen, das den Menschen und die Wissenschaft seit jeher beschäftigt, sei es die Zuordnung von Intervallen oder einzelnen Tönen zu bestimmten Farben oder die Kombination von visuellen Effekten und Klangereignissen. In diesen Themenkreis fällt auch die Farbe-Klang-Synästhesie, ein Doppelempfinden, durch das Personen Töne mit konkreten Farben „hören“, das heißt den Ton unwillkürlich durch eine bestimmte Farbe visualisieren.

Der empirische Teil befasst sich mit der Farbe-Ton-Beziehung im Rahmen einer Studie mit Kindern der ersten bis vierten Schulstufe im Alter von sechs bis zehn Jahren einer Wiener Privatvolksschule, mit dem Ziel, die entwicklungsbedingten Veränderungen in den Farbe-Ton-Zuordnungen dieser Altersgruppe zu erfassen. Dies soll durch die Zuordnung von Farben zu Klangereignissen unterschiedlicher Klangquellen und Frequenzen erfolgen. Durch ein wiederholtes Abspielen der Klänge in zufälliger Reihenfolge soll überprüft werden, wie Klänge von Kindern in diesem Alter empfunden und welche Farbzusordnungen getroffen werden. Durch wiederholte Präsentation des Klanges soll die Stabilität der Zuordnungen erfasst und in weiterer Folge analysiert werden, inwieweit crossmodale Korrespondenzen dafür verantwortlich gemacht werden können. In welchem Ausmaß diese vorhanden sind, soll in weiterer Folge Rückschlüsse über die sogenannte Offenohrigkeit der Kinder in Abhängigkeit von Schulstufe und Geschlecht liefern. Die Forschungsfragen dieser Arbeit lauten daher wie folgt:

Forschungsfrage 1: Werden in Abhängigkeit von der Schulstufe und des Geschlechts unterschiedliche Farbe-Ton-Zuordnungen getroffen?

Forschungsfrage 2: Wie wirken sich das Instrument beziehungsweise die Art der Klangerzeugung und die Tonhöhe sowie damit verbundene Klangeigenschaften auf die Wahl von Farbe, Farbhelligkeit und Farbsättigung aus?

Forschungsfrage 3: Zeigen sich schulstufenbedingt Unterschiede in der Stabilität der Farbe-Ton-Zuordnung bei nochmaliger Präsentation des Klangs?

Aus diesen Forschungsfragen wurden folgende Hypothesen abgeleitet:

Ungerichtete H1: Es gibt Unterschiede hinsichtlich der Farbe-Ton-Zuordnung bei Kindern aus unterschiedlichen Schulstufen und unterschiedlichen Geschlechts.

H01: Es gibt keine Unterschiede zwischen den Schulstufen und dem Geschlecht in Bezug auf die Farbe-Ton-Zuordnung der Kinder.

Ungerichtete H2: Spezifische Klangeigenschaften beeinflussen die Zuordnung von Farben hinsichtlich Farbhelligkeit und Farbsättigung, da sie in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht unterschiedlich wahrgenommen werden.

H02: Spezifische Klangeigenschaften haben keinen Einfluss auf die Zuordnung zu Farben hinsichtlich Farbhelligkeit und Farbsättigung.

Ungerichtete H3a: Die Zahl der Klänge, denen in beiden Durchgängen die gleiche Farbe zugeordnet wird, ist abhängig von Schulstufe und Geschlecht.

H03a: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen Schulstufe und Geschlecht, hinsichtlich der Anzahl der gleichen Farbe-Ton-Zuordnung in beiden Durchgängen (Konstanz der Zuordnungen).

Ungerichtete H3b: Die Zahl der Klänge, denen in beiden Durchgängen die gleiche Farbe zugeordnet wird, ist abhängig von Tonhöhe und Klangquelle.

H03b: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen Tonhöhe und Klangquelle hinsichtlich der Anzahl der gleichen Farbe-Ton-Zuordnung in beiden Durchgängen (Konstanz der Zuordnungen).

Die Ergebnisse der Studie sollen auf ihre Relevanz zur Erforschung der Ausprägung crossmodaler Korrespondenzen und der Offenohrigkeit in dieser Altersgruppe diskutiert werden. Davon ausgehend sollen weitere mögliche Studiendesigns aufgezeigt werden, die Rückschlüsse zum Zeitfenster der Offenohrigkeit liefern könnten.

2. Grundlagen der sensorischen Wahrnehmung

Mittels Sehen, Hören, Schmecken, Riechen und Fühlen nimmt der Mensch die Außenwelt auf seine für ihn charakteristische Weise wahr. Jedes der Sinnesorgane perzipiert einen spezifischen Reiztyp, der in Form elektrischer Impulse an das Gehirn weitergeleitet, mit anderen Reizen verknüpft und verarbeitet wird.

Wilder Penfield entwickelte bereits in den 1920er Jahren eine Technik zur elektrischen Hirnstimulation. Durch Öffnen der Schädeldecke von wachen Patient:innen stellte er bei allen eine Grundstruktur in der Anordnung der Körperteile im Sinne einer Kartierung der Hirnareale fest (Costandi 2015, S. 32–34).

Die sensorische Wahrnehmung läuft im Gehirn nach einem bestimmten Grundbauplan ab, wobei die erste Phase der Wahrnehmung die sensorische Transduktion, die Aufnahme physikalischer Reize aus der Umwelt über spezialisierte sensorische Rezeptoren und deren Umwandlung in elektrische Impulse umfasst (Costandi 2015, S. 24).

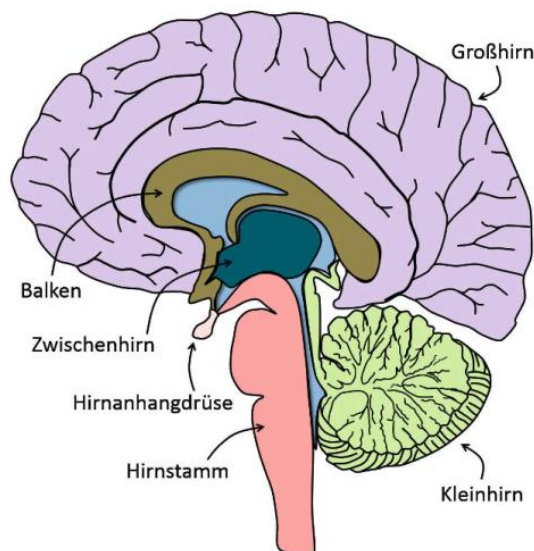


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Gehirnareale (Beck et al. 2018, S. 34).

Das primäre sensorische Rindenfeld dient zur Verarbeitung der Sinneseindrücke und liegt in der hinteren Zentralwindung, dem Gyrus postcentralis, in dem alle Informationen der peripheren Rezeptoren zusammenkommen. Der Informationszufluss erfolgt über aufsteigende Bahnen zum Thalamus, der sich im Zwischenhirn befindet. Es kommt zur Aktivierung weiterer Nervenfasern, den Neuronen, deren Axone – Fortsätze einer Nervenfasers, die Impulse weiterleiten – über die innere Kapsel, der Capsula interna zur hinteren Zentralwindung und

deren Nachbarregionen ziehen. Von dort aus werden die Informationen den entsprechenden Abschnitten zugeordnet. Die Reize von den jeweiligen Sinnesorganen werden speziellen Rindenfeldern zugeordnet, die außerhalb der hinteren Zentralwindung lokalisiert sind. So zum Beispiel befindet sich das Sehzentrum im Hinterhauptslappen des Großhirns, wobei zwischen primärer und sekundärer Sehrinde unterschieden wird. In der primären Sehrinde endet die Sehbahn und in der sekundären Sehrinde erfolgt die Weiterverarbeitung der Bilder. Das Hörzentrum, der sogenannte auditive Cortex und seine assoziierten Felder, liegt im Schläfenlappen des Großhirns. Im primären Hörzentrum, direkt unterhalb der seitlichen Großhirnfurche, endet die Hörbahn. Das sekundäre Hörzentrum dient zur Identifizierung des Gehörten (Schäffler & Schmidt 1995, S. 176–177; Silbernagl & Despopulus 2012, S. 380–381).

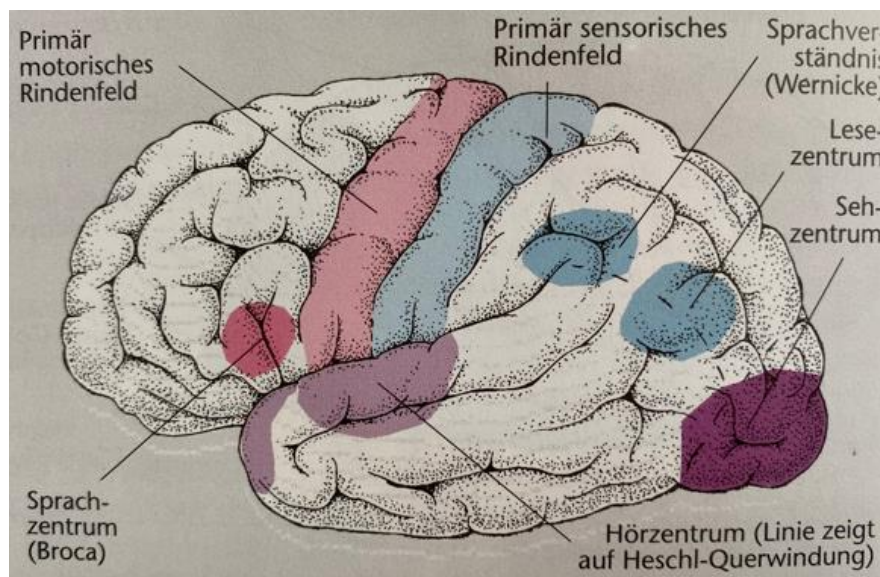


Abbildung 2: Gehirnnareale und ihre Funktionen (Schäffler & Schmidt 1995, S. 176).

2.1. Anatomie und Funktionsweise des menschlichen Gehörs

Das menschliche Gehör gliedert sich in das periphere Hörorgan, bestehend aus Außen-, Mittel- und Innenohr und die zentrale Hörbahn. Im Innenohr befindet sich außerdem der Sitz des Gleichgewichtsorgans. Das periphere Hörorgan dient zur Aufnahme, Weiterleitung, Umwandlung und Verarbeitung akustischer Signale und deren bewusster Wahrnehmung. Schallwellen müssen in elektrische Signale umgewandelt werden, um vom Gehirn verarbeitet werden zu können (Hoth et al. 2014, S. 6). Hierbei müssen folgende Schallqualitäten zur Weiterleitung im Hörnerv codiert werden:

- Schallfrequenzen tonotop, also ortsabhängig entlang der Cochlea, der Hörschnecke, wobei das Zentralnervensystem die Tonhöhe nach Herkunft der Aktionspotentiale

auswertet und peritop, entsprechend der zeitlichen Verteilung der einzelnen Impulse als Information über die Wiederholungsfrequenz beziehungsweise Periodizität der Nervenfeuerrate, auch Periodizitätsanalyse genannt, wobei diese aber nur im unteren Frequenzbereich zum Tragen kommt, da die Sendefrequenz einer einzelnen Nervenzelle 300 Hz kaum überschreitet (Müller et al. 2019, S. 517; Roederer 1995, S. 69),

- Schallintensitäten über den Schalldruck,
- Schallrichtung über die zeitliche Differenz mit der Schallereignisse die Ohren erreichen und deren Intensität,
- Entfernung der Schallquelle dadurch, dass hohe Frequenzen bei der Schallübertragung stärker gedämpft werden als niedrige (Silbernagl & Despopulus 2012, S. 399).

Wie gut Töne wahrgenommen werden können, hängt von ihrer Frequenz ab. Der Hörbereich des menschlichen Gehörs umfasst im Idealfall den Bereich von 20 Hz bis 16 000 Hz (Roederer 1995, S. 117) beziehungsweise 20 000 Hz (Fastl & Zwicker 2007, S. 18).

Der Schall wird über das Außenohr aufgenommen und bis zum Trommelfell weitergeleitet. Dabei kommt dem Außenohr die wichtige Funktion der Richtungswahrnehmung von Schallereignissen zu. Die Ohrmuschel sowie die Form des Kopfes stellen ein Hindernis für den Schall dar. Durch zwei funktionsfähige Ohren ist binaurales Hören möglich, wodurch die Schallwellen je nach Einfallswinkel unterschiedlich aufgenommen werden. Der maximale Unterschied des Einfallswinkels beträgt 90° , wenn sich die Schallquelle in frontalem Einfallswinkel befindet. Der Abstand der Ohren bedingt eine Zeitverzögerung von 0,6 msec. Die gerade noch wahrnehmbare Zeitverzögerung beträgt 50 μ sec, das ermöglicht eine Genauigkeit der Lokalisation von Schallquellen auf fünf Grad (Fastl & Zwicker 2007, S. 293). Die head-related transfer function (HRTF) liefert Auskunft, wie der Schall aus einer bestimmten Richtung auf seinem Weg zum Trommelfell beeinflusst wird (Gelfand 2010, S. 51, 234–238). Binaurales Hören führt auch zu einer verstärkten Wahrnehmung der Lautstärke, was mittels Lautsprechern und Kopfhörern gezeigt werden kann (Fastl & Zwicker 2007, 311–313).

Die Schallleitung ist aufgrund der Form des Gehörgangs und der Ohrmuschel frequenz- und richtungsabhängig. Laufzeit-, Frequenz- und Intensitätsunterschiede werden vom Gehirn verarbeitet, was die Ortung einer Schallquelle ermöglicht. Der Gehörgang wirkt hinsichtlich der Resonanzeigenschaften wie eine gedackte (unten geschlossene) Pfeife, wodurch die Eigenresonanz des Gehörgangs bei einer Frequenz zwischen 2000 und 4000 Hz liegt, was dazu

führt, dass Schallanteile in diesem Frequenzbereich verstärkt werden (Louven & Oehler 2018, S. 505–506). Das Schwingungsverhalten des Trommelfells ist frequenzabhängig, unter 2400 Hz schwingt es als starre Fläche, darüber sind es nur mehr Teile, die in Schwingung versetzt werden. Diese mechanischen Schwingungen werden im Mittelohr über die Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel weitergeleitet und verstärkt. Das Mittelohr fungiert als Impedanzwandler zwischen dem im Außenohr schwingenden Medium Luft und der im Innenohr schwingenden Lymphflüssigkeit. Über die Mittelohrknöchelchen erfolgt eine Impedanzanpassung, wodurch der hohe Schallwiderstand der im Innenohr befindlichen Flüssigkeit durch eine Flächentransformation von etwa 60 mm² des Trommelfells auf etwa 3,5 mm² der Steigbügelplatte und die Hebelwirkung der Gehörknöchelchen überwunden wird. Der Schalldruck ist am ovalen Fenster circa 22-mal größer als am Trommelfell, was aus dem Verhältnis der Fläche Trommelfell zu Steigbügelplatte von 17:1 und dem Verstärkungsfaktor von 1,3 durch die Hebelmechanik der Gelenke resultiert. Beim direkten Übergang zwischen den beiden Medien würden 98 Prozent des Schalls reflektiert werden. Der Musculus tensor tympani und der Musculus stapedius regulieren den Spannungszustand des Schalleitungsapparates (Funk et al. 2012, S. 922; Hoth et al. 2014, S. 8; Müller et al. 2019, S. 511; Silbernagl & Despopulus 2012, S. 386). Durch die Eustachische Röhre ist das Mittelohr mit dem Rachenraum verbunden, wodurch es möglich ist Über- und Unterdruck in der Paukenhöhle auszugleichen (Louven & Oehler 2018, S. 506).

Im Innenohr befindet sich neben dem Gleichgewichts-, Dreh- und Beschleunigungssinn, dem sogenannten Vestibularapparat, die Cochlea, das eigentliche Hörorgan. Dieses besteht aus drei mit Flüssigkeit gefüllten Gangsystemen, der Scala vestibuli, die vom ovalen Fenster ausgeht und der Scala tympani, die durch das runde Fenster den Abschluss zur Paukenhöhle bildet. Beide sind mit Perilymphe gefüllt und gehen an der Schneckenspitze, dem Helicotrema, ineinander über. Zwischen diesen beiden Gängen liegt die mit Endolymphe gefüllte Scala media. In dieser befindet sich das Corti Organ sowie die Tektorialmembran und die Stria vascularis. Letztere dient zur Energiebereitstellung und Produktion von Endolymphe. Die Reissner'sche Membran trennt die Scala vestibularis von der Scala media und die Basilarmembran die Scala media von der Scala tympani (Hoth et al. 2014, S. 6–10).

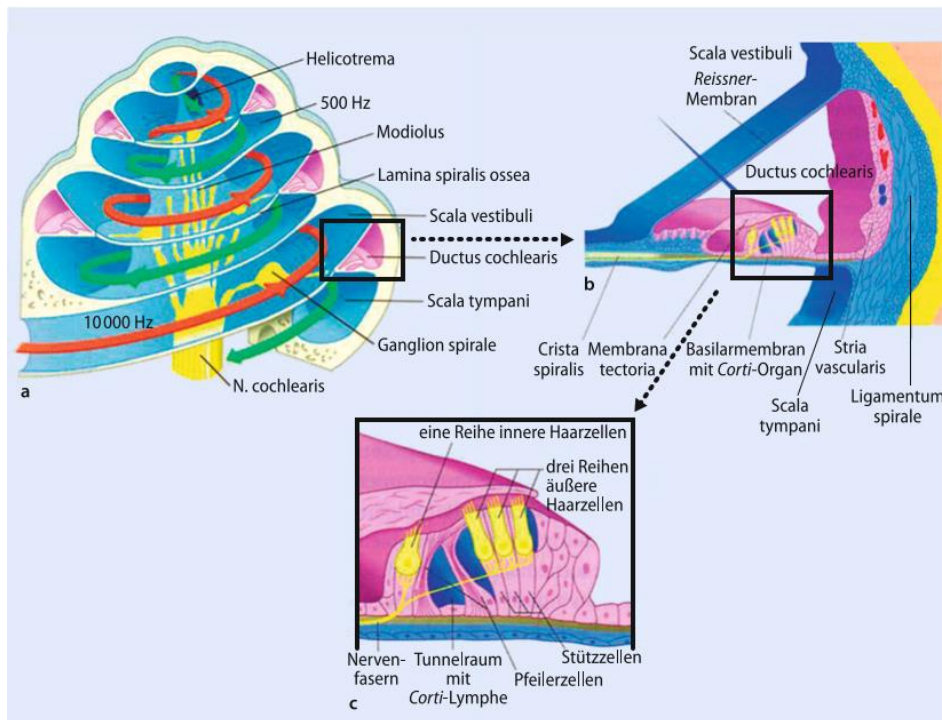


Abbildung 3: a) Querschnitt durch die Schnecke; b) Ausschnitt aus der Scala media; c) Corti Organ in Detailansicht (Hoth et al. 2014, S. 10).

Das Corti Organ, auf dem sich drei Reihen äußere Haarzellen mit etwa 12 000 Haarzellen und eine Reihe innere mit etwa 3500 Haarzellen befinden, liegt auf der Basilarmembran und stellt das eigentliche sensorische Übertragungsorgan dar (Louven & Oehler 2018, S. 506).

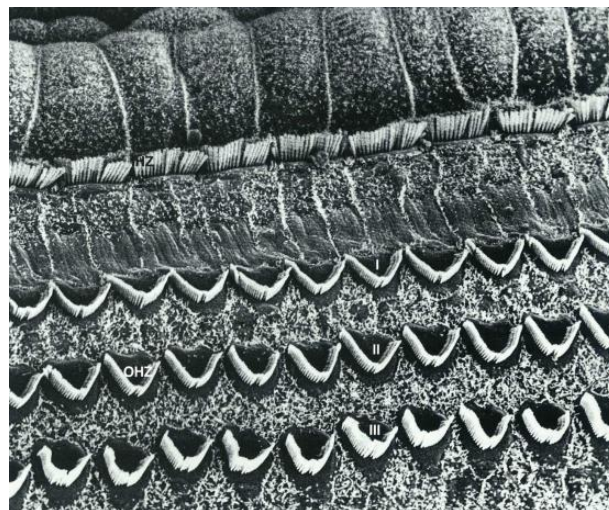


Abbildung 4: Drei Reihen w-förmig angeordnete äußere Haarzellen und eine gerade Linie innere Haarzellen (Reiss et al. 1989, S. 51).

Die Haarzellen tragen an ihrer Oberfläche in regelmäßigen Reihen angeordnete und über molekulare Brücken miteinander verbundene Stereozilien. Versorgt werden diese von Stütz- und Nährzellen. Die über dem Corti Organ liegende Tektorialmembran ist mit den äußeren

Haarzellen in Kontakt. Die Anregung des Corti Organs erfolgt durch aufsteigende (afferente) und absteigende (efferente) Fasern des Hörnervs, der sich mit dem Gleichgewichtsnerv zum Nervus vestibulo-cochlearis, dem VIII. Hirnnerv vereint (Hoth et al. 2014, S. 6–10). Dieser zählt zu den zwölf paarig angelegten Hirnnerven, die oberhalb des Rückenmarks das Zentralnervensystem verlassen. Sie versorgen den Kopf- und Halsbereich sowie einen Großteil der inneren Organe und verbinden alle Sinnesorgane mit dem Gehirn (Schäffler & Schmidt 1995, S. 182). Die Auslenkung der Stereozilien einer Haarzelle in eine Richtung führt zum Auslösen elektrischer Impulse in den Nervenzellen, was auch als „feuern“ bezeichnet wird. Diese Nervenzellen stehen in synaptischem Kontakt mit den Sensorzellen. Die afferenten Fasern des Hörnervs sind die Axone dieser Nervenzellen, deren Aktionspotentiale Informationen über die Bewegung der Basilarmembran zum Zentralnervensystem weiterleiten, wo sie an entsprechender Stelle decodiert werden. Die inneren Haarzellen stehen normalerweise nur mit einer afferenten Nervenfaser in Verbindung, wodurch sie nur Informationen von einem kleinen Bereich der Basilarmembran aufnehmen. Durch die hohe Zahl an Nervenendigungen entfällt auf sie der Hauptanteil der Sinneswahrnehmung. Anders verhält es sich bei den äußeren Haarzellen, wo eine afferente Nervenfaser mit bis zu 50 Sensoreinheiten in Verbindung steht, was dazu führt, dass eine Nervenfaser Informationen aus einem breiten Resonanzspektrum zur Verarbeitung erhält. Die inneren Haarzellen reagieren auf die Geschwindigkeit mit der sich die Basilarmembran bewegt, die äußeren Haarzellen auf die Stärke der Membranauslenkung. Eine Schädigung der äußeren Haarzellen führt bereits zu einer Beeinträchtigung des Hörvermögens (Roederer 1995, S. 66–67).

Laut Wanderwellentheorie nach Georg von Békésy kommt es bei der Anregung der Stapesfußplatte (Steigbügelplatte) zur Ausbreitung einer Wanderwelle in der Cochlea, die in ihren Schwingungseigenschaften durch die Hydrodynamik der Strukturen des Innenohres bestimmt wird. Der eintretende Schall lenkt durch Druckschwankungen die Basilarmembran aus. Diese ist am Schneckeneingang nahe des ovalen Fensters schmal und steif, in der Nähe des Helicotremas breit und weich. Bei akustischer Anregung kommt es zu einer Anregung der flüssigkeitsgefüllten Scala media, wobei die Amplitude der Welle langsam bis zu einem Maximum ansteigt, um dann abrupt abzunehmen. Der Bereich der maximalen Auslenkung ist frequenzabhängig. Hohe Frequenzen werden im Bereich der Schneckenbasis abgebildet und tiefe Frequenzen finden sich im Inneren der Schnecke. Dies ist dadurch bedingt, dass die Eigenfrequenz der Membranabschnitte von der Basis zur Spitze abnimmt, was auf die Abnahme der Steifheit und Zunahme an Stärke der Basilarmembran zurückzuführen ist. Am Punkt der

maximalen Auslenkung endet die Welle, da sie von der Tectorialmembran abgedämpft wird. Dadurch ergibt sich eine Frequenzauflösung nach dem Ortsprinzip (Louven & Oehler 2018, S. 506; Müller et al. 2019, S. 516–517).

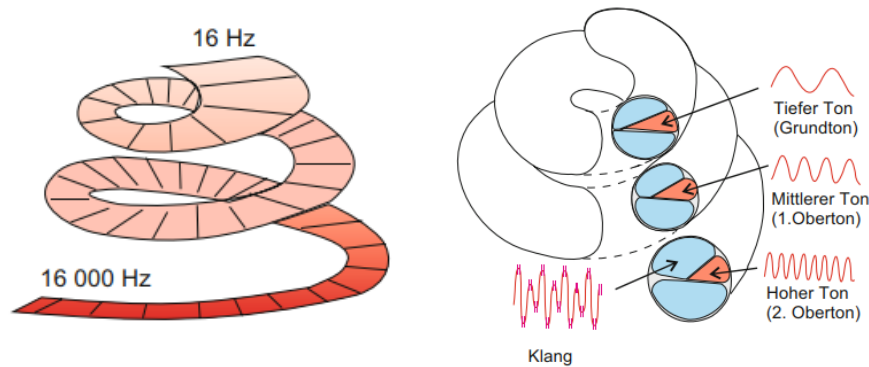


Abbildung 5: Tonotope Frequenzauflösung und Basilarmembranbreite (Müller et al. 2019, S. 515).

Neben dieser passiven Wanderwelle konnten aber über die Motilität der äußeren Haarzellen aktive Prozesse nachgewiesen werden, die eine Erklärung für die hohe Empfindlichkeit und genaue Frequenzauflösung liefern. So ist es möglich Frequenzunterschiede zwischen 1000 und 1003 Hz wahrzunehmen (Silbernagl & Despopulus 2012, S. 390). Die passive Wanderwelle führt zu einer Auf- und Abwärtsbewegung der cochleären Trennwand und einer Abscherung der Stereozilien der Haarzellen an einem für eine bestimmte Frequenz spezifischen Bereich. Die dadurch ausgelösten raschen Schwingungen führen zu einer Verstärkung der passiven Wanderwelle. Eine Erregung kann bis zu 30 000 Schwingungen pro Sekunde führen. Diese Erregung der Sinneszellen löst in den afferenten Hörnervfasern Nervenimpulse aus, die über dendritische Fasern der Nervenzelle übertragen werden. Über das efferente System jedoch sind die Haarzellen auch zu einer langsamen Bewegung fähig. Dieses Steuerungssystem ermöglicht, dass die cochleäre Verstärkung auf die Umgebungslautstärke abgestimmt wird (Hoth et al. 2014, S. 11).

Aufgrund der unterschiedlichen Ionenverteilung in Endolymph und Perilymph kommt es zur Entstehung cochleärer Potentiale. Die Abscherung der äußeren Haarzellen bedingt die Öffnung der Ionenkanäle derselbigen, was zu einem Eindringen von Kaliumionen aus der Endolymph und einer daraus resultierenden Depolarisation der Zelle führt. In weiterer Folge kommt es zur Erregungsausbreitung, Ausschüttung von Transmittersubstanz, die an Synapsen die Erregung von einer Nervenzelle auf die nächste weitergeben und der Entstehung sowie Weiterleitung von

Nervenimpulsen, den sogenannten Aktionspotentialen an den afferenten Hörnervfasern (Hoth et al. 2014, S. 13; Silbernagl & Despopulus 2012, S. 388).

Die von den Haarzellen im Corti-Organ ausgelösten Aktionspotentiale werden an Nervenfasern übermittelt, die sich an der Basis der Haarzellen befinden. Diese Nervenfasern bilden den Nervus cochlearis, der im inneren Gehörgang in den VIII. Hirnnerv, dem Nervus vestibulocochlearis mündet. Die Nervenfasern im Nervus cochlearis sind vorwiegend afferent, um die Informationen der Haarzellen weiterzuleiten, aber zum Teil auch efferent und vom Hirnstamm zur Cochlea absteigend (Gelfand 2010, S. 38). Die Aktionspotentiale gelangen zuerst zu den Schneckenkernen, den Nuclei cochlearis des Cochleariskern-Komplexes. Die sich hier befindenden Zellkörper der Axone lösen ein Aktionspotential in einem zweiten Axon dieser Zelle aus. Dieses Axon leitet die Erregung zum Olivenkomplex, dem sogenannten Nucleus olivaris superior (oberer Olivenkern), einem Kernkomplex der Brücke auf der gegenüberliegenden Hirnhälfte und vice versa, einem Kerngebiet der Brücke unterhalb des Mittelhirns, die eine Umschaltstelle im Hirnstamm bildet (Amthor 2013, S. 51, 108; Schäffler & Schmidt 1995, S. 216). Von hier aus gelangen die Informationen über Schaltstellen in den Colliculus inferior, der sich unter dem Colliculus superior im Mittelhirn befindet. Von dort leiten Nervenzellen die Signale an den Nucleus geniculatus medialis unterhalb des Thalamus, der ein Teil der Hörbahn ist, weiter. Ein weiterer Bestandteil der Hörbahn ist der Lemniscus lateralis (seitliche Schleifenbahn), der Informationen aus dem Nucleus olivaris superior und dem Nucleus cochlearis erhält. Jede Schaltstelle des Nucleus geniculatus medialis bevorzugt ein bestimmtes Frequenzband, das dem entspricht, das aus dem Axon des Schneckenkerns kommt. Im Thalamus wird auch der Aufmerksamkeitsprozess gesteuert, da dieser wie ein Filter arbeitet. So kann es bereits hier zu einer Verstärkung auditiver Informationen kommen. Die Informationen werden über den Nucleus geniculatus medialis zu den oberen Windungen des Temporallappens geleitet, wo sich der primäre auditive Cortex A1 befindet. Dieser wird vom sekundären und tertiären auditiven Cortex umgeben (Gelfand 2010, S. 43; Amthor 2013, S. 108–110). Die Stationen entlang der Hörbahn, die von den Haarzellen des Innenohres bis zur Großhirnrinde geht, sind in der folgenden Abbildung überblicksartig dargestellt (Anzenbacher 2012, S. 35).

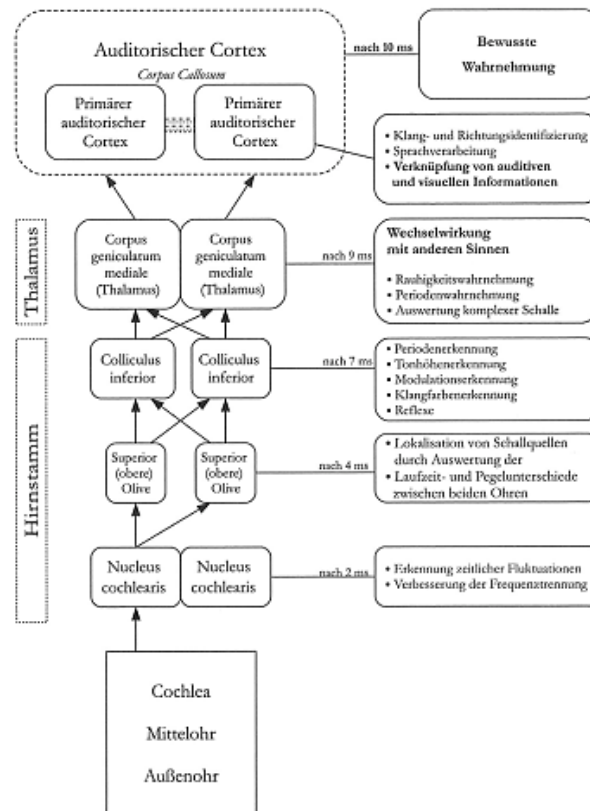


Abbildung 6: Verarbeitungsstationen entlang der Hörbahn eines Ohres (Anzenbacher 2012, S. 35).

Wie im visuellen Cortex erfolgt auch hier eine strenge Ordnung der Bereiche der Informationsverarbeitung und wie in der Basilarmembran findet im primären auditiven Cortex eine tonotope, das heißt nach Frequenzen sortierte Verarbeitung der Informationen statt. Der sekundäre und tertiäre auditive Cortex dient zur Verarbeitung des Gehörten durch Vergleich mit Bekanntem und zur Beurteilung sowie Einordnung des Hörreizes. Dazu zählt beim Menschen auch das Sprachverständnis, für das das Wernicke Areal, das mit dem Broca Areal in Verbindung steht, verantwortlich ist. Das Broca Areal ist ein weiteres Sprachzentrum, das sich im Frontallappen befindet. In der linken Hirnhälfte wird überwiegend die zeitliche Verarbeitung der sprachlichen Informationen vorgenommen und in der rechten Hirnhälfte stehen die Analyse von Musik und Sprache im Vordergrund (Hoth et al. 2014, S. 14; Schäffler & Schmidt 1995, S. 218; Amthor 2013, S. 110–111).

Aus der Vielzahl an Informationen werden biologisch relevante Informationen entnommen und einer kortikalen Beurteilung und Speicherung unterzogen. Dabei ist der Einsatz hemmender Neuronen von großer Bedeutung, um Störschall zu unterdrücken sowie sich bewegende Schallquellen zu lokalisieren. Das efferente System steuert über top-down Prozesse die

Aufmerksamkeit. Um die horizontale Richtung und Entfernung einer Schallquelle richtig beurteilen zu können, bedarf das Gehirn der akustischen Information beider Ohren, was als binaurales Hören bezeichnet wird (vgl. oben). Die Lage des aktivierten aufsteigenden Neurons hängt von der Zeitverschiebung zwischen den Ohren ab und diese ist wiederum von der Richtung des eintreffenden Schalls abhängig. Bereits im Olivenkomplex erfolgen diese, durch eine komplexe Wechselwirkung von anregenden und hemmenden Eingangssignalen codierte wesentlichen Verarbeitungsschritte, die sich aus den Unterschieden in Zeit und Intensität zwischen den Reizen der beiden Ohren ergeben. Durch die hohe Belegung der inneren Haarzellen mit mehr als 20 Nervenfasern pro Haarzelle scheint eine zusammenhängende neuronale Übertragung von Informationen möglich zu sein (Hoth et al. 2014, S. 15; Roederer 1995, S. 73).

Zur Weiterverarbeitung von Tönen zu zusammenhängenden akustischen Ereignissen bedarf es der Bildung sogenannter „auditorischer Gestalten“ durch melodische und rhythmische Gruppierung. Dazu zählt unter anderem auch die Verarbeitung von Tonhöhen-Relationen zwischen den Tönen eines Akkordes, was eine Unterscheidung zwischen Dur- und Mollakkorden zulässt. Das Planum temporale (vgl. Abbildung 7) ist wesentlich an dieser Gestaltsbildung beteiligt. Für die „musikalische Syntax“, das Herstellen von Zusammenhängen zwischen Einzelelementen der musikalischen Struktur, welches einem Regelsystem unterliegt, deren Wissen sowohl bei Musiker:innen als auch Nichtmusiker:innen aus den Hörerfahrungen stammt, ist unter anderem der inferiore frontolaterale Cortex (vgl. Abbildung 7) verantwortlich. Mit einer Wirkung auf das vegetative Nervensystem kann vermutlich der parietale Assoziations-Cortex (vgl. Abbildung 7) in Zusammenhang gebracht werden (Koelsch & Schröger 2018, S. 467–476).

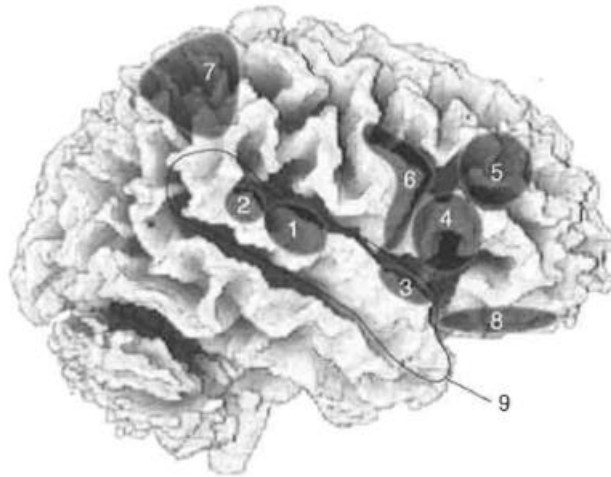


Abbildung 7: Für die Verarbeitung von Musik wichtige Hirnareale: 1 auditorischer Cortex, 2 Planum temporale, 3 Planum polare, 4 inferior-frontolateraler Cortex, 5 dorsolateral-präfrontaler Cortex, ventrolaterale-prämotorischer Cortex, 7 parietaler Assoziations-Cortex, 8 orbitofrontaler Cortex, 9 Gyrus temporalis superior (Koelsch & Schröger 2018, S. 467).

Koelsch weist, bezugnehmend auf zahlreiche Studien, darauf hin, dass Musikalität eine natürliche Fähigkeit des menschlichen Gehirns sein dürfte, da sich keine Unterschiede zwischen Musiker:innen und Nichtmusiker:innen hinsichtlich der Musikverarbeitungsprozesse, die sich nur quantitativ, aber nicht qualitativ voneinander unterscheiden, nachweisen ließen (Koelsch & Schröger 2018, S. 480).

2.2. Anatomie und Funktionsweise des menschliche Sehsinns

Die mit Fettgewebe ausgekleidete Augenhöhle schützt den Augapfel, der von sechs äußeren Augenmuskeln bewegt wird. Der Augapfel selbst wird von drei Schichten aufgebaut. Zur äußeren Schicht gehört die Lederhaut (Sklera) und die Hornhaut (Cornea). Die Lederhaut umgibt als Bindegewebshülle den gesamten Augapfel und verleiht ihm Festigkeit. Im vorderen Bereich mündet sie in die durchsichtige und gefäßlose Hornhaut, die von der schützenden Bindehaut, der Conjunctiva bedeckt wird. Im hinteren Bereich des Augapfels, an der Austrittsstelle des Sehnervs, geht sie in die harte Hirnhaut, die Duraschicht, über. Durch die Hornhaut tritt Licht in das Innere des Auges. Die an der Lederhaut anliegende schwarz pigmentierte Aderhaut, die sogenannte Chorioidea, der beiderseits daran schließende Ziliarkörper und die Regenbogenhaut, auch Iris bezeichnet, sind Teile der mittleren Augenhaut. Die Iris liegt an der Übergangszone, dem sogenannten Limbus, zwischen Hornhaut und Lederhaut. Sie bestimmt durch Pigmenteinlagerungen die Augenfarbe (Rogers 2011, S. 18–19). Die einfallenden Lichtstrahlen werden nach dem Erreichen der Netzhaut von der Aderhaut

absorbiert, um Lichtreflexionen innerhalb des Augapfels zu verhindern. Der Ziliarkörper hält durch Fasern seiner Bindegewebsfortsätze die Augenlinse in ihrer Position im Zentrum des Strahlenganges. Der ringförmige Ziliarmuskel steuert über seine Anspannung den Krümmungsgrad der Augenlinse. Hornhaut und Linse werden durch das in der vorderen und hinteren Augenkammer befindliche Kammerwasser ernährt. Als Iris bezeichnet man den sichtbaren und unterschiedlich gefärbten Anteil des Augapfels. In der Mitte der ring- und strahlenförmig angeordneten glatten Muskelfasern befindet sich die Pupille. Die Funktion der Iris kommt der einer Kamerablende gleich, indem sie die Pupillenweite unterschiedlichen Lichtverhältnissen anpasst. Der unwillkürlich arbeitende Parasympathikus zeichnet sich für eine reflektorische Kontraktion der ringförmigen Fasern des Musculus sphincter in der Iris verantwortlich und führt zu einer Verengung der Pupille bei hoher Lichtintensität sowie bei Müdigkeit, um den Lichteinfall zu reduzieren. Dieser Vorgang wird als Miosis bezeichnet. Zu einer Mydriasis, der Erweiterung der Pupille, kommt es durch den Einfluss des Sympathikus, dem Gegenspieler des Parasympathikus, der auf die radiären Muskelfasern der Iris wirkt und den Musculus dilatator pupillae kontrahiert (Schäffler & Schmidt 1995, S. 208–209; Silbernagl & Despopulus 2012, S. 380). Die innere Augenhaut wird von der Netzhaut, der sogenannten Retina, mit den Sinnesrezeptoren und dem Pigmentepithel gebildet, das die Netzhaut umhüllt (Schäffler & Schmidt 1995, S. 208–209).

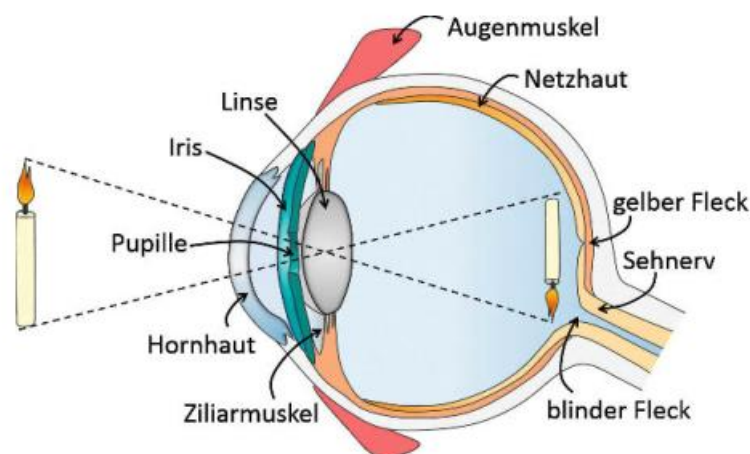


Abbildung 8: Beschaffenheit des Augapfels (Beck et al. 2018, S. 148).

Unterschiedliche auf der Netzhaut positionierte Arten von Photorezeptoren reagieren empfindlich auf Photonen (Lichtteilchen). Durch den Einfall von Licht kommt es zu biochemischen Reaktionen in den Photorezeptoren, die diese Signale an die Zellen in der Netzhaut weiterleiten und einer ersten Verarbeitung unterziehen. An der Austrittsstelle des

Sehnervs, der für die Informationsweiterleitung verantwortlich ist, befinden sich keine Zapfen und Stäbchen. Hier erfolgt weder die Aufnahme noch die Umwandlung optischer Signale, daher wird diese Stelle auch als blinder Fleck bezeichnet (Schäffler & Schmidt 1995, S. 210). Der blinde Fleck des einen Auges wird durch die Informationen des anderen Auges ausgeglichen (Silbernagl & Despopulus 2012, S. 380).

Der optische Apparat funktioniert wie ein zusammengesetztes Linsensystem und besteht aus der Hornhaut, durch die Licht als gequantelte elektromagnetische Schwingungen eintritt und durch das Kammerwasser, die Linse und den Glaskörper zur Netzhaut gelangt. Auf der Netzhaut entsteht aufgrund dieser vier lichtbrechenden Medien ein umgekehrtes und verkleinertes Spiegelbild (vgl. Abbildung 8) (Beck et al. 2018, S. 148; Schäffler & Schmidt 1995, S. 211). Das Licht wird in den Photorezeptoren durch den Sehfärbstoff Rhodopsin aufgefangen (Schor & Miller 2011, S. 8). Dieses Rhodopsin ist in den Stäbchen und Zapfen eingebaut, die sich durch ihr Absorptionsspektrum unterscheiden. Stäbchen kommen mit einer geringeren Lichtintensität aus, Zapfen hingegen brauchen eine hohe Lichtintensität, können aber helles Licht und Farben wahrnehmen (Funk et al. 2012, S. 890). Die Zapfen befinden sich vorwiegend im Bereich der optischen Achse im Zentrum der Netzhaut, dem gelben Fleck, dessen Vertiefung als Fovea centralis bezeichnet wird und den Ort des schärfsten Sehens darstellt, da die einfallenden Lichtstrahlen auf eine hohe Dichte von Zapfen auftreffen und am genauesten abgebildet werden. Somit sind die Zapfen nicht nur für das Farbsehen, sondern auch für genaue Abbildungen verantwortlich, wofür sie aber eine gewisse Helligkeit benötigen (Rogers 2011, S. 32–37). In der Dämmerung können Farben daher nicht ausreichend erkannt werden, jedoch werden die Stäbchen aktiv, durch die verschiedene Grautöne und schemenhafte Abbildungen wahrgenommen werden können. Die Konzentration der Stäbchen nimmt von der Fovea centralis, in der sich keine Stäbchen befinden, gegen den Netzhautrand hin zu. Die Konzentration des Rhodopsin in den Photorezeptoren ist in der Lage, sich an die bestehenden Lichtverhältnisse anzupassen. Aufgabe der Linse ist es mit ihrer Brechkraft das einfallende Licht auf der Netzhaut zu einem scharfen Bild zu bündeln. Dieser gefäßlose, durchsichtige, bereits konvex geformte Körper aus Proteinfasern wird von einer Bindegewebskapsel umgeben (Schäffler & Schmidt 1995, S. 210–211).

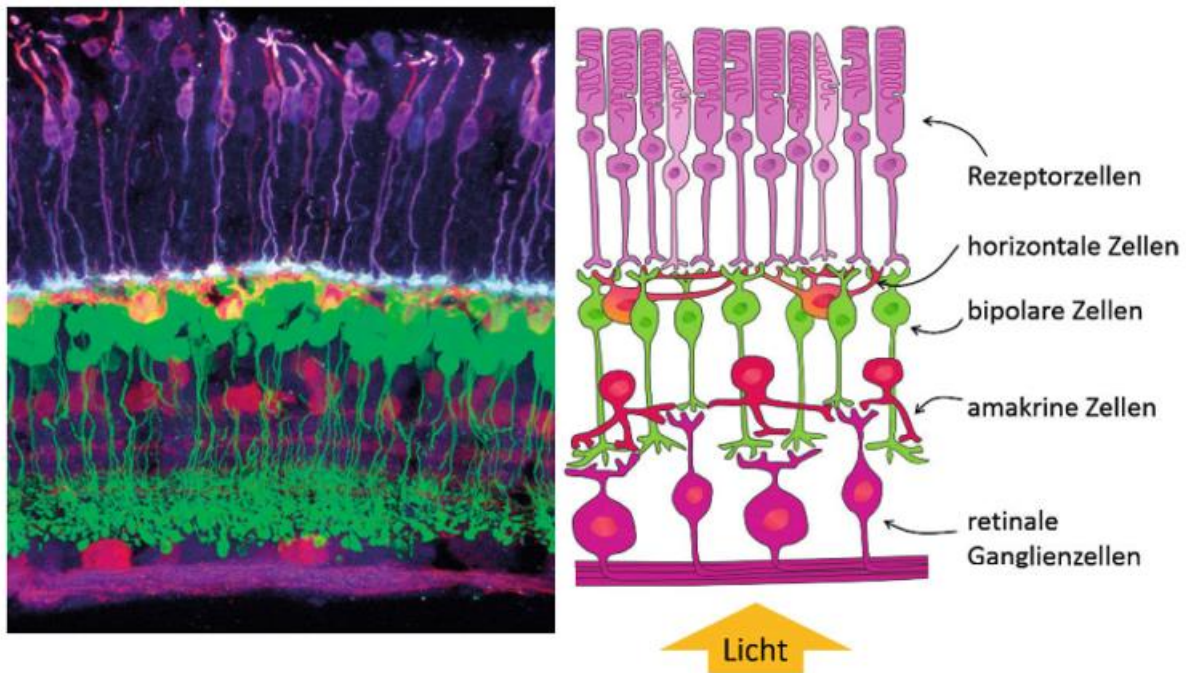


Abbildung 9: Querschnitt durch die Netzhaut sowie deren schematische Darstellung (Beck et al. 2018, S. 149).

Die am Rand der Netzhaut liegenden Rezeptorzellen werden durch das einfallende Licht erregt und erzeugen einen Nervenimpuls. Dieser wird über bipolare Zellen zu den retinalen Ganglienzellen geleitet und gelangt von dort zum Sehnerv. Die retinalen Ganglienzellen sind die einzigen Zellen der Netzhaut, die in der Lage sind Aktionspotentiale auszubilden. Zur Signalverstärkung dienen horizontale und amakrine Zellen, wobei letztere eine Umschaltfunktion zwischen Stäbchen und Zapfen haben. Somit besitzen sie eine schalterähnliche Funktion für das Hell- oder Dunkelsehen (Beck et al. 2018, S. 149). Amakrine Zellen sind Nervenzellen in der Netzhaut, die kein Axon besitzen (Funk et al. 2012, S. 889). Die Netzhaut des menschlichen Auges weist in etwa 100 bis 163 Millionen Stäbchen und fünf bis sechs Millionen Zapfen auf, wobei die Zapfendichte in der Fovea centralis circa 150 000/mm² beträgt und in Summe in etwa 450 000 Zapfen in diesem Bereich zu finden sind. Das Rhodopsin ist in hoher Dichte in den Membranstapel der Photorezeptoren eingebaut, wobei sich in den Stäbchen circa 800 bis 1000 Scheiben befinden. Diese sogenannten Disks besitzen etwa 60 000 Rhodopsinmoleküle pro Scheibe. Das macht insgesamt 50 Millionen Rhodopsinmoleküle pro Stäbchen und bis zu sechs Milliarden pro Auge aus, wobei täglich bis zu 100 Scheiben pro Stäbchen erneuert werden. Die Stäbchen haben ein Absorptionsmaximum bei circa 500 nm, dies entspricht dem Bereich „blau-grün“ des Farbspektrums (Müller et al. 2019, S. 664). Bei den Zapfen werden drei Subtypen mit folgenden Absorptionsmaxima unterschieden:

- ca. 430 nm: S-Zapfen (short wavelength, „violett“) mit 6 % des Sehanteils,
- ca. 530 nm: M-Zapfen (medium wavelength, „grün“) mit 31 % des Sehanteils,
- ca. 560 nm: L-Zapfen (long wavelength, „grün-orange“, als „rot“ oder rotempfindlich bezeichnet) mit 63 % des Sehanteils (MacLeish & Makino 2011, S. 417).

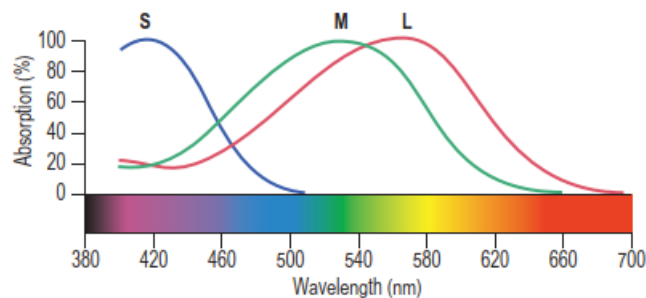


Abbildung 10: Absorptionsspektrum der drei verschiedenen Zapfenarten (Neitz et al. 2011, S. 649).

Rhodopsin ist ein molekularer Komplex aus 11-*cis*-Retinal, dem Aldehyd des Vitamins A, das für das Einfangen der Lichtquanten verantwortlich ist, und dem Skotopsin, einem Membranprotein mit sieben Transmembrandomänen (Müller et al. 2019, S. 663). Als Bestandteil der Photorezeptoren gehört das Skotopsin zur Familie der G-Protein gekoppelten Rezeptoren, deren gemeinsames Merkmal eine 7-Helix-Bündelstruktur ist (Buck & Axel 1991, S. 175-187). Skotopsin liegt in mehreren Isoformen vor, die bestimmen, in welchem Wellenlängenbereich Lichtquanten absorbiert werden. Durch Licht kommt es zur Umwandlung des 11-*cis*-Retinals in das All-*trans*-Retinal, was eine nervale Erregung zur Folge hat (Müller et al. 2019, S. 663–664; Silbernagl & Despopulus 2012, S. 370).

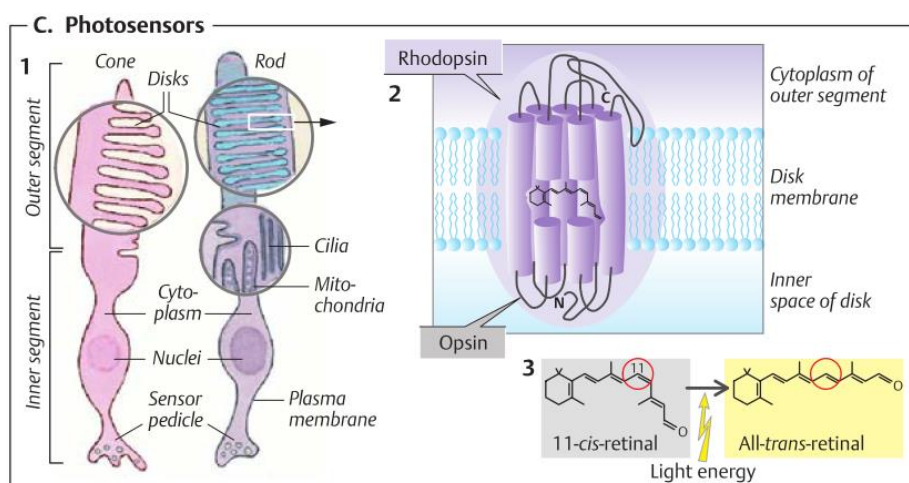


Abbildung 11: 1 Zapfen und Stäbchen, 2 Membranscheibe einer Stäbchenzelle, 3 photochemische Reaktion im Rhodopsin (Silbernagl & Despopulus 2012, S. 370–371).

Bei der Sehinformationsverarbeitung stehen sich einander zwei konkurrierende Theorien gegenüber: Zum einen ist es die trichromatische Theorie nach dem Physiker und Arzt Thomas Young (1773–1829), dem Naturforscher John Dalton (1766–1844), dem Physiker Clerk Maxwell (1831–1879) sowie dem Mediziner und Physiologen Hermann von Helmholtz (1821–1894), die von der Existenz der drei oben angeführten Rezeptoren ausgeht, zum anderen die Gegenfarbentheorie nach dem Physiologen Ewald Hering (1834–1918). Anhand der Theorie nach Young et al. lässt sich auch das Phänomen der Farbenblindheit erklären. Diese beruht auf einem x-chromosomal gekoppelten Gendefekt und führt dazu, dass ein Prozent der Frauen und acht Prozent der Männer von einem Rot-Grün-Defekt betroffen sind (Müller et al. 2019, S. 628). Prinzipiell lassen sich drei Typen an Farbenblindheit unterscheiden:

- **Prot-Anopie:** Ausfall des Rot-Gens (L-Gen) → je nach Helligkeit Verwechslung von Rot mit Grau oder Schwarz;
- **Deuter-Anopie:** Ausfall des Grün-Gens (M-Gen) → Grün wird wie längere Wellenlängen oder Grau gesehen;
- **Trit-Anopie:** Ausfall des Blau-Gens (S-Gen) → Verwechslung von Blau mit Grau oder Schwarz (Müller et al. 2019, S. 627–628, 638).

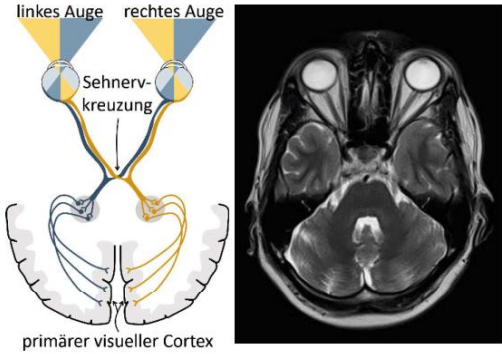
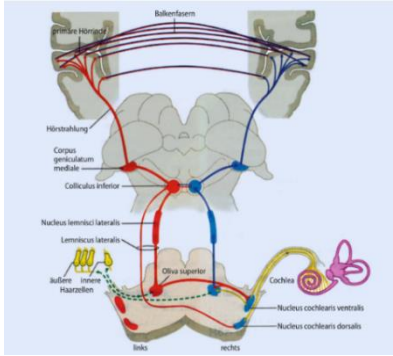
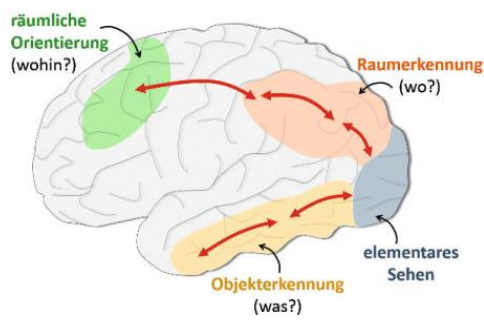
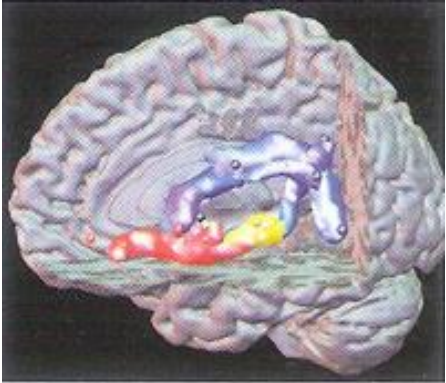
Die Gegenfarbentheorie von Hering geht von den Gegenfarben Rot-Grün und Blau-Gelb aus, die sich gegenseitig auslöschen, auch Schwarz-Weiß stellt ein Gegenpaar dar. Diese Theorie sah er zum einen bestärkt durch die Farbenblindheit sowie die Simultan- und Sukzessivkontraste. Dadurch ließen sich erstmals Komplementärfarben und Simultankontraste erklären. Dieser Denkansatz kommt aber nicht im Bereich der Rezeptoren zum Tragen, sondern erst in der nachgeschalteten Reizverarbeitung in der primären Sehrinde, in der Neuronen antagonistisch auf die Gegenfarbe reagieren (Müller et al. 2019, S. 638–640). Mischt man zwei Gegenfarben miteinander, dann resultiert daraus „unbunt“, meist eine Grau-Nuance. Zu beachten ist aber im Zusammenhang mit Gegenfarben der Umstand, dass die Gegenfarben in Pigmentmischungen (malerischer Farbkreis) und Lichtermischungen (spektrale Farbanordnung) verschieden sind (Frieling 2006, S. 62). Beim Mischen von Pigmentfarben handelt es sich im Wesentlichen um einen subtraktiven Prozess, im Gegensatz zum additiven Prozess bei den Spektralfarben. So reflektiert blaues Pigment hauptsächlich blaues Licht mit Spuren von Grün und absorbiert rotes und gelbes Licht. Gelbe Pigmente reflektieren gelbes sowie Spuren von grünem Licht und absorbieren blaues und rotes Licht. Dies erklärt, warum bei der Mischung von Blau und Gelb alles außer Grün absorbiert wird (Rogers 2011, S. 107).

Nachtblindheit hingegen resultiert daraus, dass sich die Augen nicht rasch genug von hell auf dunkel anpassen können, wodurch es zu einer verminderten Sehleistung bei Dämmerung und in der Nacht kommt. Ursache dafür kann zum einen ein Vitamin A Mangel oder eine vererbte Netzhauterkrankung sein (Rogers 2011, S. 191–192).

Für die Helligkeitsadaption ist die physikalische Adaption der Pupille, der einstellbare Rhodopsingehalt der Stäbchen und Zapfen sowie der funktionelle Wechsel des Photorezeptorentyps verantwortlich. Bipolare Neuronen, die sich im Anschluss an die Zapfen in On- und Off-Bipolare unterteilen, verarbeiten die Informationen, die in weiterer Folge von On-Off Ganglienzellen gesammelt und über den primären Sehnerv in die primären Sehzentren des Gehirns weitergeleitet werden (Müller et al. 2019, S. 664).

Über den Sehnerv werden diese Informationen zum Corpus geniculatum laterale im Thalamus, der als Schaltstelle fungiert, gesendet. Von dort werden alle für die bewusste visuelle Wahrnehmung notwendigen Signale der Netzhaut an den primären visuellen Cortex V1, der sogenannten Sehrinde, einer Region des primären Cortex im hinteren Bereich des Hinterhauptlappens, weitergeleitet (Costandi 2015, S. 25; Casagrande & Ichida 2011, S. 545, 584). Der Corpus geniculatum laterale ist eine wichtige Schaltstelle, die den Fluss und die Stärke der eingehenden Informationen zur Weiterleitung an den primären visuellen Cortex steuert, da etwa 90 Prozent der retinalen Ganglien ihre Signale auf diese übertragen (Matsubara & Boyd 2011, S. 545). Hier verarbeiten Neuronen Grundmerkmale eines Bildes wie zum Beispiel den Kontrast. Diese Information wird in weitere Regionen geschickt, wo zusätzliche Merkmale wie Form, Farbe und Bewegung verknüpft werden (Costandi 2015, S. 25). Die räumliche Anordnung der lichtempfindlichen Stäbchen und Zapfen auf der Netzhaut, die sich in den nachgeschalteten Regionen des Gehirns wieder findet wird als Retinotopie bezeichnet. Diese ist mit dem Prinzip der Tonotopie des Hörsinns vergleichbar. Der Bereich des schärfsten Sehens auf der Netzhaut ist durch ein besonders großes Areal im Gehirn repräsentiert (Beck et al. 2018, S. 152). Der primäre visuelle Cortex V1 ist nicht nur in der Lage Signale an höhere visuelle Bereiche zu übertragen, sondern auch auf Rückkopplungssignale aus diesen Bereichen zu reagieren. Diese dynamische Vernetzung führt dazu, dass nur das weitergeleitet wird, was für eine effiziente Verarbeitung notwendig ist (Casagrande & Marion 2011, S. 597).

2.3. Zusammenfassender Vergleich der beiden sensorischen Einheiten

	Sehsinn	Gehör
Reizquelle	Sichtbares Licht 480 bis 700 nm	Frequenzbereich 16 bis 20 000 Hz
Sensorische Leistungen	- Hell-Dunkel Sehen - Farbsehen - Räumliches Sehen	- Schallfrequenzen - Schallintensität - Schallrichtung - Entfernung der Schallquelle
Theorien zur sensorischen Wahrnehmung	- Trichromatische Theorie - Gegenfarbentheorie	- Wanderwellentheorie - Periodizitätsanalyse
Reizweiterleitung	Nervus ocularis N. II	Nervus vestibulocochlearis N. VIII
Verlauf der weiterleitenden Nerven	 Abbildung 12: Sehnervkreuzung auf dem Weg ins Gehirn (schematische und MRT-Darstellung des menschlichen Gehirns) (Beck et al. 2018, S. 152).	 Abbildung 13: Zentrale Hörbahnen des Menschen (Hoth et al. 2014, S. 14).
Für die Verarbeitung der Reize verantwortlichen Hirnareale	 Abbildung 14: Verarbeitung der optischen Information im Großhirn (Beck et al. 2018, S. 153).	 Abbildung 15: Areale zur Verarbeitung von Musik im Gehirn (Gruhn 2010, S. 41).

Systeme zur Codierung der Informationen	Farbcodierung über drei verschiedene Zapfentypen, die sich in ihren Absorptionskurven überlappen, wodurch Farbnuancen und Helligkeitsdifferenzen wahrgenommen werden können; bei Schwankungen von Wellenlängen im Überlappungsbereich reagieren die jeweiligen Rezeptoren unterschiedlich stark (Müller et al. 2019, S. 625);	Codierung von Tonhöhen durch Arbeitsteilung der Rezeptoren entlang der Cochlea (tiefe Töne in der Schneckenspitze und hohe Töne am Schneckeneingang) und Periodizität. Bestimmung der Lautstärke durch die Frequenz der Aktionspotentiale (vgl. Kapitel 2.1) (Müller et al. 2019, S. 625);
---	---	--

Tabelle 1: Gegenüberstellung der für die beiden Sinnesorgane charakteristischen Funktionsweisen.

3. Die kindliche Entwicklung des Hör- und Sehsinns

Da im Zentrum dieser Arbeit eine Studie mit Kindern im Volksschulalter steht, soll im Folgenden kurz auf die kindliche Entwicklung der beiden Sinnesorgane eingegangen werden.

3.1. Die kindliche Entwicklung des Gehörs

Im Gegensatz zu Außen- und Mittelohr hat das Innenohr des Menschen zum Zeitpunkt der Geburt bereits seine endgültige Größe erreicht. Die Größe der Ohrmuschel sowie das Volumen des äußeren Gehörgangs sind beim Säugling erheblich kleiner, was zu einem Absinken der Resonanzfrequenz von circa 7000 auf 8000 Hz beim Neugeborenen innerhalb der ersten sechs bis acht Lebensjahre auf circa 2500 Hz im Erwachsenenalter führt. So erreichen die Resonanzeigenschaften des äußeren Gehörgangs bereits im frühen Kindesalter die Werte eines Erwachsenen. Starke entwicklungsbedingte Veränderungen wirken sich offensichtlich auf die Schallübertragung aus, wobei diese im Bereich von 250 und 750 Hz am stärksten sind, hingegen zeigen sich im Frequenzbereich von 2000 bis 6000 Hz kaum signifikante Unterschiede im Vergleich von fünf- bis sechsjährigen Kindern mit Erwachsenen (Hoth et al. 2014, S. 16–17).

Das Innenohr des Fötus besitzt bereits in der Mitte der Schwangerschaft seine endgültige Größe. Ab der 24. Schwangerschaftswoche sind die Haarzellen bereits voll funktionsfähig. In der 26. Schwangerschaftswoche erfolgt die synaptische Verknüpfung der inneren Haarzellen und in weiterer Folge die der äußeren Haarzellen mit den afferenten und efferenten Nervenfasern. Diese ist eine wichtige Voraussetzung für die zentrale Hörverarbeitung und die Entwicklung der Hörbahnen. Entsprechend den allgemeinen Gesetzmäßigkeiten der neuronalen Entwicklung kommt es durch schnelle Zellvermehrung zu einer zunehmenden Ausbildung von Axonen, Dendriten und synaptischen Verknüpfungen. Durch eine verstärkte Myelinisierung, der Umhüllung des Axons einer Nervenzelle mit einer Gliazelle, kommt es zu einer Isolation an der entsprechenden Stelle, was eine sprunghafte Erregungsleitung ermöglicht, wodurch in weiterer Folge die Nervenleitungsgeschwindigkeit erhöht wird. Die Differenzierung der Nervenzellen, aber auch der Abbau überflüssiger synaptischer Bindungen sowie die wesentlichen Schritte der Myelinisierung im Bereich des Hirnstammes finden bereits im ersten Lebensjahr statt. Im Bereich des auditorischen Cortex ist diese erst im Erwachsenenalter abgeschlossen, wobei die Zahl der dendritischen Fasern und Synapsen bis zum vierten Lebensjahr massiv zunimmt und sich im Rahmen einer normalen Entwicklung des Hörsinns bis zum 15. Lebensjahr auf die Hälfte reduziert, da es durch Abbau überflüssiger Verbindungen zu

einer Stabilisierung der neuronalen Netze kommt. Zur vollständigen Ausreifung des Gehörs bedarf es einer normalen akustischen Stimulation. Während der Hörbahnreifung gibt es kritische und sensible Phasen der Entwicklung, in der bestimmte Fähigkeiten leicht erworben werden können. Die volle Ausreifung ist an eine normale akustische Stimulation gebunden und kann positiv oder negativ beeinflusst werden. Negative Einflüsse, wie zum Beispiel Mangelernährung, frühkindliche Hörstörungen, Infektionen oder übermäßiger Lärm können auf einzelne Regionen des Nervensystems wirken. Beim Menschen beginnt diese kritische Phase in der 30. Schwangerschaftswoche und endet im Laufe des dritten Lebensjahres (Hoth et al. 2014, S. 17–18).

Die Hörbahnreifung soll im Folgenden anhand der Phasen des Spracherwerbs aufgezeigt werden.

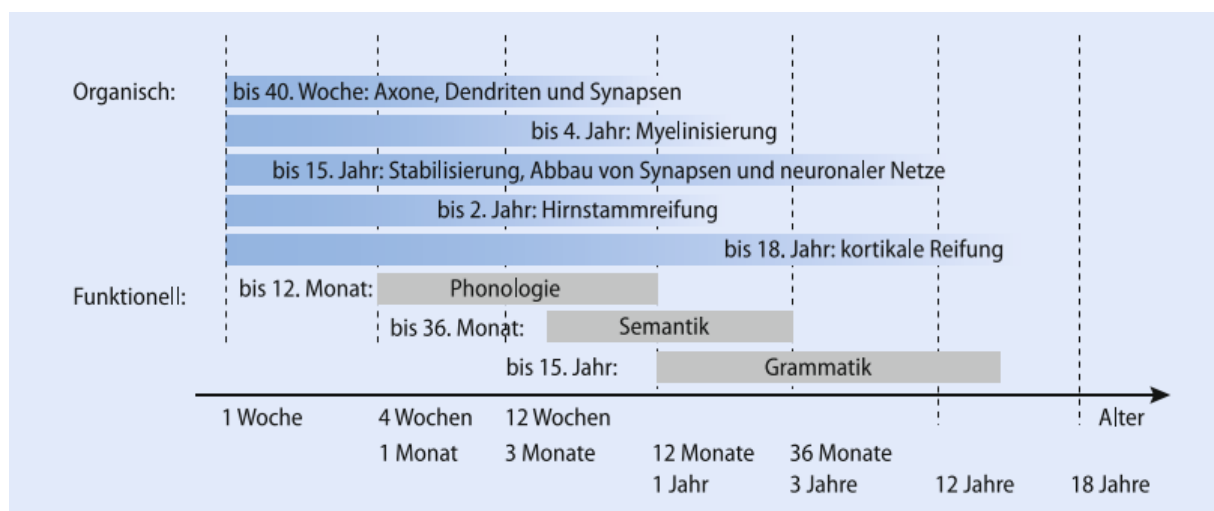


Abbildung 16: Vergleich der Hörbahnreifung mit den sensiblen Phasen des Spracherwerbs beim Menschen (Hoth et al. 2014, S. 18).

3.2. Die kindliche Entwicklung des Sehsinns

Die Größe des Augapfels variiert bei gesunden Menschen minimal und hat eine Größe von circa 24 mm. Beim Neugeborenen beträgt die Größe zwischen 16 und 18 mm und erreicht bis zum 13. Lebensjahr seine volle Größe (Rogers 2011, S. 19). Die Pigmentierung der Iris erfolgt im Normalfall erst zwischen dem vierten und sechsten Lebensmonat. In diesem Zeitraum entsteht im Normalfall auch die Fovea centralis (Funk et al. 2012, S. 876). Die Dichte der Zapfen in der Fovea centralis eines Kindes beträgt nur ein Viertel der eines Erwachsenen. Die Myelinisierung kindlicher Nervenfasern ist geringer als bei Erwachsenen. Dies hat zur Folge, dass nicht alle Informationen zur Verarbeitung in übergeordnete Zentren weitergeleitet werden, was mit einer

schlechteren Auflösung eines Bildes vergleichbar ist. In den ersten drei Lebensmonaten sind Kinder noch nicht in der Lage Farben wahrzunehmen. Im Alter von sechs Wochen aber besitzen Babys bereits die Fähigkeit verschiedene Gesichtsausdrücke zu unterscheiden und mit sechs Monaten können sie ein und dasselbe Gesicht in verschiedenen Positionen wiedererkennen. Ein Baby konzentriert sich schon im Alter von zwei Monaten auf den Blickkontakt mit Erwachsenen und bereits im Alter von zwei Jahren erkennen Kinder Emotionen wie Angst oder Freude aus dem Gesichtsausdruck. Die zu diesem Zeitpunkt noch nicht voll funktionsfähige Retina und eine weniger fortgeschrittene Informationsverarbeitung könnten dazu dienen, einen Überfluss an Informationen zu verhindern, um den Fokus auf das für das Überleben Wesentliche richten zu können (Schor & Miller 2011, S. 3–6). Das kindliche Auge ist in der Lage rasch zu akkomodieren. Mit zunehmenden Alter nimmt diese Fähigkeit aufgrund zunehmender Rigidität der Linse ab (ebd., S. 8). Die Reife der Netzhaut und des primären Cortex haben somit einen wesentlichen Einfluss auf die normale Entwicklung der Wahrnehmung.

Die verschiedenen Sehfunktionen entwickeln sich in Abhängigkeit vom Alter beim Kind unterschiedlich rasch. Die Flimmerempfindlichkeit zum Beispiel, entwickelt sich relativ schnell und erreicht in den ersten sechs Monaten das Niveau eines Erwachsenen, die Rasterschärfe entwickelt sich in den ersten acht Lebensmonaten (Norcia 2011, S. 722). Im Zusammenhang mit der Entwicklung der Vernier-Sehschärfe, auch als Hypersehschärfe bezeichnet, jene Fähigkeit Ausrichtungsfehler im Verhältnis zu einer Referenz zu erkennen, gibt es laut Norcia abweichende Angaben. Einige Forschergruppen gehen davon aus, dass die Sehschärfe im Alter von fünf Jahren bereits mit der von Erwachsenen vergleichbar ist, andere wiederum, dass sie während der frühen Schuljahre noch nicht vollständig ausgebildet ist (ebd., S. 717). Unterschiede in den Entwicklungsphasen einzelner visueller Funktionen hängen vermutlich mit Einschränkungen in verschiedenen Ebenen der visuellen Hierarchie zusammen. So könnte die kritische Unreife, die die Kontrastempfindlichkeit, die Gitterschärfe und zeitliche Auflösung einschränkt, in einem Teil der Sehbahn liegen, welcher die Netzhaut und die frühen kortikalen Sehbereiche umfasst (ebd., S. 722). Da Sehschärfe und Stereosehen bei Erwachsenen sehr kontrastempfindlich sind, kann die Unreife dieser Funktionen wahrscheinlich zum Teil auf die geringere Kontrastempfindlichkeit des Säuglings zurückgeführt werden (ebd., S. 722).

Damit sich der visuelle Cortex entwickeln kann, sind normale Seherfahrungen und eine genaue Abstimmung der Bilder in beiden Augen notwendig. Ein Nichtübereinstimmen binokularer

Bilder wirkt sich maßgeblich auf die Entwicklung des visuellen Systems aus, denn nach dem Öffnen der Augen empfangen die Neuronen der plastischen Sehrinde robuste Signale von beiden Augen, die nicht übereinstimmen. Zu den abnormalen Sehbedingungen, die zu einem binokularen Ungleichgewicht führen können, zählen unter anderem die Sehschwäche eines Auges oder eine Fehlstellung der Augen. Dieses binokulare Ungleichgewicht in den ersten Lebenswochen führt zu binokularen Sehstörungen, die sich unbehandelt zu einer Amblyopie (Schwachsichtigkeit) entwickelt, die mit einer Beeinträchtigung beim Erkennen von Formen und Einschränkungen des räumlichen Sehvermögens einhergeht. Die Signale vom schwächeren Auge werden ausgeblendet, wodurch es zu einer ungleichen Verteilung der Neuronen im primären visuellen Cortex kommt. Der Verlust der Kontrastempfindlichkeit durch monokulares Sehen steht in direktem Zusammenhang mit einer Verminderung der retinalen Abbildungsqualität (Chino 2011, S. 732–733).

3.3. Neuroplastizität

Im Zusammenhang mit der kindlichen Entwicklung soll im Folgenden noch kurz auf die Neuroplastizität eingegangen werden. Eine klare und allgemeine Definition für den Begriff der Neuroplastizität gibt es aktuell noch nicht, jedoch wird er von Neurowissenschaftler:innen als Überbegriff für zahlreiche physische Veränderungen im Gehirn verwendet:

- Neurogenese: Die Bildung neuer Nervenzellen im Gehirn von Ratten konnte bereits nachgewiesen werden.
- Synaptische Plastizität: Darunter versteht man sowohl die Stärkung als auch die Schwächung synaptischer Verbindungen zwischen den Neuronen. Sie manifestiert sich in Form einer Steigerung der synaptischen Übertragung beziehungsweise Verminderung der synaptischen Plastizität.
- Synaptogenese: Diese bezeichnet die Bildung neuer Kontakte zwischen den Neuronen, wobei die Neuronen dendritische Dornen ausbilden, über die die synaptische Übertragung stattfindet (Beck et al. 2018, S. 132–133).

In diesem Zusammenhang scheint es sinnvoll, den Begriff der Neuroplastizität dahingehend anzuwenden, die kindliche Entwicklung in Bezug auf die Bedeutung von Umwelteinflüssen zu erklären, da neue Informationen und Sinneseindrücke zur Erregung der Nervenzellen und zum Knüpfen neuer Verbindungen im Gehirn führen. Synapsen sind in der Lage auf ihre eigene Aktivierung zu reagieren. Bei häufiger Aktivierung nimmt eine Synapse an Größe und Robustheit zu und wird leistungsfähiger. Bei unzureichender Aktivierung können Synapsen

aber auch verschwinden, was eine ständige Optimierung des Nervensystems ermöglicht. Verantwortlich dafür zeichnet sich der Hippocampus, der entscheidet, welche Informationen aus dem Kurzzeitgedächtnis in das Langzeitgedächtnis im Großhirn aufgenommen werden (Beck et al. 2018, S. 210–211). Die neuronale Plastizität ist zwischen dem dritten und vierten Lebensjahr am höchsten, mit dem Beginn der Pubertät nimmt die Synapsendichte ab. Nicht nur diese ist für das frühe Lernen von großer Wichtigkeit, sondern auch wie stark sich einzelne Erfahrungsweisen miteinander vernetzen und zu entsprechend gleichzeitigen Aktivierungen führen können (Gruhn 2010, S. 64–65). Auch bei Erwachsenen dürfte eine gewisse Restplastizität, die mit zunehmendem Alter abnimmt, bestehen (Beck et al. 2018, S. 133).

In der sensiblen Phase der Hörbahnreifung, die beim Menschen bis maximal zum Ende des vierten Lebensjahres dauert, ist die neuronale Plastizität aufgrund der synaptischen Verbindungen zwischen den Nervenzellen sehr hoch. Diese werden aufgrund der länger anhaltenden synaptischen Ströme, verglichen mit Erwachsenen bei akustischer Anregung stabilisiert. Durch Fehlen akustischer Stimuli werden die betroffenen Kontakte wieder abgebaut, was bei Schwerhörigkeit oder Gehörlosigkeit der Fall ist. In der sensiblen Phase der Hörbahnreifung sind auch tiefere kortikale Schichten durch übergeordnete Hirnareale aktivierbar. Ist das neuronale Netz in der späteren Entwicklung nur begrenzt verfügbar, sind diese Defizite auch nur mehr begrenzt kompensierbar (Hoth et al. 2014, S. 18–19).

4. Physikalischer Hintergrund zu Klängen und Farben

Da sich diese Arbeit mit Einzelklangereignissen und deren Zuordnung zu Farben beschäftigt, soll im Folgenden näher auf die physikalischen Merkmale beziehungsweise Kennzahlen der verwendeten Klänge und Farben eingegangen werden.

4.1. Schallwellen und Klangereignisse

Das Trommelfell ist eine Membran, die durch Luftwechseldruck, dem sogenannten Schall, in Schwingung versetzt wird. Schwingungen werden durch die Frequenz, der Anzahl an Schwingungen pro Sekunde, sowie ihrer Amplitude, der Größe der Druckschwankung, bestimmt. 1000 Hz entspricht einem 1000-maligen Hin- und Herschwingen des Trommelfells pro Sekunde. Dieses ist aufgrund seiner Beschaffenheit nämlich dünn und straff gespannt zur Übertragung bestimmter Wellenlängen geeignet (Müller et al. 2019, S. 502–503).

Klänge von Musikinstrumenten oder einer menschlichen Singstimme lassen sich in eine Summe von sich überlagernden Sinusschwingungen auflösen und setzen sich aus der Grundschiwingung auch als Grundton bezeichnet und ihrer ganzzahligen Vielfachen, den Oberschwingungen beziehungsweise Obertönen zusammen. Tonhöhenbestimmend in einem Frequenzgemisch ist die Schwingung mit niedrigster Frequenz, sofern diese nicht schwächer ist als die Oberschwingungen (Müller et al. 2019, S. 503–504). Theoretische Ausführungen finden sich dazu bereits bei von Helmholtz 1863, der Konsonanz von Intervallen durch die Abwesenheit von Schwebungen sowie Rauigkeit zwischen den Intervallen der Obertöne und Dissonanz als Gegenteil dazu, beschreibt (von Helmholtz 1863, S. 275–276, 305). Des Weiteren beschäftigte er sich auch mit der Konsonanz von Akkorden und deren Umlagerungen, betonte aber auch, dass die Grenze zwischen Konsonanz und Dissonanz nicht klar zu ziehen sei und einem historischen Wandel unterläge, was ihn zu seinen Ausführungen über Kombinationstöne (synonym Differenzttöne) veranlasste. Er stellte eine Differenzton-Theorie für die Konsonanz von Akkorden auf (Helmholtz 1863, S. 320–345). Zwicker und Fastl konnten darauf basierend nachweisen, dass diejenigen Akkorde am konsonantesten wahrgenommen werden, deren Kombinationstöne erster und zweiter Ordnung Tonhöhen entsprechen, die bereits im Akkord enthalten sind (Zwicker & Fastl 2007, 275–277). Darauf basierend lassen sich folgende drei Arten der Konsonanztheorie ableiten:

1. Das Fehlen von Rauigkeit: Je weniger rau ein Intervall ist, umso mehr wird es als konsonant wahrgenommen (Wöhrle et al. 2024, S. 2). Die Töne werden nicht

vollständig aufgelöst, da ihre Schwingungsmuster entlang der Basilarmembran interagieren, was aufgrund der schnellen Schwebungen zwischen den beiden Tönen zu einem Gefühl von Rauheit führt. Diese Rauheit wird als unangenehm und dissonant empfunden (Gelfand 2010, S. 223).

2. Differenztontheorie, auf Krueger 1903 zurückgehend: Je mehr die quadratischen und kubischen Differenzöne der Teiltöne eines Akkords oder Intervalls in eine Oktav- oder Quintbeziehung zu einem der Akkordtöne treten, desto konsonanter wird der Klang empfunden (Sandig 1939, S. 34–39).
3. Koinzidenztheorie: Je mehr Teiltöne zweier Töne eines Intervalls zusammenfallen, umso konsonanter wird der Klang empfunden (Wöhrle et al. 2024, S. 2).

Die Lautstärke wird durch die Druckamplitude bestimmt, wobei die empfundene Lautstärke keine lineare, sondern logarithmische Funktion des Schalldruckes ist und die gehörte Lautstärke nicht nur druck- sondern auch frequenzabhängig ist (Müller et al. 2019, S. 505).

Der Begriff der „Klangfarbe“ findet sich bereits bei Hermann von Helmholtz 1863, der diese wie folgt definiert:

„Unter Klangfarbe verstehen wir diejenige Eigenthümlichkeit, wodurch sich der Klang einer Violine von dem einer Flöte, oder Clarinette, oder menschlichen Stimme unterscheidet, wenn alle dieselbe Note, in derselben Tonhöhe hervorbringen“. (von Helmholtz 1863, S. 20).

Laut Carl Stumpf 1890 hängt die Klangfarbe von der Zusammensetzung des Klanges aus Teiltönen sowie darüber hinaus von begleitenden Geräuschen wie Zischen von Luft oder das Reiben des Bogens auf den Saiten ab (Stumpf 1890, S. 516–517). Die American Standards Association von 1960 definiert Klangfarbe als Merkmal eines Schallereignisses, wodurch zwei Klänge bei gleicher Lautheit und Tonhöhe für einen Zuhörer unterscheidbar werden (ASA TERMINOLOGY 1960 nach Reuter 2003, S. 293). Klangfarbe ist multidimensional aufzufassen, wobei sich bei Stumpf die Gegensatzpaare dunkel – hell, stumpf (weich) – scharf (rau) sowie voll – leer finden (Stumpf 1890, S. 530). Grey ermittelt 1977 im Rahmen seiner psychoakustischen Experimente drei Dimensionen zur Beschreibung musikalischer Klänge, die Dimension der Schärfe, die der Synchronizität beziehungsweise Gleichzeitigkeit der Teiltöne beim Einschwingen und ihre Fluktuation im quasistationären Zustand sowie als dritte Dimension das Vorhandensein hoher, unharmonischer Teiltöne mit schwacher Amplitude zur Einleitung des Einschwingvorganges (Grey 1977, S. 1275). Im Zusammenhang mit der Klangfarbe eines Instruments stehen auch die Formanten. So stellt der Formantbereich eines

Klangspektrums ein wesentliches Erkennungsmerkmal der Klangfarbe dar, wenn der Grundton unterhalb des ersten Formantbereichs liegt, sind und lässt sich als einen vom Grundton unabhängigen Frequenzbereich beschreiben, in dem sich die Amplituden der Teiltöne besonders hervorheben (Reuter 1995, S. 232).

Die Klangfarbe ermöglicht Unterschiede zwischen Tönen der gleichen Tonhöhe, Dauer und Lautstärke wahrzunehmen. Entscheidend für die Klangfarbe sind in erster Linie die Teiltöne im Spektrum (Fastl & Zwicker 2007, S. 71). Die Klangfarbe wird von verschiedenen stationären und dynamischen Eigenschaften beeinflusst und diese Teilaspekte lassen sich durch eine Vielzahl von Audiomeerkmalen beschreiben, wobei in weiterer Folge nur auf jene näher eingegangen werden soll, die für diese Arbeit durchgeführte Studie und deren Auswertung von Bedeutung sind (vgl. Kapitel 7.2.2). Dazu zählen unter anderem die Form der spektralen Hüllkurve (glatt oder unregelmäßig) und ob geräuschähnliche, aperiodische Komponenten vorhanden sind. Spektren mit starken Tieffrequenzanteilen werden als dumpf wahrgenommen. Weitere Einflussfaktoren sind die Orte der Resonanzspitzen oder Formanten. Das Fehlen von Teiltönen lässt den Klang hohl erscheinen. Die Änderung der Amplitudenhüllkurve und Spektralkurve mit der Zeit zählen ebenso zu den dynamischen Aspekten wie attack und offset-Charakteristika (Gelfand 2010, S. 227).

4.2. Elektromagnetische Wellen und sichtbares Licht

Das Farbsehen ist die Fähigkeit, Licht verschiedener Wellenlänge unterscheiden zu können. Rein physiologisch betrachtet ist es das Vermögen nicht nur nach dem Muster der Photonenstromdichte, sondern auch nach der örtlichen spektralen Zusammensetzung des Lichtbildes dieses auszuwerten. Farben sind genau genommen ein Konstrukt des Zentralnervensystems auf Basis externer Informationen (Müller et al. 2019, S. 624). Dies erklärt auch, warum Farben individuell unterschiedlich wahrgenommen werden. Das für den Menschen sichtbare Licht ist ein Teil des Spektrums elektromagnetischer Wellen (vgl. Kapitel 2.2) und liegt in dem Wellenbereich, der geeignet ist, bestimmte Moleküle in einen angeregten Zustand zu versetzen, wobei es ganz oder zum Teil von den Molekülen absorbiert wird und die gesehene Farbe mit der Frequenz des Lichtes zusammenhängt. Anders verhält es sich mit der Helligkeit, die in Korrelation mit der Photonenstromdichte gemessen wird (Müller et al. 2019, S. 602).

Farben lassen sich nach verschiedenen Systemen beschreiben. Die zwei in diesem Zusammenhang verwendeten Systeme sind das RGB- und das HSV-Farben-System. Das RGB-System geht auf die trichromatische Theorie von Thomas Young et al. (vgl. Kapitel 2.2) zurück und geht davon aus, dass sich alle wahrgenommenen Farben durch das Zusammenspiel der drei Farbrezeptoren, die für Rot, Grün und Blau stehen, in der Retina ergeben. Somit setzt sich jede Mischfarbe aus diesen drei Anteilen zusammen (Müller et al. 2019, S. 638). Rein theoretisch wären 256^3 Farbkombinationen möglich, da jede der drei Farben eine Abstufung der Stärke von 0 bis 255 einnehmen kann. Daraus ergeben sich 16 777 216 mögliche Farbkombinationen, tatsächlich unterscheidbar sind aber nur 26 000 (Guenther 2012, S. 445). RGB-Farbwerte werden häufig zusammen mit einer sechststelligen Buchstaben- oder Zahlenkombination angegeben (HEX-Code), dessen Werte die Farbbereiche des RGB-Raums als Dezimalzahlen darstellen (Welsch & Liebmann, 2012, S. 347). Das HSV-System charakterisiert eine Farbe nach den drei Kriterien Farbton (Hue), Sättigung (Saturation) und Helligkeit (Value). Der Farbton kann einen Wert zwischen 0 und 360 Grad einnehmen, was aber auch mit Werten von 0 bis 255 angegeben werden kann, wobei dieser für die Position im Farbkreis steht. Die Sättigung, also die Farbintensität, kann einen Wert zwischen 0 und 100 Prozent annehmen und wird durch Zugabe von Schwarz- und Grauteilen vermindert. Auch Anteile der Komplementärfarbe wirken sich auf die Sättigung aus. Diese beschreibt das Verhältnis zwischen Farbe und Grauanteil. Die Helligkeit wird in Prozent angegeben, wobei 0 Prozent für Schwarz und 100 Prozent für Weiß stehen (ebd., 2012, S. 375, 387, 401).

4.3. Die Wirkung von Farben

Farben kommen kulturgeschichtlich bedingt unterschiedliche Bedeutungen zu. Unter anderem beschäftigte sich schon Johann Wolfgang von Goethe mit der Wirkung von Farben hinsichtlich des Auslösens von Stimmungen und Emotionen.

Stellvertretend für viele Bedeutungszuordnungen zu Farben soll für einige in der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studie verwendeten Farbstimuli jene von Frieling und Welsch & Liebmann herangezogen werden (Frieling 2006, S. 32, 67–87, 91–118; Welsch & Liebmann 2012, S. 53–54, 58, 62, 66, 70, 76, 81, 93, 104).

Farbe	Symbolik	(Physiolog.) Wirkung	Redewendungen
Rot	Königlich, Kraft, Mut, Macht (rote Tinte), rote Kleidung stärkt, Liebe, Sinnlichkeit, Hass, Krieg, Signalfarbe;	Puls, Blutdruck, Atemfrequenz und -tiefe steigen, regt Ausschüttung von Adrenalin an;	Rotsehen; Rotes Tuch; der rote Faden; rote Zahlen schreiben;
Rosa	Zurückhaltung, Isolation, zarte Mädchengeburt, Widerschein göttlicher Liebe, Anmut, Überwindung allen Gewalttätigen, Vorstufe zu Rot als Farbe der kleinen Buben;	Bei Mädchen ausgeprägtes Gefühl der Geborgenheit;	Rosa Brille;
Orange	Schwer, warm, irdisch, Ausdruck des Partizipationsbedürfnisses, Farbe der Flammen, Sinn für das Musische, Aktivität, Energie;	Orangeliebhaber zeigen häufig Sinn für Musisches und Handwerk;	
Gelb	Kaiserfarbe in China, Übergang zu Gold, heiter, innere Strahlkraft, lässt Dinge größer wirken, Optimismus, Lebensfreude, steht für Neid Eifersucht, Geiz, Egoismus;	Regt die Motorik an;	Das Gelbe vom Ei; Gelb vor Neid;
Braun	Verdunkeltes Orange, gedämpft, verhalten, steht für Sicherheit, Pflichtbewusstsein;		
Grün	Bei Tageslicht hellste Farbe, Erde, Hoffnung, Unreife, Wachstum, Heilung, Lebendigkeit, Harmonie, Jugend, Gift;	Ausgleichend;	Greenhorn; grün hinter den Ohren; jemanden grün und blau schlagen; sich grün und blau ärgern; ach du grüne Neune; alles im grünen Bereich; dasselbe in Grün; einen grünen Daumen haben; jemanden oder etwas über den grünen Klee loben; auf keinen grünen Zweig kommen; grünes Licht geben;
Blau	Farbe der Könige, vereint Höhe und Ferne, zieht zusammen, Inspiration, Blaue Blume als Symbol der Romantik, rationale Steuerung der Gefühle, sachlich,	Leichte Erhöhung des Blutdrucks bei Hypotonikern, Hemmung der Adrenalinausschüttung,	Blauer Montag (aus der Färberei); ins Blaue (Ferne) fahren; Blau sein; Blau machen; das Blaue vom Himmel lügen;

	Vertrauen, Treue, Sauberkeit, Harmonie, Männlichkeit;	beruhigend, entspannend;	sich grün und blau ärgern; sein blaues Wunder erleben; blauäugig sein; mit einem blauen Auge davonkommen;
Eisblau (hellblau), pastellblau	Entspannung, zart, weiblich, pflegerische Hingabe, Klarheit, Offenheit, Freiheit, Kühle, Distanz;		
Violett	Meditativ, in christlicher Kirche für Passion, Buße, etwas Schicksalhafter;	Neutral;	
Schwarz	Als Nichts definiert, Finsternis – Macht – Schwärze, als Trauerfarbe seit Ludwig XII am burgundischen Hof, wer Schwarz trägt, sondert sich ab (Talar), festliche Eleganz, Schwarz als Ende unten auf der Erde;	Unterton des Protests;	Schwarzer Freitag; Schwarz malen; Schwarz sehen; schwarzer Humor; schwarze Magie; schwarz vor den Augen; schwarzes Schaf; etwas schwarz auf weiß haben; schwarze Zahlen schreiben; warten bis man schwarz wird;
Weiß	Anfang oben im Licht, nicht mehr wirklich, Symbol der Reinheit, Jungfräulichkeit, Entmaterialisierung, Farbe der Gespenster, Klarheit, Kälte, Hygiene, Symbol des Friedens;		Weiß wie die Wand; eine weiße Weste haben; etwas schwarz auf weiß haben; die weiße Fahne hissen; weiße Magie;

Tabelle 2: Symbolik und Wirkung von Farben (nach Frieling 2006, S. 32, 67–87, 91–118; Welsch & Liebmann 2012, S. 53–54, 58, 62, 66, 70, 76, 81, 93, 104).

5. Farbe-Ton-Beziehung

Im Folgenden sollen die Begriffe Synästhesie und crossmodale Korrespondenzen, die häufig in Zusammenhang mit Farbe-Ton-Beziehung gebracht werden, erläutert und gegeneinander abgegrenzt werden.

5.1. Historischer Hintergrund zur Farbe-Ton-Beziehung

Nachweisbare Farbenlehren finden sich bereits in der griechischen Antike, wo auch bereits Farb- und Tonfolgen aufgestellt wurden, die siebenteilig waren und in Analogie zu den sieben Planeten standen. Die Farben wurden wie folgt nach Helligkeit geordnet: Weiß, Gelb, Rot, Purpur, Grün, Blau und Schwarz (Jewanski 1999, S. 157). Aristoteles Farbenlehre, im Rahmen derer er Konsonanzen von Tonintervallen konkrete Farben zuordnete, wurde bis ins 17. Jahrhundert vertreten (ebd., S. 162–191).

Historisch gesehen steht der Synästhesie-Begriff in engem Zusammenhang mit der Farbe-Ton-Beziehung. Athanasius Kircher beschäftigte sich bereits Mitte des 17. Jahrhunderts neben der Affektenlehre, die davon ausgeht, dass Musik Gemütszustände und Emotionen auslösen oder beeinflussen kann, auch mit dem menschlichen Ohr und der Schallübertragung sowie mit der Farbenlehre und der Farbe-Ton-Beziehung (Fransen 1991, S. 19; Wellek 1931, S. 554–557). Durch Kircher angeregt, suchte Isaac Newton, ein englischer Physiker, Astronom und Mathematiker, nach Beziehungen zwischen Farben und Tönen, die er in seiner Schrift *Opticks* festhielt. Er kam 1672 zu der Erkenntnis, dass die Farbproportionen des Spektrums den Proportionen der Teiltöne entsprechen und erkannte die Vergleichbarkeit der Teiltonreihe mit den Brechungsverhältnissen im Prisma. Er ordnete jedem Intervall eine Farbbreite im Spektrum zu und folgerte daraus, dass jedem Tonintervall einer Melodie eine Farbe zugeordnet werden kann (Newton 1670–1672 (1984), S. 538–542, nach Jewanski 1999, S. 233–236).

Der im 18. Jahrhundert lebende Jesuitenpater Louis-Bertrand Castel befasste sich mit der Umsetzung der Farbe-Ton-Beziehung im Zusammenhang mit seinem Clavecin oculaire, dem Augenklavier. Zu diesem Zweck ordnete er den Farben nicht mehr einzelne Intervalle, sondern einzelne Töne zu (Jewanski 1999, S. 200). Castel ordnete tiefe Töne im langwelligen Frequenzbereich und hohe Töne im kurzwelligen Frequenzbereich ein, was einer Umkehrung der Farbskala nach Newton bedeutete. Die dunkelste Farbe entsprach somit dem tiefsten Ton (Jewanski 1999, S. 298; Jewanski 2010, S. 846).

Auch nach Castel beschäftigte die Farbe-Ton-Beziehung noch zahlreiche Künstler:innen und Erfinder:innen. Erwähnt seien in diesem Zusammenhang die Farborgeln von Bainbridge Bishop, für die er 1874 ein Patent erhielt und jene von Alexander Wallace Rimington, die er im Rahmen eines Konzertes 1895 in London vorstellte sowie Mary Hallock-Greenewalts Sarabet, eine Farborgel zur Steuerung der Lichtintensität und -farbe aus dem Jahr 1924 (Whyte 2019, S. 74–83, 129–131).

5.2. Synästhesien versus crossmodale Korrespondenzen

Der heutige Synästhesie-Begriff bedarf einer deutlichen Abgrenzung zu den crossmodalen Korrespondenzen und den Assoziationen, die in diesem Zusammenhang als bewusste oder unbewusste Verknüpfungen einfacher Elemente zu verstehen sind. Der Begriff Synästhesie leitet sich aus dem altgriechischen Wort synaisthesis her und bedeutet so viel wie „gemeinsame Empfindung“ (Beck 2018, S. 220). Es gibt viele Arten der Synästhesie, aber allen gemeinsam ist, dass es zu einer Verschmelzung zweier konkreter Empfindungen kommt. Diese Verknüpfungen werden in frühem Alter ausgebildet und bleiben über Jahrzehnte stabil (Brang & Ramachandran 2020, S. 259). Ein Reiz wird zusätzlich in einer anderen Sinnesmodalität wahrgenommen wie zum Beispiel das Farbenhören, bei dem zusätzlich zum auditiven Reiz auch ein visueller Reiz wahrgenommen wird (Haverkamp 2006, S. 39). Laut aktuellen Forschungsberichten geht man davon aus, dass nicht Sinnesempfindungen verknüpft werden, sondern vielmehr Bedeutungskonzepte. Das menschliche Gehirn scheint demnach Sinneseindrücken Bedeutungskonzepte zuzuordnen und die Außenwelt zu kategorisieren. Dieses Denkprinzip wird in der Wissenschaft als Ideästhesie bezeichnet. Somit wäre Synästhesie keine „Fehlverknüpfung“ von Sinnesregionen, sondern eine ungewöhnliche Anwendung des „Konzept-Denkens“ auf gewöhnliche Sinneseindrücke, wobei die Verknüpfung vermutlich übermäßig stark zwischen zwei Sinnesreizen ablaufen dürfte (Beck 2018, S. 221).

Die crossmodale Korrespondenz hingegen ist ein Phänomen, durch das Signale von einer Sinnesmodalität die Verarbeitung von Informationen einer anderen beeinflussen können. Eine der ersten beschriebenen crossmodalen Korrespondenz war der bouba-kiki Effekt. Diese zwei Phantasiewörter sollten einer runden und einer eckigen Form zugeordnet werden. Unabhängig von der Sprache kam es zu einer Verknüpfung von „bouba“ mit der runden Form und „kiki“ mit der eckigen Form (Ramachandran & Hubbard 2001a, b nach Brang & Ramachandran 2020, S. 262–263). Ein weiteres berühmtes Beispiel für dieses Phänomen ist der "McGurk"-Effekt,

bei dem das auditive Phonem "ba" als "da" wahrgenommen wird, wenn es mit den visuellen Reizen der Lippenbewegungen beim Aussprechen von "ga" gepaart wird. Die Ideen hinter der intermodalen Interaktion beruhen auf Fortschritte in der kognitiven Neurowissenschaft, insbesondere deren neuen Erkenntnissen über die Plastizität des Gehirns und die sensorische Substitution, die sich auf die Fähigkeit des Gehirns beziehen. Dadurch können die Funktionen eines bestimmten Sinnes durch eine andere Sinnesmodalität ersetzt werden. Das Interesse an der Untersuchung dieser Arten von intermodalen Interaktionen zwischen sensorischen Informationen und deren Auswirkungen auf zum Beispiel die Gestaltung von Benutzeroberflächen nimmt stark zu (Metatla et al. 2019, S. 3; Brang & Ramachandran 2020, S. 263–264).

Der Begriff crossmodale Korrespondenz wird häufig verwendet, um nicht willkürliche Assoziationen, die zwischen verschiedenen Modalitäten bestehen, zu beschreiben. Studien fanden beispielsweise modalübergreifende Korrespondenzen zwischen hohen Tönen und hellen, kleinen Objekten, die räumlich höher angeordnet waren, sowie tiefen Tönen und dunkleren, größeren Objekten, die sich an tieferen Positionen im Raum befanden (Metatla et al. 2019, S. 3).

Im Folgenden sollen einige wesentliche Merkmale der Synästhesie und crossmodaler Korrespondenz gegenübergestellt werden, wobei trotz gewisser Ähnlichkeiten crossmodale Korrespondenzen nicht als Form einer „schwachen Synästhesie“ aufzufassen sind, auch wenn eine zunehmende Tendenz zur Verschmelzung der beiden Begriffe besteht (Deroy & Spence 2013, S. 658–659).

In diesem Zusammenhang soll die neonatale Synästhesie-Hypothese nicht unerwähnt bleiben: Diese geht davon aus, dass alle Säuglinge eine Form der Synästhesie erfahren, diese intersensorischen Wahrnehmungen jedoch bei den meisten Kindern durch erfahrungsabhängige neuronale Veränderungen im Laufe ihrer Entwicklung von der Kindheit bis zum Erwachsenenalter weitgehend verschwinden. Es konnte gezeigt werden, dass Säuglinge und Kleinkinder eine funktionelle stark ausgeprägte Vernetzung (Hyperkonnektivität) zwischen den Sinnen aufweisen, die den modalübergreifenden Assoziationen ähneln, welche bei Erwachsenen mit Synästhesien auftreten. Forschungsergebnisse stützen die Hypothese, dass alle Menschen als Säuglinge so etwas wie Synästhesie erleben, wobei Reste dieser

modalübergreifenden Assoziationen auch noch bei Erwachsenen beobachtbar sind, explizit bei Synästhetiker:innen oder implizit bei allen anderen (Maurer et al. 2013, S. 48, 58).

Merkmale	Synästhesie	Crossmodale Korrespondenz
Auslösung	reizbedingt, spontan und automatisch, nicht erklärbar durch regelmäßige Konfrontation;	fragebedingt, mäßig automatisch, erklärbar durch regelmäßige Konfrontation;
Verarbeitung und Zuordnung	bewusst, absolute Zuordnung (kontextunabhängig), passiv, starr;	unbewusst, relative Zuordnung (kontextabhängig), aktiv, formbar;
Überprüfbarkeit und Deutbarkeit	nicht überprüfbar, idiosynkratisch	zum Teil überprüfbar, idiosynkratisch bis universell
Beständigkeit	intrapersonale Varianz klein, interpersonale Varianz groß;	intrapersonale Varianz mittel- groß bis groß, interpersonale Varianz klein bis mittelgroß;
Vorkommen	selten;	häufig;
Verortung im Gehirn	linkshemisphärisch (?);	rechtshemisphärisch;
Funktionsweise	nicht vollständig geklärt, unidirektional;	weitgehend erklärbar, bidirektional;
Verknüpfung der Sinnesreize	starr, stabil;	formbar;

Tabelle 3: Merkmale der Synästhesie und crossmodaler Korrespondenz im Vergleich (Behne 1991, S. 114 nach Deroy & Spence 2013, S. 658–659).

Zahlreiche Studien setzten sich mit crossmodalen Korrespondenzen in der frühkindlichen Entwicklung auseinander. Simpson et al. führten bereits 1956 eine Studie mit 995 Kindern der dritten bis sechsten Schulstufe einer öffentlichen Schule durch, das dürfte einem Alter der Kinder von circa acht bis zwölf Jahren entsprechen, um der Frage nachzugehen, ob Kinder bestimmte Farben bevorzugt einer Tonhöhe zuordnen. Die Aufgabe der Kinder war es, den sechs Spektralfarben sechs verschiedene reine Tonfrequenzen im Bereich von 125 bis 12 000 Hz mit einer Lautstärke von 40 dB zuzuordnen (Simpson et al. 1956, S. 96–97). Es zeigten sich deutliche Tonhöhen-Farbton-Assoziationen. Gelb und Grün wurden am häufigsten für höhere Tonfrequenzen gewählt, Rot und Orange für mittelhohe Töne sowie Blau und Violett für niedrige Tonfrequenzen. Eine Erhöhung der Lautstärke um 10 dB verstärkte den Unterschied zwischen den Gruppen Gelb/Grün und Violett/Blau. Die Feststellung eindeutiger Tonhöhen-Farbton-Assoziationen bei Kindern, unabhängig von einem musikalischen Kontext, wird als Unterstützung für die Ansicht interpretiert, dass genetisch bedingte Veranlagungen dafür

bestehen, dass bestimmte Töne und Farbtöne selektiv mit bestimmten Stimmungszuständen wahrgenommen werden und Farben und Töne indirekt miteinander in Beziehung gesetzt werden. Es wird davon ausgegangen, dass kulturelle Konventionen in Bezug auf Farb-Stimmung und Tonhöhen-Stimmung zum Teil durch diese Veranlagungen bestimmt werden und diese bei akkulturierten Personen sekundär verstärken. Um diese Interpretation zu bestätigen, müsste interkulturelle Einheitlichkeit in den Farbassoziationen von Kindern mit reinen Tonfrequenzen festgestellt werden (Simpson et al. 1956, S. 100–103).

Smith und Sera führten 1992 Studien an Kindern zwischen zwei und fünf Jahren sowie erwachsenen Personen durch, wobei die Entwicklungsdynamik von der Verknüpfung der polaren Begriffe, Größe, Lautstärke und achromatischer Farbe wie Schwarz, Weiß und Grauschattierungen untersucht wurde. In diesem Zusammenhang ist polar im Sinne der Existenz zweier Pole mit entgegengesetzten Eigenschaften zu verstehen. Schwerpunkt der Studie ist die Auseinandersetzung mit der Entwicklung und Ausprägung von unterschiedlichen Wahrnehmungsdimensionen aus der Sicht der kognitiven Psychologie. Dennoch liefert sie interessante Erkenntnisse und Erklärungsansätze hinsichtlich crossmodaler Korrespondenzen. Im Zusammenhang mit achromatischer Farbe werden Helligkeit (Beleuchtung) und achromatische Farbe selbst (beziehungsweise Oberflächendunkelheit) als unterschiedliche Wahrnehmungsdimensionen beschrieben. Erwachsene ordnen in modalübergreifenden Zuordnungsexperimenten helles Licht konsistent lauten Geräuschen und gedämpftes Licht leisen Geräuschen zu. Dunkle Grautöne werden jedoch nicht konsistent mit lauten Geräuschen und helle Grautöne nicht automatisch mit leisen Geräuschen assoziiert. Der Begriff „Dunkelheit“ wird für achromatische Farben und „Helligkeit“ für Beleuchtung verwendet. Die Experimente untersuchten nur achromatische Farben, das entspricht Dunkelheit, sowie Größe und Lautstärke, wobei je nach Forschungsfrage unterschiedliche visuelle und akustische Stimuli verwendet wurden (Smith & Sera 1992, S. 103).

Die wichtigsten Ergebnisse ihrer Experimente lauten wie folgt:

- Die Zuordnung der Dimensionen ändert sich mit der sprachlichen Entwicklung und das Entwicklungsmuster ist für verschiedene Dimensionen unterschiedlich. Die dimensionsübergreifende Ähnlichkeit ändert sich ebenfalls mit der Entwicklung. Experimente deuten auf ein unidirektionales Wachstum der Ähnlichkeit von Größen und Lautstärken hin. Mit der Entwicklung wird das Große zum Lauten und das Kleine zum Leisen.

- Im Gegensatz dazu sind die Entwicklungsänderungen der Ähnlichkeiten von Größen und Dunkelheiten nicht unidirektional. Zu Beginn der Entwicklung ist „groß“ wie „dunkel“ und „klein“ wie Licht, aber diese dimensionsübergreifende Ähnlichkeit kann sich bei manchen Individuen mit zunehmendem Alter sogar umkehren. Das zunehmende Verständnis der Kinder für die Wortbedeutungen „laut“ und „leise“ führt zu wahrgenommener Ähnlichkeit zwischen „groß“ und „laut“.
- Die Auflösung der wahrgenommenen Ähnlichkeit zwischen „groß“ und „dunkel“ geschieht gleichzeitig damit, dass Kinder beginnen, die Wörter dunkel und hell zu verstehen, wenn sie sich auf achromatische Farben beziehen.
- Inmitten der variablen Entwicklungsgeschichten spezifischer Dimensionen gibt es eine allgemeine Tendenz zu einer einheitlichen Wahrnehmungs- und lexikalischen Gliederung. Es zeigte sich, dass im Laufe der Entwicklung Wahrnehmungsdimensionen und Bedeutung der Dimensionswörter übereinstimmen.
- Das ausgereifte System der Dimensionen scheint in sich konsistent zu sein. Dimensionsübergreifende Korrespondenzen von Erwachsenen sind transitiv – eine Tatsache, die ein einheitliches System von Dimensionen impliziert. Zusammen mit der Feststellung, dass Wörter und Wahrnehmungen mit der Entwicklung übereinstimmen, deutet dieses Ergebnis darauf hin, dass sich aus den unausgereiften Dimensionsstrukturen von Kindern ein einheitliches, kohärentes logisches System von Dimensionen entwickeln kann (Smith & Sera 1992, S. 132–139).

Die Dynamik der Entwicklung ist in den verschiedenen Dimensionen unterschiedlich. Größe und Lautstärke entwickeln sich schnell zu scheinbar universellen Korrespondenzen. Die Entwicklungsdynamik der Dunkelheit verläuft hingegen nicht so universell. Die polare Struktur der Dimensionen Größe und Lautstärke wird durch die Sinnesphysiologie bestimmt, aber die Sinnesphysiologie lässt andere Dimensionen (Dunkelheit) unbeeinflusst. Für diese unbeeinflussten Dimensionen spielt die Sprache eine einflussreiche Rolle. Die Struktur aller Dimensionen entsteht in der Entwicklung durch die Interaktion von sensorischen, wahrnehmungsbezogenen, kognitiven und sprachlichen Faktoren (Smith & Sera 1992, S. 132–134). Dieser Ansatz würde auch ähnliche Ergebnisse bei der Zuordnung von Tonhöhen und Farben im frühkindlichen Alter erklären (vgl. Kapitel 6.3).

Versuche zeigten, dass Neugeborene auf der Grundlage von Erfahrungen mit relevanten Ereignissen Korrespondenzen lernen müssen. So könnten Neugeborene absichtlich

ausgewählten Ko-Ereignissen ausgesetzt werden und später auf die Ausbildung crossmodaler Korrespondenzen aufgrund dieser Ko-Ereignisse getestet werden. Alternativ könnte ein vollständiges Inventar der Merkmale der von einzelnen Neugeborenen erlebten Merkmalskoinzidenzen zusammengestellt werden, um zu sehen, ob dies ihre Empfindlichkeit für verschiedene Korrespondenzen vorhersagt. Im Moment scheint es jedoch am wahrscheinlichsten, dass die Empfindlichkeit für mindestens eine Korrespondenz bei der Geburt vorhanden ist (Walker et al. 2018, S. 221).

Bereits bei Kleinkindern konnte ein Zusammenhang zwischen der Tonhöhe und Höhe im visuellen Bereich aufgezeigt werden, was als Hinweis auf einen synästhetischen Zusammenhang gesehen werden kann und bestätigt, dass es neonatale synästhetische Wahrnehmung gibt. Dabei gilt es Gegenargumente dahingehend zu entkräften, dass der Ursprung dieser Korrespondenzen aus der Sprache käme und ob der Wahrnehmungshorizont von Säuglingen in den ersten Lebensmonaten widerspruchsfrei ausreichen würde, um diese Analogien ausreichend zu festigen. Der Erwerb von Korrespondenzen könnte auf die Behauptung zurückgreifen, dass die Wahrnehmung von Neugeborenen synästhetisch sei, stammesgeschichtlich und nicht individuell bedingt, wenn bei der Geburt entsprechende neuronale Schaltkreise vorhanden sind (Maurer & Mondloch 2006 nach Walker et al. 2010, 23–24).

Des Weiteren scheint sich das Gehör von Kindern in diesem Alter noch in Entwicklung zu befinden (vgl. Kapitel 3.1), was erklären würde, dass sich die Korrespondenz zwischen Tonhöhe und räumlicher Höhe erst ausbildet. Nava et al. führten Studien mit Kindern im Vorschulalter und erwachsenen Personen als Vergleichsgruppe durch, um die Reaktionen der jeweiligen Versuchsgruppen auf audiovisuelle (Verknüpfung von Tonhöhen mit der räumlichen Bewegung sichtbarer Objekte), audio-taktile (Verknüpfung von Tonhöhen mit sich lokal verändernden Berührungen am Rücken) und visuell-taktile Reize (räumliche Bewegung sichtbarer Objekte zum Angreifen) zu vergleichen (Nava et al. 2016, S. 93, 100). Zum einen wurde das Zusammenpassen zweier unterschiedlicher Reizqualitäten untersucht, zum anderen sollte beurteilt werden, wie diese zwei korrespondierenden Reize zu einem dritten Stimulus passen. Es zeigte sich, dass Kinder dieser Altersgruppe Probleme hatten ein Reizpaar isoliert zu verarbeiten, das auf zwei verschiedene Sinnesmodalitäten einwirkt und einen störenden Einfluss durch einen dritten Reiz erfährt (Nava et al. 2016, S. 103). Es zeigte sich, dass Kinder auf die Kombination Tonhöhe, optische und taktile Höhe in Abhängigkeit von den

Versuchsbedingungen unterschiedlich sensibel reagieren, wobei die einfachste die optisch-taktile Kombination war, hingegen aber die Kombination von Tonhöhe mit visueller Höhe und Berührungshöhe Schwierigkeiten bereitete (Nava et al. 2016, S. 107). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Tonhöhenkorrespondenzen für audiovisuelle und audio-taktile Reizqualitäten bei Vorschulkindern schwächer ausgeprägt sind als bei Erwachsenen. Mögliche Erklärungen dafür wären eine sprachliche Verankerung oder eine natürliche Kartierung, in dem Sinn, dass hohe Frequenzen ihren Ursprung in höheren Quellen haben, was sich auch darin zeigt, dass steigende Frequenzen mit zunehmender räumlicher Höhe bei entsprechender Versuchsanordnung als kongruent betrachtet werden. Demzufolge könnte sprachliche Unreife und noch nicht abgeschlossene auditive Reizentwicklung dafür verantwortlich gemacht werden. Diese Reife scheint sich erst im Alter von fünf Jahren zu entwickeln (Nava et al. 2016, S. 109). Crossmodale Korrespondenzen taktiler und olfaktorischer Art unter Berücksichtigung von Valenz und Arousal konnten auch bei Kindern zwischen 10 und 17 Jahren im Zusammenhang mit dem „Bouba/Kiki“-Effekt gefunden werden (Metatla et al. 2019, S. 4, 7–10).

Vergleicht man die Ergebnisse aus den Studien mit Kindern zur Farbe-Ton-Beziehung mit den Befunden aus Studien mit erwachsenen Proband:innen, so stimmen diese vielfach überein. Auch diese verbinden hohe Töne mit hellen Farben (Adeli et al. 2014, S. 6–8; Ambros et al. 2021, S. 1076–1079; Ambros et al. 2022, S. 994–996; Anikin & Johansson 2019, S. 776).

6. Das Phänomen der Offenohrigkeit

David Hargreaves verwendete erstmals den Begriff open-earedness – im deutschen Sprachgebrauch hat sich der Begriff der Offenohrigkeit etabliert – im Rahmen eines Kongressbeitrages 1982. Der Grundgedanke war, dass jüngere Kinder offenohriger verschiedenen Musikformen gegenüber stünden, die von Erwachsenen als unkonventionell betrachtet würden, was mit einer geringeren Akkulturation beziehungsweise fehlendem Normdenken hinsichtlich „guten Geschmacks“ zusammenhängen könnte (Auhagen et al. 2014, S. 9; Hargreaves & Bonneville-Roussy 2017, S. 2).

6.1. Begriffsdefinitionen

In der Literatur finden sich zahlreiche Definitionen des Begriffes Offenohrigkeit, wobei diesen unterschiedlichen Definitionsversuchen verschiedene Aspekte zugrunde liegen. Hargreaves verweist auf Leblanc‘ Definition von 1991, wobei Toleranz als Synonym für open-earedness zu verstehen sei. Leblanc‘ eigene Forschungen basierten auf einem Life-span Modell, dessen Entwicklung auf vier Verallgemeinerungen basiert:

- jüngere Kinder haben „offenere“ Ohren,
- die Offenohrigkeit nimmt in der Pubertät ab,
- und nimmt zum Teil wieder zu, wenn der Zuhörer von der Pubertät zum jungen Erwachsenen heranreift,
- um schließlich im hohen Alter wieder abzunehmen (Leblanc 1991, S. 36–38 nach Hargreaves & Bonneville-Roussy 2017, S. 3–4).

Louven entwickelte 2016 ein Instrumentarium, um open-earedness messbar zu machen, welches als Osnabrück Open Earedness Index (OOI) bezeichnet wird und die Zuhörzeiten bei ursprünglich abgelehnter Musik misst (Louven 2016, S. 239–240). Laut Hargreaves steht aber abgelehnte Musik in keinerlei Zusammenhang mit dem von ihm geprägten Begriff der open-earedness. Ergebnisse zeigten aber, dass der OOI in der Altersgruppe zwischen sechs und 30 Jahren nahezu unverändert blieb. Als problematisch zu betrachten ist die Definition von abgelehnter Musik, die unweigerlich die Dimension der Persönlichkeit miteinbezieht (Hargreaves & Bonneville-Roussy 2017, S. 3–5).

Vier mögliche Definitionen und Messmöglichkeiten der open-earedness, die bei Hargreaves & Bonneville-Roussy 2017 zu finden sind, sollen im Folgenden angeführt werden:

1. Erstellen eines Musters der musikalischen Vorlieben im Sinne von Offenheit und Aufgeschlossenheit, nicht aber im Sinne des Synonyms Toleranz nach Leblanc 1991 und Operationalisierung und Messbarmachen des open-earedness Begriffes durch Louven's OOI.
2. Omnivorität – offen für jegliche Musikrichtung des Langzeitmusikgeschmacks Adornos – im Sinne einer Nachbildung der sozialen Organisation. Soziale Kräfte legen Normen des kulturellen Geschmacks auf und dominante soziale Gruppen legitimieren ihren Standard an Geschmack in Relation zu dem der anderen Gruppen, wodurch auch die Unterscheidung zwischen ernster und populärer Musik gerechtfertigt wird. Geschmack wird als signifikanter Indikator für die soziale Schicht angesehen und umgekehrt, da die Vorlieben und Abneigungen der Menschen in erheblichem Maße zur Aufrechterhaltung der sozialen Hierarchien beitragen.
3. Fantasievolles/kreatives Zuhören, vergleichbar mit dem Prozess des Komponierens oder Aufführens von Musik bedingt das Miteinbeziehen eines assoziativen Netzwerks, das sich aus drei Arten zusammensetzt – einem musikalischen, einem kulturellen und einem persönlichen Netzwerk. Die Ausprägung dieser drei Komponenten bestimmen den individuellen Grad der Offenohrigkeit jedes einzelnen Individuums. Im Sinne einer Operationalisierung zeigt sich dies in einer Flexibilität hinsichtlich musikalischer Präferenzen, die nicht notwendigerweise auf einem ästhetischen Urteil beruht.
4. Offenheit für neue Experimente, wobei diese in Verbindung mit Kultiviertheit, verschiedenen musikalischen Genres und Formen sowie ästhetischen chills – im Sinne eines Gänsehauteffekts – steht. Diese Offenheit, die im Rahmen einer Studie von Soto et al. 2011 zur Messung ästhetischer Chills untersucht wurde, spiegelt auch die Ergebnisse der Leblanc Studie von 1991 bezüglich open-earedness wider, was Rückschlüsse auf einen Zusammenhang zwischen Offenohrigkeit und Offenheit für Neues zulässt (Soto et al. 2011 und LeBlanc 1991 nach Hargreaves & Bonneville-Roussy 2017, S. 5–7).

Gembris et al. fassten die Vielzahl der Definitionsvorschläge zur Offenohrigkeit, die sich nicht notwendigerweise widersprechen müssen, wie folgt zusammen:

„Das spricht dafür, dass unter dem Dach dieses Oberbegriffs eine Vielzahl unterschiedlicher Konzepte und Fragestellungen subsummiert werden können, denen gemeinsam ist, dass sie die Untersuchung der im individuellen Entwicklungsverlauf variable Breiten dessen, was an unterschiedlichen Musikgenres noch rezipiert und toleriert wird, zum Gegenstand haben.“ (Gembris et al. 2014, S. 102)

Der Umgang mit dem Begriff der Offenohrigkeit soll sich im Rahmen dieser Arbeit darauf beziehen, dass ein möglicherweise unterschiedliches Klangempfinden und darauf aufbauende Zuordnung von Farben bei Kindern im Volksschulalter unter Berücksichtigung von Schulstufe und Geschlecht aufgezeigt sowie hinsichtlich Veränderungen oder Stabilität inter- oder intrapersonell erfasst werden soll (vgl. Kapitel 8).

6.2. Die musikalische Entwicklung des Kindes

Generell kann davon ausgegangen werden, dass jeder Mensch ein bestimmtes Maß an Sensibilität für Musik hat, die aber gefördert werden muss, wofür geeignete Lern- und Lebensbedingungen sowie Einflüsse aus der Umwelt notwendig sind. Genauso wie beim Spracherwerb beziehungsweise dem Erwerb einer Zweitsprache kann man von sensiblen Phasen in der kindlichen Entwicklung, den sogenannten Zeitfenstern, ausgehen, die in engem Zusammenhang mit der Neuroplastizität der Gehirnstruktur stehen (vgl. Kapitel 3.3).

Föten reagieren ab der 22. bis 24. Schwangerschaftswoche bereits trotz der Geräuschkulisse im Mutterleib auf externe Geräusche im Bereich von 250 bis 500 Hz mit verstärkter Bewegung, was zur Entstehung neuronaler Erregungsmuster im Gehirn führt. Die Stimme der Mutter wird dabei über interne Knochenleitung übertragen (Gruhn 2010, S. 21–22). Nach der Geburt ändert sich die Hörumgebung des Kindes massiv. Säuglinge reagieren auf hohe Töne sensibler als auf tiefe Töne im Vergleich zu Erwachsenen und hören über 4000 Hz auch besser als diese (Gembris 2017, S. 269). Crossmodale Korrespondenzen zeigen sich bereits in den ersten Lebenswochen. So verknüpft ein Säugling den warmen freundlichen Tonfall der mütterlichen Stimme mit sanften und ruhigen Bewegungen, der rauere, ärgerliche Tonfall wird mit den damit einhergehenden ruckartigen Bewegungen der Mutter verbunden. Akustische, respektive musikalische Wahrnehmungen werden demzufolge schon frühzeitig mit anderen Wahrnehmungen verknüpft. (Gembris 1998, S. 270). Im Folgenden soll ein Überblick über die Entwicklung der musikalischen Fähigkeiten beim Kleinkind gegeben werden, wobei laut Gruhn die Zeit bis zum dritten Lebensjahr als überbewertet gilt. Zuwendung und Anregung sei das, was ein Kind in diesem Alter brauche und nicht Überreizung (Gruhn 2010, S. 30).

Alter	Melodiewahrnehmung	Rhythmische Fähigkeiten
Säuglingsalter	hohe Sensibilität gegenüber Änderungen im melodischen und rhythmisch metrischen Bereich, Orientierung an absoluten Tonhöhen; Unterscheidung von Klangfarben, lauten und leisen Klängen sowie hohen und tiefen Tönen; konsonanten Intervallen wird länger zugehört als dissonanten;	Unterscheidung zwischen regelmäßigen und unregelmäßigen Clicks;
Ab 6 Monaten	Unterscheidung zwischen dreiklangsmelodischen und nicht-dreiklangsmelodischen Melodien;	Erkennen rhythmischer Veränderungen in der Musik anderer Kulturen (vergleichbar mit Spracherwerb – erst noch offen für alle Sprachlaute, auch hinsichtlich Differenzierung, dann Beschränkung auf Sprachlaute der eigenen Muttersprache);
6-12 Monate	Orientierung an Zäsuren, Klangwechsel und Wiederholungen in längeren Melodieverläufen;	Bevorzugung der vertrauten Metren der eigenen Kultur;
1.-2. Lebensjahr	Unterscheidung verschiedener Tonlagen; Wiedererkennen bestimmter Melodien;	kurzfristige Synchronisation von Rhythmus und Bewegung;
3.-4. Lebensjahr	grobe Unterscheidung schnell-langsam; Unterscheidung traurig-fröhlich auf harmonischer Ebene; Erkennen und Zuordnung von Instrumenten zu den jeweiligen Instrumentenfamilien aufgrund der Klangfarben;	
4.-6. Lebensjahr	Erkennen von Melodieabweichungen vertrauter Melodien bei gleichbleibender Melodiekontur (Auf und Ab von Tönen); Unterscheidung zwischen tonalen und atonalen Melodien; Klangfarbenunterscheidungsvermögen; Erkennen einzelner Elemente im Orchesterklang; zunehmende Bevorzugung von Konsonanz und Tonalität gegenüber Dissonanz und Atonalität;	Unterscheidung zwischen langsamen und schnellen Tempi; Bevorzugung von Rhythmen mit regelmäßiger Struktur; Entwicklung der Fähigkeit zum Einhalten eines Metrums; „learning window“ für synkopische Rhythmen; Nachklopfen einfacher Rhythmen; Entwicklung eines Zeitbegriffes;
7.-8. Lebensjahr	Stabilisierung des Gefühls für Tonalität und Harmonik; Unterscheidung zwischen Dur und Moll; Verständnis für die Begriffe hoch und tief; verschiedene musikalische Stile, wie zum Beispiel	Fähigkeit das Metrum zu halten nimmt zu; verschiedene Wahrnehmungsaspekte wie Melodie und Rhythmus können gleichzeitig beachtet und koordiniert werden;

	Barock und Klassik können unterschieden werden;	
9.- 10. Lebensjahr	Erkennen von Dur und Moll; Unterscheidung kleiner Intervalle; vorhandene Wahrnehmungsfähigkeiten verbessern sich; Äußerung musikalischer Vorlieben;	

Tabelle 4: Melodie- und Rhythmuswahrnehmung in den ersten zehn Lebensjahren (Gembris 1987, S. 142; Gembris 1998, S. 276–282, 285–287; Dowling 2005, S. 71; Gruhn 2010, S. 3).

Generell können Kinder bereits im ersten Lebensjahr den Klang eines Instruments wiedererkennen, nicht aber die Melodie, sobald sie von einem anderen Instrument dargeboten wird. Da sie sich an der absoluten Tonhelligkeit (Frequenz) orientieren, erkennen sie eine Melodie nicht wieder, wenn diese transponiert präsentiert wird (Gruhn 2010, S. 38).

Singen und Spracherwerb vollzieht sich bei Kindern rein über das Hören, wobei an das Sprechen andere Anforderungen gestellt werden als an das Singen. Steht beim Spracherwerb die Ausbildung eines Symbolsystems deren syntaktische Verknüpfung, also Grammatik und Semantik im Vordergrund, ist es beim Singen das Finden und Halten eines gemeinsamen Metrums und das Finden der Tonhöhe. Audio-vokales Lernen beruht auf einer Verschaltung der Hirnareale, die zur Verarbeitung der Hörinformationen fähig sind mit jenen, die für die Steuerung der Bewegung des Kehlkopfes, der Stimmlippen und der Artikulationsorgane zuständig sind. Der assoziative auditorische Cortex ist über eine direkte Faserverbindung mit dem zur vokalen Imitation zuständigen motorischen Bereich verbunden. Vom motorischen Cortex kommt es zur neuronalen Projektion in den Nucleus ambiguus im Hirnstamm, dem motorischen Hirnnerven-Kern, der die quergestreifte Muskulatur des Rachens, Kehlkopfs und des oberen Anteils der Speiseröhre anregt und für die zentrale Kontrolle der Phonation im Hirnstamm zuständig ist (Gruhn 2010, S. 46, 48–50).

Phantom-Bild, rechte Hälfte: Ansicht von links

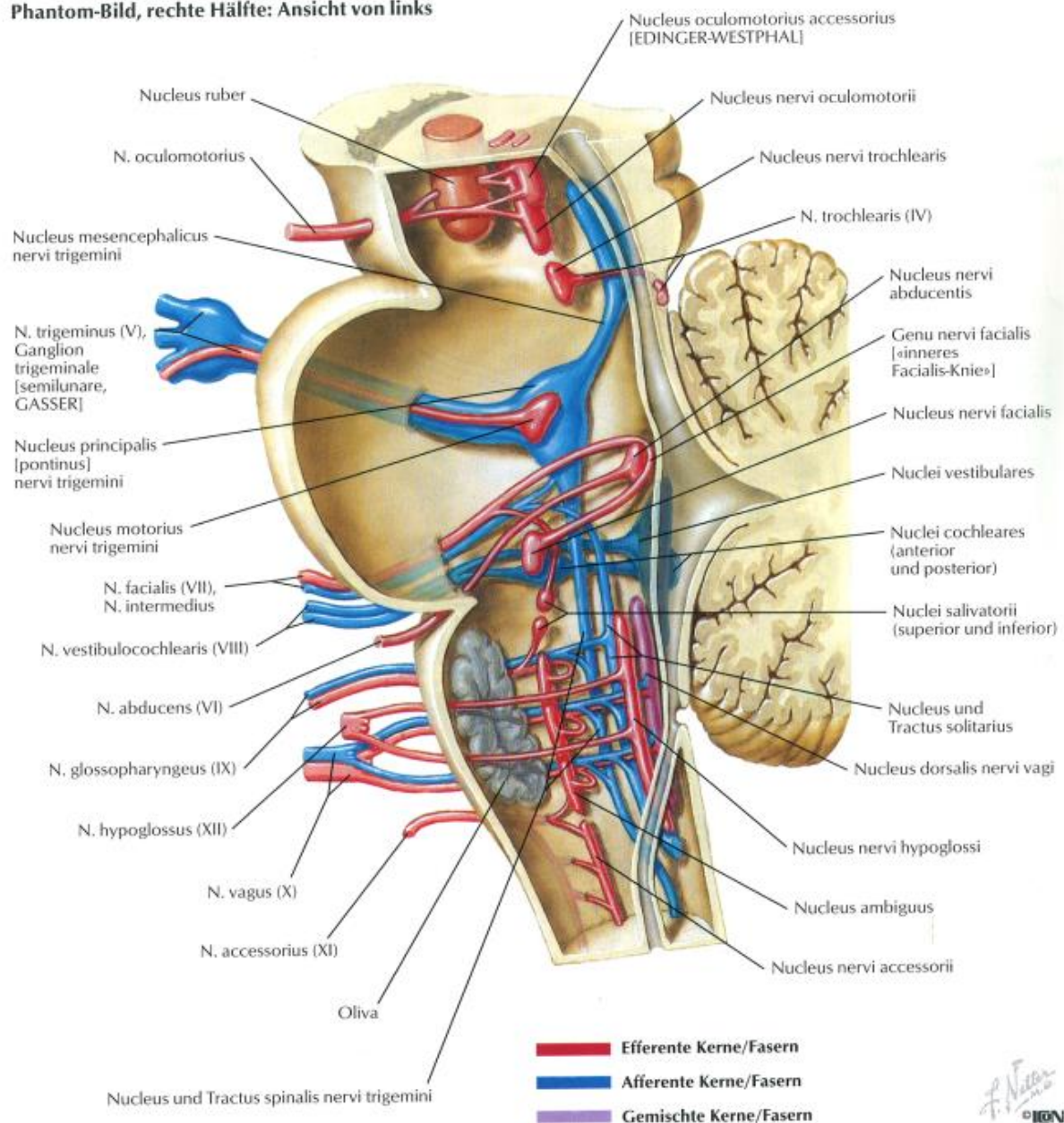


Abbildung 17: Nucleus ambiguus in einer schematischen Darstellung des Hirnstamms und der Hirnnervenkerne (Netter 2000, Tafel 111).

Über das Sich-selbst-Hören ist dem Kind ein Vergleich mit dem gehörten Fremdklang möglich, um über eine Feinsteuerung des Kehlkopfes einen Gleichklang zu erzielen. Wenn Kinder in dieser Phase falsch singen, dann ist das vielfach nicht auf einen Hördefekt zurückzuführen, sondern auf Schwierigkeiten bei der Übertragung der Hörinformation auf die Koordination der Bewegungsabläufe (Gruhn 2010, S. 46, 48–50).

Musikalisches Lernen beziehungsweise musikalische Akkulturation erfolgt ähnlich wie der Spracherwerb durch Hören, Wahrnehmen und Verarbeiten. So ist ein Kind in der Lage,

Grundlagen der Musik der eigenen Kultur aus sprachlichen Mustern, Melodieverläufen und Rhythmus abzuleiten. Wie beim Spracherwerb basiert musikalisches Lernen auf Gehörtem und Imitation, woraus sich in weiterer Folge die Fähigkeit bildet eigene Melodien und Rhythmen zu „erfinden“ (Gruhn 2010, S. 58–59). In diesem Zusammenhang sei der Begriff der Audiation erwähnt, der bereits von dem amerikanischen Musikpädagogen Edwin E. Gordon verwendet wurde. Dieser Begriff steht für ein spezifisches Konzept musikalischen Vorstellungsvermögens:

„Audiation is the ability to hear and to understand music for which the sound is not physically present. Audiation is to music what thinking is to language. The extent of one's appreciation of music is dependent upon how well one is able to audiate. To understand and to become comfortable with music, children should learn to audiate and to engage in music activities at a very early age in much the same way and at the same time that they learn to think and speak a language.“ (Gordon 1990, S. 2)

Da laut Gordon die musikalische Begabung eines Kindes unter neun Jahren ein Produkt sowohl des angeborenen Potenzials als auch der musikalischen Umwelteinflüsse ist, wird die in den ersten neun Lebensjahren gemessene musikalische Begabung als Entwicklungsbegabung bezeichnet. Da die musikalischen Umwelteinflüsse nach dem neunten Lebensjahr keine Auswirkungen mehr auf die musikalische Begabung eines Kindes haben, wird die danach gemessene musikalische Begabung als stabilisierte Begabung bezeichnet. Die Grundlage sowohl der musikalischen Entwicklungsbegabung als auch der stabilisierten musikalischen Begabung ist das Gehör. Unabhängig davon, ob sich ein Kind in der Phase des musikalischen Lallens befindet oder diese bereits hinter sich gelassen hat, ist es in der Lage, sich zumindest bis zu einem gewissen Grad auf das Hören einzulassen (Gordon 1990, S. 10).

Gruhn definiert den Begriff der Audiation wie folgt:

„Audiation bezeichnet also die Aktivierung zuvor erworbener Muster (mentaler Repräsentationen, [...]), die beim Hören und Singen erregt werden. Entweder passen die Klänge zu dem erworbenen Repertoire, dann sprechen wir von der Möglichkeit der *Assimilation*; oder sie passen nicht, was dazu führt, dass die Muster den neuen Bedingungen angepasst werden müssen und diese damit eine Erweiterung erfahren. In der Lernpsychologie spricht man von der *Akkommodation*. Mit Hilfe von Audiation geben Kinder den gehörten Klängen eine musikimmanente Bedeutung (z.B. als Grundton oder Zweiermetrum). Es versteht sich, dass dies natürlich nicht explizit passiert, sondern sich im Vollzug, im eigentlichen musikalischen Tun zeigt. Audiation übersteigt also Imitation und ist das Ziel frühen musikalischen Lernens.“ (Gruhn 2010, S. 60)

Audiation erfordert somit die Fähigkeit unbekannte, neue Melodien zu bereits verinnerlichten Mustern in Beziehung zu bringen, wodurch Audiation als ein Prozess einer aktiven Antwort auf die Musik zu verstehen ist. Audiation ermöglicht gehörten Klängen eine musikalische

Bedeutung zu geben und diese als Musik zu erfassen (Gruhn 2010, S. 97–99). Das Ziel musikalischen Lernens sollte immer auf die Bildung mentaler Repräsentationen ausgerichtet sein, die erst nachträglich abstrakt codiert werden können (Gruhn 2010, S. 73).

Nach Gruhn lassen sich aus einer Langzeitstudie an der Musikhochschule Freiburg mit Kindern zwischen einem und sechs Jahren folgende entwicklungspsychologische Stadien beim Aufbau des musikalischen Denkens unterscheiden:

- Die Phase der **Akkulturation**, die durch die Vermittlung vieler Hörinformationen gekennzeichnet ist und die Grundlage eines breiten Hörspektrums liefert;
- Die Phase der **Attention** durch bewusste aufmerksame Hinwendung des Kindes zu dargebotenen Ereignissen und Fokussierung der Aufmerksamkeit über einen bestimmten Zeitraum;
- Die Phase der **Imitation**, in der das Kind bewusst wahrnimmt, was Neues in seiner Umgebung passiert und versucht dies nachzuahmen. Diese kognitive Leistung zeugt von der Ausbildung einer inneren Vorstellung; in diesen Zeitraum, der in etwa das zweite und dritte Lebensjahr umfasst, fällt die Phase des Melodie-Erwerbs;
- Die Phase der **Antizipation**, bei dem das Kind das Gehörte nicht nur mit- und nachmacht, sondern bereits eine Hörerwartung ausgebildet wird und vorhandene mentale Repräsentationen auditiert werden, die die eigene Handlung bestimmen. Aus dem „Mitmachen“ wird ein selbständiges „Auch-Machen“. Kinder können nun eigenständig Melodien singen und Rhythmen sprechen;
- Die Phase der **Koordination**, in der das Kind die Fähigkeit ausbildet sich metrisch und tonal anderen anzupassen (Gruhn 2010, S. 102–103);

6.3. Forschungsstand bezüglich Offenohrigkeit im Überblick

Interessante Aufschlüsse über den Umgang mit Musik liefert eine Studie von Badur aus dem Jahr 2000 zum Thema selbstinitiierte musikbezogene Aktivitäten von Kindern im Grundschulalter, die im Rahmen des Forschungsprojektes „Kind & Musik“ an der Universität Hildesheim zwischen 1998 und 2001 durchgeführt wurde. Zu diesem Zweck wurden 20 Kinder der dritten und vierten Grundschulstufe, die nach Kriterien ihres sozialen und kulturellen Hintergrunds ausgesucht wurden, in Einzel- und Gruppeninterviews hinsichtlich ihrer musikbezogenen Aktivitäten befragt. Nicht alle Kinder hatten zum Zeitpunkt der Befragung Musikunterricht. Des Weiteren wurden die Kinder gebeten zu musikbezogenen Themen Aufsätze zu verfassen und Bilder anzufertigen (Badur 2007, S. 56–57). Es stellte sich dabei

heraus, dass die Medien zur Informationsbeschaffung als Rahmenaktivität im Sinne der Vorbereitung und dem Umgang mit musikalischen Praktiken eine wichtige Rolle spielen. Beobachten und über Musik sprechen sind in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung. Auch musikbezogene Rollenspiele und das Nachahmen von Musikstars gehören zur Betätigung mit Musik. Der Aktivitätsbereich des Musikhörens zeigt, dass es sich in diesem Alter um eine überwiegend individuelle Tätigkeit handelt. Musikalisch-praktische Aktivitäten machen 39 Prozent der Gesamtaktivitäten aus, wobei der erfinderische Bereich in diesem Alter stark ausgeprägt ist (Badur 2007, S. 60–66). Aus der Studie ließ sich ableiten, dass kein Kind in diesem Alter nur mit dem Hören von Musik zufrieden ist und Instrumente eine große Anziehung ausüben. Da aber in dem Alter oft noch die Fähigkeit fehlt, sich über diese auszudrücken, fällt auf, dass das Tanzen eine wesentliche Ausdrucksmöglichkeit darstellt. Alles in allem zeigte die Studie, dass es eine vielfältige Beziehung zwischen Kind und Musik gibt (Badur 2007, S. 68–69).

Weitere interessante Ergebnisse sind einer Studie von Gembris & Schellberg von 2001 zur Entwicklung musikalischer Tendenzen im Grundschulalter zu entnehmen. Im Rahmen dieser Studie wurden in einer Grundschule in Oberbayern 591 Kinder im Alter von fünf bis dreizehn Jahren befragt (Einbeziehung der Randgruppen Kindergarten und Mittelschule zur Ermittlung der altersbedingten Präferenzen vor und nach der Grundschule). In der Studie wurden insgesamt acht verschiedene Musikbeispiele aus den Genres Klassik, Neue Musik, Pop und Ethnomusik ausgewählt und mit einer Dauer von circa 80 sec präsentiert. Die Beurteilung erfolgte mittels unterschiedlicher Gesichter von lachend bis unglücklich (Gembris & Schellberg 2007, S. 74–75). Es zeigte sich, dass die Akzeptanz der unterschiedlichen Genres bei den jüngeren Kindern am größten war. Belcanto-Gesang, der durch eine Mozart-Arie repräsentiert wurde, stieß in allen Altersgruppen auf die größte Ablehnung, was die Autoren durch die fast ausschließliche und permanente Verbreitung von Popstimmen-Idealen über die Massenmedien begründeten. Anzumerken ist, dass die Akzeptanz bei Mädchen mit dem Alter zusammenhing: je jünger diese waren, desto höher war die Akzeptanz. Generell zeigte sich bei Mädchen zwischen fünf und zehn Jahren eine größere Akzeptanz im Bereich der klassischen Musik und der Popmusik als bei Buben der gleichen Altersgruppe, was von den Autoren auf einen geschlechterspezifischen Sozialisationseffekt zurückgeführt wurde. Umgekehrtes gilt hingegen für die Genres Ethnomusik und Neue Musik. Es zeigte sich ein Anstieg der Akzeptanz gegenüber klassischer Musik in der Gruppe der Acht- bis Zehnjährigen, der nicht als Artefakt zu deuten ist, da eine Replikationsstudie von Schellberg zum gleichen Ergebnis führte. Dies würde darauf hinweisen,

dass dieses Alter einen Zeitraum darstellt, in dem Kinder einen leichteren Zugang zu diesem Genre finden könnten. Es zeigte sich auch, dass am Ende der Jugendzeit die Aufmerksamkeit erneut auf das gerichtet wird, was in der späten Kindheit von Bedeutung war. Im Bereich der Musikerziehung könnten diese Erkenntnisse dahingehend berücksichtigt werden, dass speziell in diesem Alter vermehrt klassische Musik angeboten wird, um das Zeitfenster zwischen acht und zehn Jahren zu nutzen. Zum anderen sollte auch die Offenohrigkeit der Vorschul- und der jüngeren Grundschulkinder dahingehend verwendet werden, um sie mit einem breiten Spektrum an Musikstilen vertraut zu machen (Gembris & Schellberg 2007, S. 88–90).

Eine Replikationsstudie, die im Jahr 2006 von Lontke durchgeführt wurde, unterscheidet sich nur durch die Wahl der Versuchspersonen. Die Studie wurde in einer kulturell heterogenen Grundschule in Nordrhein-Westfalen mit einem etwa 80-prozentigem Anteil an Kindern mit Migrationshintergrund durchgeführt. Die Ergebnisse sind mit der Studie von Gembris & Schellberg vergleichbar (Gembris et al. 2014, S. 100). Im Rahmen dieser Replikationsstudie wurden die Daten sowohl nach Schulstufen als auch nach dem Alter ausgewertet. Auf die zwar geringen, aber nicht uninteressanten Unterschiede wurde von den Autoren hingewiesen, aber nicht näher eingegangen (Gembris et al. 2014, S. 115). Erwähnenswert scheint, dass bei dieser Replikationsstudie die Genres Klassik, Neue Musik beziehungsweise Avantgarde und Ethno positiver beurteilt wurden als bei Gembris & Schellberg, was Lontke im Zusammenhang mit dem hohen Migrantenanteil sieht, da Kinder mit Migrationshintergrund auch „ihre“ heimische Musik hören und dadurch auch anderer unbekannter Musik offener gegenüberstehen als Kinder ohne Migrationshintergrund (Gembris et al. 2014, S. 109).

7. Empirischer Teil

Studie zur Farbe-Ton-Beziehung mit Kindern der Primarstufe

Im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studie sollen anhand von Farbe-Ton-Zuordnungen im Sinne einer crossmodalen Korrespondenz mögliche vom Alter beziehungsweise Geschlecht abhängige Unterschiede untersucht werden. Ein Vergleich zwischen den Schulstufen und nicht dem Alter der Kinder, das zum Zeitpunkt der Studie zwischen sechs und zehn Jahren war, wurde vorgenommen, um den Einfluss des Reifungsprozesses sowohl intellektueller als auch sozialer Natur zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck wurde eine Querschnittsuntersuchung vorgenommen, wobei Kinder der ersten bis vierten Schulstufe einer Korrelationsstudie unterzogen wurden, in der intraindividuelle Veränderungen unberücksichtigt blieben. Bei dieser Vorgehensweise ist zu beachten, dass die Versuchspersonen aus unterschiedlichen Kohorten stammen (Pinquart et al. 2019, S. 57). Da die Versuchspersonen der Studie eine relativ kleine Altersspanne umfassen und die getesteten Kinder alle das gleiche schulische Umfeld haben, ist der Kohorteneffekt aber vernachlässigbar.

7.1. Fragestellung und Hypothesenbildung

Wie bereits in Kapitel 5.2 beschrieben, sind Zusammenhänge zwischen Tonhöhe und Farbhelligkeit bereits mehrfach belegt. Basierend auf diesen Studien zu crossmodalen Korrespondenzen zwischen Farben und Klängen lagen dieser Studie folgende Forschungsfragen zugrunde:

Forschungsfrage 1: Werden in Abhängigkeit von der Schulstufe und des Geschlechts unterschiedliche Farbe-Ton-Zuordnungen getroffen?

Forschungsfrage 2: Wie wirken sich das Instrument beziehungsweise die Art der Klangerzeugung und die Tonhöhe sowie damit verbundene Klangeigenschaften auf die Wahl von Farbe, Farbhelligkeit und Farbsättigung aus?

Forschungsfrage 3: Zeigen sich schulstufenbedingt Unterschiede in der Stabilität der Farbe-Ton-Zuordnung bei nochmaliger Präsentation des Klangs?

Aus diesen Forschungsfragen wurden folgende Hypothesen abgeleitet:

- Ungerichtete H1: Es gibt Unterschiede hinsichtlich der Farbe-Ton-Zuordnung bei Kindern aus unterschiedlichen Schulstufen und unterschiedlichen Geschlechts.
- H01: Es gibt keine Unterschiede zwischen den Schulstufen und dem Geschlecht in Bezug auf die Farbe-Ton-Zuordnung der Kinder.
- Ungerichtete H2: Spezifische Klangeigenschaften beeinflussen die Zuordnung von Farben hinsichtlich Farbhelligkeit und Farbsättigung, da sie in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht unterschiedlich wahrgenommen werden.
- H02: Spezifische Klangeigenschaften haben keinen Einfluss auf die Zuordnung zu Farben hinsichtlich Farbhelligkeit und Farbsättigung.
- Ungerichtete H3a: Die Zahl der Klänge, denen in beiden Durchgängen die gleiche Farbe zugeordnet wird, ist abhängig von Schulstufe und Geschlecht.
- H03a: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen Schulstufe und Geschlecht, hinsichtlich der Anzahl der gleichen Farbe-Ton-Zuordnung in beiden Durchgängen (Konstanz der Zuordnungen).
- Ungerichtete H3b: Die Zahl der Klänge, denen in beiden Durchgängen die gleiche Farbe zugeordnet wird, ist abhängig von Tonhöhe und Klangquelle.
- H03b: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen Tonhöhe und Klangquelle hinsichtlich der Anzahl der gleichen Farbe-Ton-Zuordnung in beiden Durchgängen (Konstanz der Zuordnungen).

Die erste Hypothese wurde aufgestellt, um einen möglichen Einfluss des Alters beziehungsweise der Schulstufe auf die Entstehung crossmodaler Korrespondenzen im audiovisuellen Bereich zu erfassen. Der zugrundeliegende Gedanke der zweiten Hypothese beschäftigt sich mit der Frage, ob die Klangquelle einen Einfluss auf Farbe-Ton-Zuordnungen hat, wobei zwischen den jeweiligen Klängen der Musikinstrumente als auch den synthetischen Klängen unterschieden werden soll. Anhand dieser beiden Hypothesen könnten möglicherweise Informationen im Zusammenhang mit der Offenohrigkeit dieser Altersgruppe

abgeleitet werden. Durch die dritte Hypothese soll erfasst werden, ob das Alter beziehungsweise die Schulstufe einen Einfluss auf die Konstanz der Zuordnungen bei wiederholter Klangpräsentation hat, um Hinweise auf die Entwicklung eines synästhetischen Empfindens im Bereich Farbe-Ton zu erhalten.

7.2. Methodik

Im Folgenden soll auf die Umsetzung der Studie und Methoden zur Auswertung eingegangen werden. Kinder einer Wiener Privatvolksschule wurden aufgefordert Farbe-Ton-Zuordnungen zu treffen, um diese hinsichtlich Stabilität, altersbedingte Variabilität und Geschlecht zu vergleichen und analysieren.

7.2.1. Informationen zu den Versuchspersonen und der Durchführung der Studie

Die Studie wurde nach eingeholten Einverständniserklärungen der Eltern mit 276 Kindern aus vier Primärstufen der Volksschule Notre Dame de Sion in Wien 7, zwischen dem 17. und 25. November 2022 durchgeführt. Die Befragung der Kinder erfolgte klassenweise in einer den Kindern vertrauten Umgebung. Die Klassenlehrkräfte, die während der Durchführung der Studie die ganze Zeit anwesend waren, unterstützten die Kinder beim Ausfüllen des Fragebogens zum Beispiel durch Angaben zum Geburtstag oder halfen, wenn das Lineal, das als Hilfe zum Einhalten der Zeilen diente, verrutscht war.

Nach einer kurzen Begrüßung wurde den Kindern der Ablauf der Studie und der auszufüllende Fragebogen erklärt. Die Kinder wurden um Spontaneität beim Ankreuzen gebeten und explizit darauf hingewiesen, dass es kein Richtig oder Falsch bei den Zuordnungen der Klänge zu den vorgegebenen Farben gibt. Aus Gründen des Datenschutzes wurden nur für die Studie erforderliche Angaben, wie Alter, Schulstufe und Geschlecht der Kinder erfragt. Die Angaben zu musikalischen Vorkenntnissen füllten die Kinder eigenständig aus. Die emotionale Situation der Kinder wurde vor und nach der Befragung über Emojis erhoben. Um das Konzentrationsvermögen der Kinder nicht zu überfordern, wurde zwischen dem ersten und zweiten Durchgang der Klangpräsentationen eine kurze Pause gemacht, in der von den Klassenlehrkräften angeleitete Bewegungsspiele durchgeführt wurden. Die Dauer der Pause richtete sich nach den Bedürfnissen der Kinder. Die durchschnittlich benötigte Zeit zur Durchführung der Befragung betrug in etwa 45 Minuten pro Klasse. Obwohl es sich nicht um eine Prüfungssituation handelte, worauf die Kinder mehrmals hingewiesen wurden, konnte

nicht vermieden werden, dass ein Blick auf den Fragebogen der Sitznachbarin oder des Sitznachbars geworfen wurde.

Beim Erstellen des Fragebogens wurde auf eine altersgerechte und übersichtliche Darstellung geachtet. Viele Kinder der ersten Schulstufe konnten zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie noch nicht lesen. Das Schreiben des eigenen Geburtsdatums erwies sich nicht nur für Kinder der ersten Schulstufe als schwierig. Die Abfrage der musikalischen Vorkenntnisse erfolgte durch Abbildung von Instrumenten. Sollte das Instrument, welches das Kind lernte, nicht abgebildet sein, wurde dies handschriftlich je nach Schulstufe von den Kindern oder der Lehrkraft ergänzt.

Institut für Musikwissenschaften

Studie zur Farbe-Ton-Beziehung



**universität
wien**

Klasse:

Datum:

Geburtsdag:

Geschlecht:



Musikalische Vorkenntnisse:






Anderes:

Ich fühle mich sehr gut 😊	Die Aufgabe war leicht 😎
Es geht so 😐	Die Aufgabe war schwierig 😞
Ich fühle mich nicht so gut heute 😞	Die Aufgabe war langweilig 😴

1

Abbildung 18: Erste Seite des Fragebogens.

Neben der Angabe der für die Studie notwendigen demographischen Daten wurden die Kinder aufgefordert ihren momentanen Gefühlszustand zu beschreiben und abschließend die Aufgabenstellung zu bewerten. Die musikalischen Vorkenntnisse wurden anhand von Bildern erhoben.

Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über Klassenschüler:innenzahl nach Geschlecht und den eigenen Angaben zu den, zum Zeitpunkt der Studie, gespielten Musikinstrumenten. Anhand dieser erfolgte die Einteilung in die Kategorien „musikalische Vorkenntnisse/keine musikalischen Vorkenntnisse“.

Klasse	Gesamt	Buben	Mädchen	Musikalische Vorkenntnisse Buben/Mädchen	Keine musikalischen Vorkenntnisse Buben/Mädchen
1a	17	9	8	7/6	2/2
1b	24	14	10	9/8	5/2
1c	20	11	9	3/7	8/2
2a	23	12	11	8/8	4/3
2b	21	12	9	6/8	6/1
2c	19	7	12	3/8	4/4
2d	23	11	12	6/11	5/1
3a	20	8	12	5/10	3/2
3b	14	7	7	4/5	3/2
3c	25	12	13	8/11	4/2
4a	25	13	12	8/10	5/2
4b	24	12	12	5/7	7/5
4c	21	9	12	3/7	6/5
Gesamt	276	137	139	75/106	62/33
1	61	34	27	19/21	15/6
2	86	42	44	23/35	19/9
3	59	27	32	17/26	10/6
4	70	24	36	16/24	18/12

Tabelle 5: Zusammensetzung der Stichproben und Angaben zu den musikalischen Vorkenntnissen der Schüler:innen.

Schulstufe/ Schüler/- innenzahl	Musikal. Vorkenntnisse Buben	Musikal. Vorkenntnisse Mädchen	Gesamt	Keine musikal. Vorkenntnisse Buben	Keine musikal. Vorkenntnisse Mädchen	Keine musikal. Vorkenntnisse gesamt
1 / 61	31,15	34,43	65,58	24,59	9,84	34,48
2 / 86	26,74	40,70	67,44	22,10	10,47	32,57
3 / 59	28,81	44,07	72,88	16,95	10,17	27,12
4 / 70	22,86	34,29	57,15	25,71	17,14	42,85

Tabelle 6: Angaben zu den musikalischen Vorkenntnissen bezogen auf die Schüler:innenzahl pro Schulstufe in Prozent.

Schulstufe/ Schüler/- innenzahl	Musikal. Vorkenntnisse Buben	Musikal. Vorkenntnisse Mädchen	Gesamt	Keine musikal. Vorkenntnisse Buben	Keine musikal. Vorkenntnisse Mädchen	Keine musikal. Vorkenntnisse gesamt
1	6,88	7,61	14,49	5,43	2,17	7,60
2	8,33	12,68	21,01	6,88	3,26	10,14
3	6,16	9,42	15,58	3,62	2,17	5,79
4	5,80	8,70	14,50	6,52	4,35	10,87
Gesamt	27,17	38,41	65,58	21,45	11,95	34,40

Tabelle 7: Angaben zu den musikalischen Vorkenntnissen bezogen auf die Gesamtzahl der Schüler:innen in Prozent.

Nahezu zwei Drittel der Kinder gaben an ein Musikinstrument zu spielen oder gespielt zu haben. Es zeigt sich, dass über alle Schulstufen betrachtet mehr Mädchen ein Instrument spielen als Buben. In der ersten Schulstufe sind es nahezu noch gleiche viele Buben wie Mädchen, in den höheren Klassen verschiebt sich das Verhältnis zugunsten der Mädchen.

Der folgenden Tabelle sind Angaben zur Befindlichkeit der Kinder zu Beginn der Befragung sowie Angaben zur Schwierigkeit der Aufgabenstellung zu entnehmen. Da einige Kinder die Befragung als „cool“ bezeichneten, ist dies extra vermerkt.

Klasse	Angaben zur Befindlichkeit sehr gut – geht so – nicht so gut				cool	Angaben zur Aufgabe leicht – schwierig – langweilig			
				Un- gültig					Ungültig
1a	11	1	5	0	0	7	3	7	0
1b	14	7	5	0	0	10	5	9	0
1c	14	2	2	2	1	6	2	11	1
2a	21	2	0	0	0	16	0	3	4
2b	14	6	1	0	1	20	1	0	0
2c	12	4	3	0	0	11	1	6	1
2d	16	5	2	0	1	19	0	2	2
3a	14	5	1	0	0	14	1	5	0
3b	8	5	1	0	0	12	0	2	0
3c	19	4	2	0	0	13	7	5	0
4a	18	5	2	0	6	10	12	3	0
4b	13	10	0	1	0	18	2	4	0
4c	13	8	0	0	0	16	2	3	0
Gesamt	187	64	24	3	9	172	36	63	8
1	35	10	12	2	1	23	0	27	1
2	63	17	6	0	2	66	2	11	7
3	41	14	4	0	0	39	8	12	0
4	44	23	2	1	0	44	16	10	0
Gesamt in Prozent	67,75	23,19	8,70	1,09	3,26	62,31	13,00	22,83	2,90

Tabelle 8: Klassenweise und schulstufenweise Erfassung der Angaben zur Befindlichkeit und der Aufgabenstellung bezogen auf die Gesamtzahl der Schüler:innen in Prozent.

7.2.2. Verwendete Stimuli

Als akustische Stimuli wurden 30 Klänge aus der Vienna Symphonic Library mit Grundtonhöhen im Frequenzbereich (Ambitus) von 131 bis 2093 Hz verwendet. Die Klangbeispiele hatten alle die gleiche Lautheit.

Bei der Wahl der Klangbeispiele wurde darauf geachtet unterschiedliche Instrumentenfamilien sowie verschiedene Arten der Klangerzeugung zu repräsentieren. Neben vertrauten Instrumentenklängen kamen auch insgesamt sechs synthetische Klänge (Sinus- und Sägezahn- in drei verschiedenen Oktavlagen) zum Einsatz. Durch die geometrischen Abmessungen, die einen Einfluss auf die Wellenlänge der erzeugten Töne haben und das Material der Instrumente sowie die Art der Tonerzeugung ergeben sich Unterschiede in den Klangeigenschaften, auf die in weiterer Folge noch näher eingegangen wird.

Zur Beschreibung eines Klanges können verschiedene Kategorien herangezogen werden. Low-Level-Merkmale werden als objektive Messwerte aus dem Audiosignal gewonnen. Mid-Level-Merkmale haben Modellcharakter und stellen eine Abstraktionsebene zwischen Low- und High-Level-Merkmalen dar. Als High-Level-Merkmale hingegen werden klangliche Eigenschaften bezeichnet, bei denen bereits kulturelle und subjektive Einflüsse zum Tragen kommen wie Valenz und Erregung im Zusammenhang mit Emotionen (Czedik-Eysenberg 2021, S. 38).

Für die Auswertung dieser Studie relevante Klangmerkmale werden in der folgenden Tabelle kurz beschrieben.

Klangmerkmal	bezogen auf	Kurzbeschreibung
Spectral Complexity (Spektrale Komplexität)	Timbre (Klangfarbe)	Spektrale Komplexität gemäß Laurier (Laurier et al. 2010), basierend auf dem Anteil der Peaks im Spektrum;
Spectral Decrease		Abnahme der spektralen Verteilung zu den hohen Frequenzen hin (basierend auf dem Regressionskoeffizienten);
Spectral Energy (Spektrale Energie)		Spektrale Energie berechnet als Fläche unter der quadrierten Magnitude des gesamten Frequenzspektrums;
Spectral Centroid (Spektrale Schwerpunkt)		Schwerpunkt des Frequenzspektrums als gewichteter Mittelwert aller enthaltenen Frequenzanteile in Hz;
Spectral Centroid (percussive)		Spektraler Schwerpunkt der perkussiven Anteile nach Harmonisch-perkussiv-Aufspaltung des Signals;

Timbral Warmth (klangfarbliche Wärme)		Modell für wahrgenommene klangfarbliche Wärme;
Dissonance (Dissonanz) (Kombinationstöne)	Noise (Geräusch- anteil)	Sensorische Dissonanz/Rauigkeit basierend auf den Frequenz- und Amplitudenverhältnissen der spektralen Peaks nach Plomp und Levelt (1965);
Roughness (Zwicker) Timbral Sharpness (Fastl-Zwicker)		Modell für wahrgenommene klangfarbliche Schärfe basierend auf dem Modell von Fastl und Zwicker (2006);
Roughness (Vassilakis) Timbral_roughness (Vassilakis-Fitz)		Modell für wahrgenommene klangfarbliche Rauigkeit basierend auf dem Modell von Vassilakis und Fitz (2007);
Spectral Flux (<100 Hz)		Spektrale Fluktuation; berechnet als L2-Norm der Differenz zwischen den Spektren aufeinanderfolgender Zeitfenster nach Tzanetakis und Cook (1999);
Hardness Timbral Hardness (klangfarbliche Härte)		Modell für wahrgenommene klangfarbliche Härte (wie in abrupten Anschlägen eines harten Materials);
Major und Minor Thirds strength (Tonnetz_major/minor_ thirds_strength)	Harmonic Features	Harmonische Präsenz von großen und kleinen Terzen auf Basis einer Tonnetz-Repräsentation;
Envelope Flatness (Spectral Flatness)	Temporal Features Envelope Features (zeitliche Hüllkurve)	Flachheit der spektralen Energieverteilung;
Envelope Kurtosis Spectral Kurtosis		Wölbung der spektralen Energieverteilung;
Unpleasantness (Ungefälligkeit)	Pitch Salience	Anteil von starken Amplituden im Bereich von 2 bis 4 kHz (Maß dafür, wie deutlich Tonhöhe erkennbar ist);
Partial 1 (relative strength), (Grundtönigkeit)		Relative Stärke des ersten Teiltones;
Pitch Salience (Tonhöhen- wahrnehmung)		Maß für die Tonhöhenwahrnehmung (normalisiert zwischen 0 und 1; harmonische Klänge tendieren zu höheren Werten);
Tonal Energy		Energieanteil des Spektrums harmonischer Vielfacher des Grundtons (Maß für die Energie aus dem Spektrum für die Tonhöhe);

*Tabelle 9: Beschreibung der für diese Arbeit relevanten Audiomerkmale
(Laurier et al. 2010, ohne Seitenangabe; nach Czedik-Eysenberg 2021, S. 260–264).*

Pro Musikinstrument beziehungsweise Klangquelle erklang der Ton C, dem Tonumfang des jeweiligen Instruments entsprechend in drei unterschiedlichen Oktavlagen (vgl. Tabelle 10), wobei die Klänge folgende Grundfrequenzen hatten: großes C (C2) = 131 Hz, kleines c (C3) = 262 Hz, c' (C4) = 523 Hz, c'' (C5) = 1047 Hz und c''' (C6) = 2093 Hz.¹ Das c' (C4) wurde von jeder Klangquelle gespielt. Der Ursprung des Klanges wurde nicht bekanntgegeben, um Assoziationen wie zum Beispiel Horn – Wald – Grün oder Klavier – Schwarz/Weiß zu vermeiden. Mitunter wurden aber in Abhängigkeit von der Schulstufe die Klangquellen von den Kindern erkannt beziehungsweise nachträglich erfragt. Jeder Klang hatte eine Dauer von drei Sekunden. Der Ton wurde pro Durchgang im Normalfall nur einmal abgespielt. Die Ausgabe der Klänge erfolgte über Lautsprecher (Tannoy Reveal 802) in gleicher Lautheit in einer den Kindern vertrauten Umgebung (Speisesaal der Schule).

Instrument (verwendete Abkürzung)	Oktavlagen des Tones C	Instrument (verwendete Abkürzung)	Oktavlagen des Tones C
Violoncello (c)	2 4 6	Flöte (f)	4 5 6
Gitarre (g)	3 4 5	Horn (h)	2 4 5
Klavier (p)	2 4 6	Trompete (t)	4 5 6
Oboe (o)	4 5 6	Sinuston (si)	2 4 6
Klarinette (k)	3 4 5	Sägezahnton (sa)	2 4 6

Tabelle 10: Präsentierte Oktavlagen des Tones C der jeweiligen Klangquellen.

Die Farbauswahl wurde auf zwölf Farben beschränkt, um die Zuordnung zu erleichtern und Spontaneität zu ermöglichen. Die Farben unterschieden sich speziell hinsichtlich Sättigung, Farbton und Helligkeit und wurden der Berkeley Color Project Farbpalette entnommen und leicht angepasst (vgl. Palmer et al. 2013, S. 8836–8841 & 2016). Eine Einschränkung auf zwölf Farben sollte die Kinder nicht vor zu große Entscheidungskonflikte stellen und die Zuordnung der Farben zu den Klängen erleichtern.

¹ In weiterer Folge wird für die Tonhöhenangabe die amerikanische Schreibweise verwendet.

Farbe	HEX	a	b	H	S	B	R	G	B
	#000000	0	0	0	0	0	0	0	0
	8c3b8c	75	-42	300	58	55	140	59	140
	7a5120	19	48	33	74	48	122	81	32
	c50335	100	30	345	98	77	197	3	53
	007ebd	-9	-48	200	100	74	0	126	189
	009c6e	-70	22	162	100	61	0	156	110
	e87f06	49	104	32	87	91	232	127	6
	fe81c2	82	-21	329	49	99	254	129	194
	8bb5d9	-8	-26	208	36	85	139	181	217
	97d631	-63	102	83	77	84	151	214	49
	fee50b	-14	127	54	96	99	254	229	11
	ffffff	0	0	0	0	100	255	255	255

Tabelle 11: Nähere Spezifikation der verwendeten Farben:

a = Rot/Grün-Achse (positive Werte = Rot, negative Werte = Grün),

b = Gelb/Blau-Achse (positive Werte = Gelb, negative Werte = Blau), *H* = Farbton, *S* = Sättigung, hier *B* = *V*=absolute Helligkeit, *R* = Rotanteil, *G* = Grünanteil, *B* = Blauanteil.

Die Reihenfolge der Klänge war randomisiert. Pro Blatt waren 15 Klänge zuzuordnen. Die Reihenfolge der Farben war auf jedem Blatt anders um Gewöhnung und Musterbildung zu vermeiden.

K L A N G												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												

Abbildung 19: Liste zum Eintragen der jeweiligen Farbe-Ton-Zuordnung.

7.3. Auswertung

Von den 276 Datensätzen waren 148 hinsichtlich Farbe-Ton-Zuordnung vollständig ausgefüllt. Bei allen anderen waren die Angaben zu den Instrumenten sowie Angaben zur Befindlichkeit nicht eindeutig. Unvollständige Angaben fanden sich auch bei den fünf Lieblingsfarben. Musikalische Vorkenntnisse beschränkten sich nur darauf, ob das Kind ein Instrument lerne und wenn ja welches. Die Dauer der Musizierpraxis konnte im Rahmen dieser Befragung nicht

erhoben werden. Die Angaben dienen nur zur Beschreibung der Proband:innen und blieben bei der Auswertung unberücksichtigt.

Ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Reifegrad der Kinder und nicht ausgewerteten Fragebögen ist festzustellen und lässt den Schluss zu, dass Schulanfänger:innen mit der Aufgabenstellung zum Teil überfordert waren. Bei den Farbe-Ton-Zuordnungen kam es mitunter zu Mehrfachzuordnungen, beziehungsweise Auslassungen. Ausgewertet wurden 257 Fragebögen, da jene mit mehr als 10 fehlenden Zuordnungen ausgeschieden wurden. Der Aspekt des „voneinander Abschreibens“ konnte aufgrund der Nichtüberprüfbarkeit in der Auswertung nicht berücksichtigt werden.

Die nicht in der Auswertung berücksichtigten Datensätze verteilen sich wie folgt auf die 13 Schulklassen:

Klasse	Buben	Mädchen	Gesamt		Klasse	Buben	Mädchen	Gesamt
1a	1	0	1		3a	0	0	0
1b	7	2	9		3b	0	1	1
1c	2	1	3		3c	1	1	2
2a	0	0	0		4a	0	0	0
2b	1	0	1		4b	0	0	0
2c	0	0	0		4c	0	0	0
2d	1	1	2		Gesamt	13	6	19

Tabelle 12: Verteilung der nicht ausgewerteten Fragebögen auf Klassen und Geschlecht der Kinder.

Die Daten wurden mit Hilfe von Microsoft Excel ausgewertet. Die Korrelationen wurden in Bezug auf Farbcharakteristika und Klangeigenschaften berechnet und ein Signifikanzniveau mit p kleiner 0,05 (Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %) festgelegt. Die Häufigkeit der Farbwahl wurde hinsichtlich Klangbeispiele, Tonhöhen, Schulstufe und Geschlecht erhoben und miteinander verglichen. Die Visualisierung der Daten erfolgte mit Hilfe von p5js und plotly.js (aus der quelloffenen JavaScript-Bibliothek) und steht zur interaktiven Nutzung zur Verfügung (vgl. Kapitel 8.2.2).

8. Diskussion der Ergebnisse

Im Folgenden sollen die Ergebnisse im Zusammenhang mit den aufgestellten Hypothesen analysiert und diskutiert werden. Zuerst soll kurz auf die Lieblingsfarben der Kinder, die sie am Ende der Befragung angeben sollten, eingegangen und mit zwei Studien verglichen werden.

8.1. Deskriptive Erhebung der Lieblingsfarben der Kinder

Lediglich ein Bub gab an, dass er alle Farben gleich gernhätte. Es zeigte sich, dass Blau die mit Abstand beliebteste Farbe ist. Die folgenden Abbildungen veranschaulichen die Verteilung der Lieblingsfarben über alle Schulstufen und nach Geschlecht differenziert. Die graue Datenreihe erfasst die ungültigen Angaben. Alle Angaben in Prozent finden sich im Anhang S. 127.

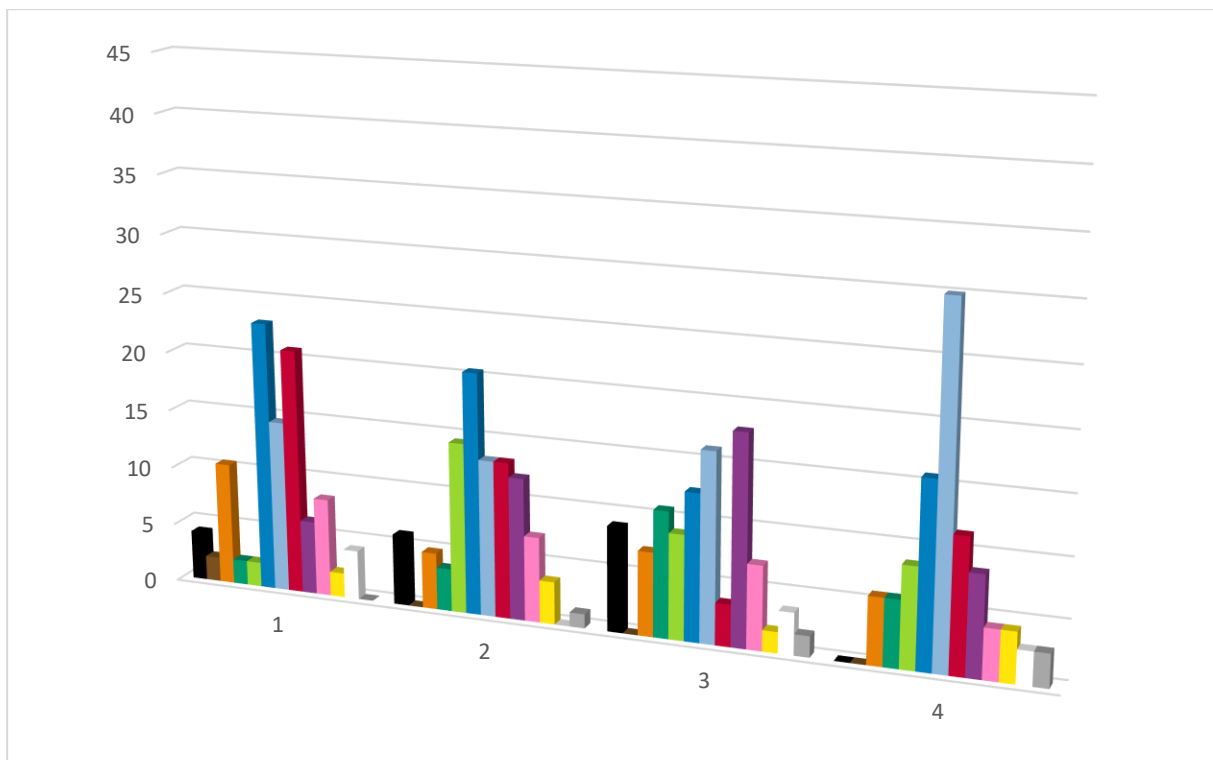


Abbildung 20: Verteilung der Lieblingsfarben pro Schulstufe (x-Achse) in Prozent (y-Achse).

Dunkelblau (22,92 %) und Rot (20,83 %), beides Farben mit hoher Sättigung, sind mit Abstand die beliebtesten Farben der Erstklässler:innen. In der zweiten Schulstufe bleibt die Bevorzugung der Farbe Dunkelblau (20,48 %). In der dritten Schulstufe ist Violett die beliebteste Farbe (17,83 %). Hellblau ist mit Abstand die Lieblingsfarbe der Viertklässler:innen (30 %) gefolgt von Dunkelblau (15,7 %).

Nach Geschlecht aufgeschlüsselt zeigt sich Folgendes:

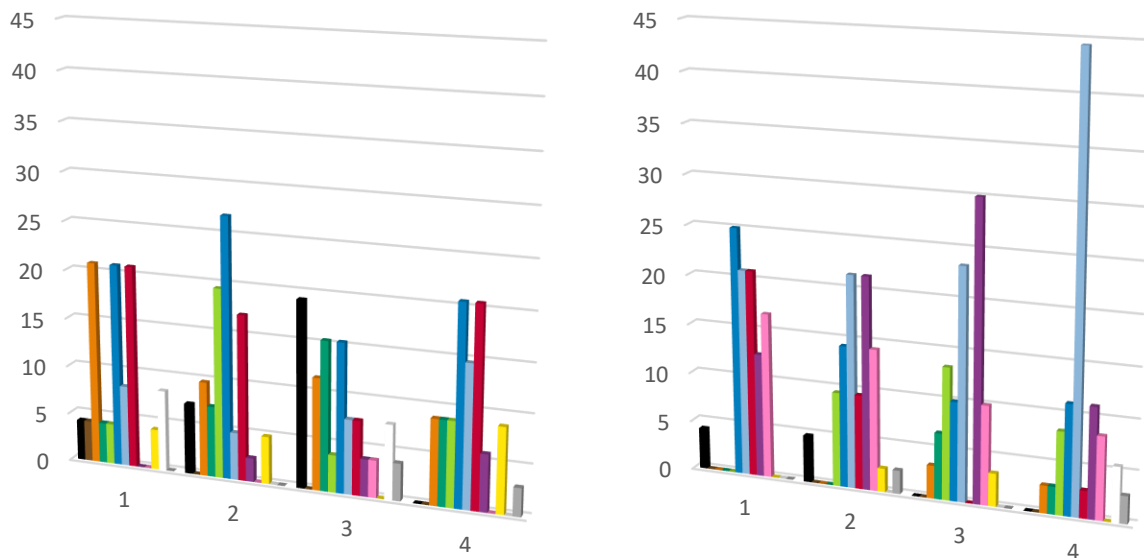


Abbildung 21: Vergleich der Verteilung der Lieblingsfarben der Buben (links) und Mädchen (rechts) pro Schulstufe (x-Achse).

Die Buben der ersten Schulstufe geben den Farben Orange, Dunkelblau und Rot den Vorzug, in der zweiten Schulstufe wird die Farbe Dunkelblau am häufigsten als Lieblingsfarbe angegeben (26,83 %). Schwarz (19,23 %) ist die Lieblingsfarbe der Drittklässler und in der vierten Schulstufe zählen wieder Dunkelblau und Rot (beide 20,59 %) zu den Lieblingsfarben der Buben.

Bei den Mädchen fällt eine starke Vorliebe für die Farbe Hellblau auf, die in der vierten Schulstufe am ausgeprägtesten ist (44,44 %). In der ersten Klasse ist die beliebteste Farbe Dunkelblau vor Hellblau und Rot. Bei den Mädchen der dritten Schulstufe zeigt sich, dass Violett (30 %) die beliebteste Farbe ist. Die Farbvorlieben sind in den unteren Schulstufen weiter gestreut als in der vierten Schulstufe.

Beim Vergleich der Farbvorlieben der Buben und Mädchen zeigt sich, dass diese bei den Mädchen weniger breit gestreut sind. Besonders beliebt bei den Mädchen sind generell die Farben Hellblau und Violett, beides Farben mit geringer Sättigung (36 % und 58 %). Die Buben hingegen bevorzugen Farben mit hoher Sättigung wie Dunkelblau und Rot (100 % und 98 %).

Eine deskriptive Analyse der Daten zeigt keinen dahingehenden Trend, dass mit aufsteigender Klasse die Streuung geringer wird. Nur hinsichtlich Sättigung, die im Folgenden näher

beschrieben werden soll, zeigt sich eine leichte Abnahme des durchschnittlichen Wertes mit höherer Schulstufe. Gleichzeitig ist aber auch die Varianz und Standardabweichung des Sättigungsmittelwerts in der vierten Schulstufe am höchsten.

	S-MW	Standardabweichung	Varianz	Spannweite
1. Klasse	88,23	24,63	606,54	64
2. Klasse	88,06	21,94	597,94	64
3. Klasse	85,90	24,90	620,09	64
4. Klasse	76,10	29,69	881,40	64

Tabelle 13: Sättigungsmittelwert S-MW, Standardabweichung (Maß für Abweichung der Werte vom Sättigungsmittelwert), Varianz (ähnlich wie Standardabweichung nur quadriert berechnet), Spannweite (Differenz zwischen größtem und kleinstem Wert, d. h. zwischen Sättigungen der zugehörigen Farben).

Beim Vergleich dieser Erhebung mit Studien, die von Emmett 1994 und von Frieling 2006 durchgeführt wurden, muss zum einen die große Varianz sowie Standardabweichung berücksichtigt werden und zum anderen, dass es sich um unterschiedliche Gruppen von Versuchspersonen und Methoden handelt. Dennoch sollen beide Studien zu einem Vergleich herangezogen werden. Emmett erhob in ihrer Studie zur Farbe-Ton-Beziehung bei Kindern aus dem Jahr 1994 die Beliebtheit der Farben, wobei sie nach drei Altersgruppen unterschied. In der ersten Altersgruppe wurden die Sechsjährigen einer öffentlichen Volksschule, in der zweiten die Zehnjährigen einer öffentlichen Volksschule und in der dritten Gruppe die Vierzehnjährigen eines öffentlichen Gymnasiums erfasst. Frieling befasste sich mit dem Stellenwert der Farben bezüglich Lieblingsfarben ebenso nach Alter und Geschlecht, wobei sich generell sagen lässt, dass Blau, Rot und Grün zu den beliebtesten Farben zählen (Frieling 2006², S. 28, 67–87, 91–118; Welsch & Liebmann 2012, S. 55). Alle drei Farben besitzen eine hohe Sättigung.

Farbe	Nach Emmett (1994)	Nach Frieling (2006)	In dieser Studie (2022)
Rot	Verwendung nimmt mit zunehmendem Alter der Kinder ab;	von ca. 16 % der Kinder gewählt, bevorzugt in der kindlichen Trotzphase, Höhepunkt zwischen neun und zehn Jahren, selten abgelehnt, ab ca. 10. Lebensjahr Lieblingsfarbe von ca. 12 %;	Beliebtheit nimmt mit zunehmenden Alter ab, Ausnahme Buben der vierten Schulstufe, im Schnitt von 12,3 % der Kinder gewählt;

² Es sei darauf hingewiesen, dass sich bei Frieling keine Informationen bezüglich Art der Datenerhebung, Zahl und Demographie der befragten Personen finden.

Rosa		eindeutig weiblich bevorzugt;	Eindeutig weiblich bevorzugt gewählt, am häufigsten noch von Mädchen der 1. und 2. Schulstufe;
Orange		von ca. 3,5 % der Kinder gewählt (bei Männern beliebt);	Häufiger von Buben als von Mädchen gewählt;
Gelb	Verwendung nimmt mit zunehmendem Alter der Kinder ab;	bei Vorschulkindern beliebt, in der Pubertät häufig von Buben bevorzugt;	Häufiger von Buben als von Mädchen gewählt;
Braun		bei Kindern hohe Braunablehnung;	selten angeführt;
Grün	in der Altersgruppe der 10-jährigen Kinder beliebter als in den beiden anderen Altersgruppen;	am meisten bevorzugt zw. 11 und 12 Jahren, nach der Pubertät verstärkt vom männlichen Geschlecht bevorzugt;	Dunkelgrün von Buben häufiger bevorzugt als von Mädchen, augenfällige Bevorzugung von Hellgrün von Buben der zweiten Schulstufe;
Blau	am wenigsten in der Gruppe der 10-Jährigen gewählt;	im Kindesalter eher unbedeutend, von ca. 7 % der Kinder gewählt, von männlichen Jugendlichen zwischen 13 und 14 Jahren von ca. 15 % bevorzugt, Höhepunkt der Blauvorliebe bei Mädchen erst zwischen 17 und 19 Jahren;	Dunkelblau zählt bei den Buben zu den beliebtesten Farben, Hellblau hingegen bei den Mädchen, besonders der vierten Schulstufe;
Violett		bei 5 bis 10-Jährigen beliebt danach eher abgelehnt;	Offensichtliche Vorliebe bei Mädchen der zweiten und dritten Schulstufe;
Schwarz	Verwendung nimmt mit zunehmenden Alter der Kinder zu;	Ablehnung bei Kindern zwischen 5 und 8 Jahren, bevorzugt im Teenageralter;	Auffällige Bevorzugung von Buben der dritten Schulstufe, keine Nennung in der vierten Schulstufe;
Weiß	in keiner der Altersgruppen häufig verwendet;	Ablehnung im Kindesalter (Angst vor Leere), Beliebtheit steigt nach der Pubertät;	Zählt weder bei Buben noch bei Mädchen zu den häufig gewählten Farben;

*Tabelle 14: Beliebtheit von Farben in Bezug auf Alter und Geschlecht
(Frieling 2006, S. 27, 30–31, 67–87, 91–118; Emmett 1994, S. 117, 126).*

Ein Vergleich der drei Studien zeigt, dass die Beliebtheit der Farbe Blau bei den Kindern, die als Versuchspersonen für diese Studie befragt wurden, wesentlich größer war als in den beiden anderen Studien, wobei in diesen nicht zwischen Hell- und Dunkelblau unterschieden wurde. Ein möglicher Grund für die Blaubevorzugung könnte möglicherweise mit der blauen

Schulkleidung zusammenhängen. Nicht unbeachtet bleiben darf, dass die beiden anderen Studien viele Jahre zurückliegen und die Studiendesigns unterschiedlich waren. Im Gegensatz dazu finden sich bei Welsch & Liebmann Angaben zur Beliebtheit der Farbe Violett im Rahmen einer Befragung von 1500 Schulkindern vor der Pubertät. 75 Prozent der Kinder entschieden sich für Violett als ihre Lieblingsfarbe, die Beliebtheit der Farbe nahm nach der Pubertät aber rasch ab (Welsch & Liebmann 2012, S. 55). Dieser Befund steht nicht im Widerspruch zu den Ergebnissen nach Frieling. Bei der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studie zeigt die Geschlechterdifferenzierung, dass Violett besonders von Mädchen bevorzugt wird und die Buben sich häufiger für gesättigtere Farben entscheiden als die Mädchen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob diese Vorlieben einen Einfluss auf die Farbe-Klangfarbe-Assoziation haben.

8.2. Untersuchung der aufgestellten Hypothesen

Im Folgende sollen die Ergebnisse zu den in Kapitel 7.1 aufgestellten Hypothesen präsentiert und überprüft werden.

8.2.1. Vergleich der Farbe-Ton-Zuordnung nach Schulstufen und Geschlecht

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass, um Gewöhnungseffekte zu vermeiden, die Reihenfolge der Farben auf jeder Seite des Fragebogens ebenso wie die Abfolge der Klangbeispiele in beiden Durchgängen unterschiedlich waren. Letzteres könnte aber die Gefahr mit sich bringen, dass die unterschiedlichen Tonhöhendifferenzen zwischen den Klangereignissen einen Einfluss auf die Farbzuhordnung haben. Die Diskussion der Ergebnisse nimmt dabei Bezug auf Hypothese 1:

Ungerichtete H1: Es gibt Unterschiede hinsichtlich der Farbe-Ton-Zuordnung bei Kindern aus unterschiedlichen Schulstufen und unterschiedlichen Geschlechts.

H01: Es gibt keine Unterschiede zwischen den Schulstufen und dem Geschlecht in Bezug auf die Farbe-Ton-Zuordnung der Kinder.

Die Häufigkeit der Zuordnung einer bestimmten Farbe zu einem Klang innerhalb einer Schulstufe lässt sich in Heatmaps visualisieren. (Heatmaps für alle verwendeten Farben finden sich im Anhang auf S. 128–133). Die Heatmaps geben die Häufigkeit der Zuordnung einer bestimmten Farbe zu einem Klang innerhalb einer Schulstufe in Prozent an. Die Farbintensität

ergibt sich aus der in Prozent angegebenen Anzahl der jeweiligen Zuordnungen zu den Klangbeispielen. Die Daten wurden keiner statistischen Auswertung unterzogen, sollen aber im Folgenden diskutiert sowie mit Angaben aus der Literatur verglichen werden. Exemplarisch soll auf die Darstellung zweier Farb-Instrumenten- beziehungsweise Klang-Zuordnungen detaillierter eingegangen werden.

Klang	Häufigkeit in Prozent - Schwarz				Häufigkeit in Prozent - Dunkelgrün			
	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.
Cello C2	48,95	41,57	58,93	46,43	4,17	3,01	1,79	3,57
Cello C4	7,29	6,63	3,57	2,86	3,13	7,23	8,04	7,14
Cello C6	1,04	3,01	0,9	3,57	1,04	1,81	1,79	0,71
Flöte C4	6,25	4,82	7,14	4,29	2,08	9,04	8,04	8,57
Flöte C5	1,04	1,81	2,68	1,43	5,21	2,41	6,25	6,43
Flöte C6	1,04	2,41	2,68	1,43	2,08	1,81	0,89	2,86
Gitarre C3	12,5	16,88	13,4	10,71	6,25	6,63	7,14	12,86
Gitarre C4	6,25	1,81	0,9	1,43	5,21	4,82	6,25	7,86
Gitarre C5	3,13	1,2	0,9	2,14	4,17	5,42	1,79	2,14
Horn C2	23,96	17,47	30,36	30,71	5,21	4,82	10,71	2,14
Horn C4	5,21	8,43	8,93	6,43	8,33	6,02	8,93	7,14
Horn C5	3,13	1,81	1,79	1,43	6,25	3,01	6,25	2,86
Klarinette C3	30,21	25,9	21,43	17,14	3,13	4,82	7,14	10
Klarinette C4	10,42	9,64	5,36	1,43	8,33	7,83	10,71	15
Klarinette C5	4,17	3,61	0	0	6,25	4,22	3,57	2,14
Piano C2	47,92	48,19	54,46	32,14	6,25	2,41	3,57	5
Piano C4	2,08	2,41	2,68	2,14	1,04	4,82	4,46	0,71
Piano C6	2,08	3,61	1,79	2,86	2,08	1,2	2,68	2,14
Oboe C4	6,25	3,01	2,68	2,14	7,29	7,83	11,61	6,43
Oboe C5	1,04	2,41	3,57	0	2,08	4,22	5,36	2,14
Oboe C6	3,13	0,6	0	1,43	5,21	2,41	0	2,14
Sägezahn C2	53,13	49,4	54,46	42,86	4,17	4,82	2,68	3,57
Sägezahn C4	14,58	6,02	16,96	13,57	10,42	7,83	13,39	8,57
Sägezahn C6	5,21	2,41	4,46	5	0	4,22	2,68	2,86
Sinus C2	60,42	40,36	53,57	49,29	2,08	3,01	5,36	4,29
Sinus C4	10,42	6,02	6,25	2,14	5,21	7,23	4,46	8,57
Sinus C6	5,21	2,41	2,68	2,14	1,04	3,61	3,57	2,14
Trompete C4	8,33	4,82	0	5	6,25	7,23	8,04	7,14
Trompete C5	3,13	4,22	1,79	3,57	2,08	4,82	6,25	5
Trompete C6	4,17	2,41	0	1,43	4,17	2,41	1,79	2,14

Tabelle 15: Schulstufenweiser Vergleich der Zuordnung der Farben Schwarz und Dunkelgrün.

Bei Schwarz fällt auf, dass es eine sehr große Schwankungsbreite (0 bis 60 %) aufweist und besonders für Klänge aus dem tiefen Register gewählt wird, wohingegen Klänge im hohen Register selten mit Schwarz assoziiert werden. Auf den Zusammenhang zwischen tiefen Tönen

und dunklen Farben wurde bereits mehrfach hingewiesen. Im Vergleich dazu wird Dunkelgrün generell selten gewählt und weist auch einen geringen Schwankungsbereich auf (0 bis 15 %), wobei es vorzugsweise dem mittleren Register zugewiesen wird.

Für das hohe Register C6 werden von den Kindern aller Schulstufen bevorzugt die Farben Weiß mit 0 Prozent und Gelb mit 100 Prozent Farbsättigung, aber ähnlicher Helligkeit gewählt, wobei teiltonarme und teiltonreiche Klänge vergleichbar zugeordnet werden. In allen vier Klassen³ wird dem Sägezahnton C6 (27,08 % / 29,52 % / 33,93 % / 28,57 %) und dem Sinuston C6 (31,25 % / 29,52 % / 33,93 % / 28,57 %) am häufigsten Weiß zugeordnet. Auffällig ist, dass für beide synthetischen Klänge die Farbe Weiß vorzugsweise gewählt wird, obwohl sich die Klänge in ihrem Teiltonreichtum signifikant voneinander unterscheiden. Am häufigsten wird dem Cello C6 (31,25 % / 28,92 % / 27,68 % / 34,92 %) sowie der Trompete C6 (22,92 % / 30,72 % / 29,46 % / 32,14 %) die Farbe Gelb zugeordnet. Die Farbe Gelb für hohe Trompetentöne findet sich auch bei Reuter et al 2018 (vgl. Tabelle 20).

Die Farben Rot und Orange weisen eine vergleichbare Sättigung und Helligkeit auf, unterscheiden sich aber wesentlich im Farbton und in ihren Blau/Grün-Anteilen. Im Zusammenhang mit diesen beiden Farben sei erwähnt, dass von den Kindern der vierten Klasse dem teiltonreichen Sägezahnton C4 (22,14 %) und Trompetenton auf C4 (20,00 %) bevorzugt die Farbe Rot zugeordnet wird. Eine starke Rot-Bevorzugung für den Trompeten- und Sägezahnton findet sich bereits in der Literatur, worauf in weiterer Folge noch näher eingegangen werden soll (Feller & Reuter 2023, S. 1164–1165). Eine bevorzugte Rot-Zuordnung wurde auch für den teiltonreichen Klang des Horns vorgenommen, ein Ergebnis, das bereits in früheren Studien gefunden wurde (Reuter et al. 2018). Dem teiltonarmen Sinuston auf C4 und C6 wird von den Kindern bevorzugt Orange als Rot zugeordnet.

Rosa und Violett unterscheiden sich in erster Linie durch das höhere Maß an Helligkeit der Farbe Rosa, die auch einen höheren Rot- und Grünanteil aufweist. Hier zeigt sich, dass die Farbe Rosa häufiger dem mittleren und hohen Register zugeordnet wird als dem tiefen Register. Der höchste Wert findet sich bei Horn C5 (17,86 %) in der dritten Schulstufe. Violett wird in der dritten Schulstufe, verglichen mit den anderen Schulstufen, häufiger gewählt, wobei hier

³ Angaben in Prozent, nach Klassen 1-4;

besonders das Klavier auf C4 (16,96 %) und der Sinuston auf C4 (16,07 %) mit dieser Farbe in Verbindung gebracht werden.

Das für diese Studie ausgewählte Dunkelblau weist im Gegensatz zu Hellblau eine wesentlich höhere Sättigung auf. Ein weiterer Unterschied ist der höhere Grünanteil der Farbe Hellblau. Auffällig ist das hohe Maß, mit dem die Farbe Hellblau von Kindern der vierten Schulstufe der Oktavlage C4 des Klaviers (25 %) zugeordnet wird. Dunkelblau wird von allen Klängen mit dem Sinuston auf C4 in der dritten Schulstufe am häufigsten (15,18 %) in Verbindung gebracht, gefolgt von Trompete auf C4 in der vierten Schulstufe (14,28 %).

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Farben Hell- und Dunkelgrün zeigt sich im hohen Blauanteil des Dunkelgrüns. Es fällt auf, dass bei den synthetischen Klängen auf C4 dem teiltonreichen Sägezahnnton in höherem Maße Dunkelgrün, also jene Farbe mit einem höheren Blauanteil, zugeordnet wird (10,42 % / 7,83 % / 13,39 % / 8,57 %), den höchsten Wert für Hellgrün findet sich für den teiltonarmen Ton der Flöte auf C5 (17,14 %) bei den Kindern der vierten Schulstufe.

Bei der Farbe Schwarz betragen die Werte nach HSV und RGB-System Null, während sich Braun durch einen hohen Rotanteil auszeichnet. Sowohl der Sinus- als auch der Sägezahnnton weisen ein hohes Maß an Zuordnung der Farbe Schwarz in der Oktavlage C2 mit dem höchsten Wert für den Sinuston C2 in der ersten Schulstufe (60,42 %) auf. Mit Ausnahme des Horns C2 und der Gitarre C3 wird allen tiefen Tönen in hohem Maße die Farbe Schwarz zugeordnet. Auffällig ist die Bevorzugung der Farbe Braun in der vierten Schulstufe für die Klänge des Horns C2 (45,71 %) und des Sägezahntons C2 (37,14 %). Diese Befunde decken sich mit Ergebnissen aus früheren Studien mit Erwachsenen (Reuter et al. 2018).

Nach Auswertung der 257 Fragebögen konnten aus den RGB-Werten der gewählten Farben folgende Durchschnittsfarben zu den 30 Klangbeispielen ermittelt werden:

Ton- höhe	Cello	Flöte	Gitarre	Horn	Klarinette	Klavier	Oboe	Säge- zahn	Sinus	Trompete
C2										
C3										
C4										
C5										
C6										

Abbildung 22: Ermittelte Durchschnittsfarben für die Klänge von Cello, Flöte, Gitarre, Horn, Klarinette, Klavier, Oboe, Sägezahn, Sinus und Trompete der verschiedenen Oktavlagen von C.

Vorab lässt sich sagen, dass Kinder von der ersten bis vierten Schulstufe hohen Tönen helle Farben und tiefen Tönen dunkle zuordnen, was frühere Forschungsergebnisse bestätigt (vgl. Kapitel 5.2). In weiterer Folge sollen die getroffenen Farbe-Ton-Zuordnungen hinsichtlich signifikanter geschlechtsspezifischer und/oder schulstufenabhängiger Unterschiede genauer untersucht werden.

Zur Überprüfung der Zusammenhänge zwischen Schulstufe beziehungsweise Geschlecht in Bezug auf Farbe-Ton-Zuordnungen, wobei in diesem Fall nach drei Registern unterschieden wird, erfolgt die Berechnung der Korrelationskoeffizienten r nach Pearson. Für alle Angaben gilt hinsichtlich des Signifikanzniveaus $p < 0,05$.

Bezüglich des Geschlechts lässt sich sagen, dass über alle Tonhöhen und Klangquellen hinsichtlich Farbton und Helligkeit die Übereinstimmung zwischen Buben und Mädchen hoch ist. Lediglich in Bezug auf Farbsättigung und Blauwerte im hohen Register gibt es geschlechtsspezifische Abweichungen. Die höchsten Korrelationen zwischen Buben und Mädchen bei der Farbe-Ton-Zuordnung finden sich für alle analysierten Farb-Parameter im tiefen Register. Geringere Korrelationen finden sich im hohen Register. Für den Blauanteil ($r = 0,300$) und die Farbsättigung ($r = 0,343$) ließen sich keine signifikanten Korrelationen ermitteln. Das heißt, dass hier zwischen der Farbwahl der Mädchen und Buben weniger Ähnlichkeiten bestehen als in den anderen Registern. Die genauen Werte sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

R	m	R(tief)	m	R(mitte)	m	R(hoch)	m
w	0,993	w	0,991	w	0,956	w	0,775
G	m	G(tief)	m	G(mitte)	m	G(hoch)	m
w	0,988	w	0,981	w	0,966	w	0,705
B	m	B(tief)	m	B(mitte)	m	B(hoch)	m
w	0,950	w	0,931	w	0,853	w	0,300
H	m	H(tief)	m	H(mitte)	m	H(hoch)	m
w	0,937	w	0,938	w	0,739	w	0,895
S	m	S(tief)	m	S(mitte)	m	S(hoch)	m
w	0,877	w	0,970	w	0,719	w	0,343
V	m	V(tief)	m	V(mitte)	m	V(hoch)	m
w	0,996	w	0,996	w	0,957	w	0,697

Tabelle 16: Korrelationen zwischen männlichen und weiblichen Versuchspersonen hinsichtlich getroffener Farbe-Ton-Zuordnung nach Tonhöhen und Farbcharakteristika: R = Rotanteil, G = Grünanteil, B = Blauanteil, H = Farbton, S = Sättigung, V = Helligkeit; die Bezeichnungen hoch, mitte, tief beziehen sich auf das Register des Tones C.

In Bezug auf Unterschiede zwischen den Schulstufen fällt wiederum das tiefe Register mit einer hohen Korrelation für die analysierten Farb-Parameter auf ($r = 0,982$ und $0,833$, wobei die Korrelationen zwischen der ersten und vierten Schulstufe geringfügig niedriger sind). Anders verhält es sich im mittleren und hohen Register in Bezug auf Blauanteil, Farbton und Sättigung. Dies lässt den Schluss zu, dass die Farbe-Ton-Zuordnung im mittleren und hohen Register altersabhängig stärker variiert als im tiefen Register. Die höchste Uneinigkeit zeigt sich bei den gewählten Farben im Zusammenhang mit dem Blau-Anteil, der eine negative Korrelation im hohen Register zwischen der dritten und vierten Schulstufe aufweist. Das deutet darauf hin, dass mit ansteigender Tonhöhe die Übereinstimmung zwischen den Schulstufen umso geringer ausfällt, was den Blauanteil der gewählten Farbe betrifft. Geringfügige Unterschiede zeigen sich auch hinsichtlich der Helligkeit der gewählten Farbe im hohen Register, die zu anderen

Farbzuordnungen zwischen zweiter und dritter als auch erster und vierter Schulstufe führt. Detaillierte Informationen sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

R	KI2	KI3	KI4		R(tief)	KI2	KI3	KI4		R(mitte)	KI2	KI3	KI4		R(hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,975	0,977	0,977		KI1	0,934	0,965	0,954		KI1	0,834	0,877	0,804		KI1	0,883	0,544	0,771
KI2		0,980	0,978		KI2		0,961	0,950		KI2		0,867	0,792		KI2		0,679	0,929
KI3			0,978		KI3			0,958		KI3			0,850		KI3			0,753
G	KI2	KI3	KI4		G(tief)	KI2	KI3	KI4		G(mitte)	KI2	KI3	KI4		G(hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,979	0,978	0,97		KI1	0,946	0,979	0,939		KI1	0,844	0,891	0,858		KI1	0,897	0,729	0,698
KI2		0,979	0,966		KI2		0,933	0,944		KI2		0,898	0,662		KI2		0,741	0,785
KI3			0,965		KI3			0,891		KI3			0,822		KI3			0,714
B	KI2	KI3	KI4		B(tief)	KI2	KI3	KI4		B(mitte)	KI2	KI3	KI4		B(hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,931	0,911	0,847		KI1	0,94	0,931	0,859		KI1	0,531	0,629	0,245		KI1	0,64	0,187	0,061
KI2		0,942	0,914		KI2		0,933	0,87		KI2		0,655	0,742		KI2		0,63	0,275
KI3			0,91		KI3			0,91		KI3			0,74		KI3			-0,334
H	KI2	KI3	KI4		H(tief)	KI2	KI3	KI4		H(mitte)	KI2	KI3	KI4		H(hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,839	0,737	0,681		KI1	0,982	0,977	0,829		KI1	0,323	0,07	-0,042		KI1	0,53	0,119	0,563
KI2		0,908	0,859		KI2		0,971	0,827		KI2		0,691	0,793		KI2		0,771	0,753
KI3			0,848		KI3			0,875		KI3			0,704		KI3			0,608
S	KI2	KI3	KI4		S(tief)	KI2	KI3	KI4		S(mitte)	KI2	KI3	KI4		S(hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,857	0,829	0,754		KI1	0,945	0,951	0,891		KI1	0,387	0,712	0,538		KI1	0,624	0,04	0,044
KI2		0,851	0,827		KI2		0,922	0,833		KI2		0,256	0,684		KI2		0,602	0,619
KI3			0,813		KI3			0,9		KI3			0,559		KI3			0,187
V	KI2	KI3	KI4		V(tief)	KI2	KI3	KI4		V(mitte)	KI2	KI3	KI4		V(hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,981	0,985	0,977		KI1	0,95	0,982	0,951		KI1	0,886	0,903	0,897		KI1	0,908	0,435	0,451
KI2		0,983	0,973		KI2		0,97	0,937		KI2		0,907	0,838		KI2		0,542	0,643
KI3			0,983		KI3			0,969		KI3			0,903		KI3			0,733

Tabelle 17: Korrelationen zwischen den einzelnen Schulstufen hinsichtlich getroffener Farbe-Ton-Zuordnung nach Tonhöhen und Farbcharakteristika: R = Rotanteil, G = Grünanteil, B = Blauanteil, H = Farbton, S = Sättigung, V = Helligkeit; die Bezeichnungen hoch, mitte, tief beziehen sich auf das Register des Tones C.

Unter Berücksichtigung der geschlechtsspezifischen Unterschiede zeigen sich bei den Mädchen im tiefen Register und insgesamt im Zusammenhang mit dem Blau-Anteil, der Farbsättigung und Helligkeit geringere Korrelationen zwischen den Schulstufen als bei den Buben. Im Mittelregister zeigen sich keine großen Unterschiede zwischen Mädchen und Buben. Im hohen Register zeigen sich höhere Korrelationen im Zusammenhang mit dem Grünanteil bei der Farbwahl der Mädchen. Umgekehrt verhält es sich aber in Bezug auf die Farbsättigung, in diesem Fall zeigt sich, dass bei den Buben die Korrelationen zwischen den Schulstufen größer sind als bei den Mädchen. In Bezug auf die Helligkeit der gewählten Farben sind die Korrelationen bei den Mädchen höher als bei den Buben. Detaillierte Angaben finden sich in Tabelle 18 und 19.

R(m)	KI2	KI3	KI4	R(m, tief)	KI2	KI3	KI4	R(m, mitte)	KI2	KI3	KI4	R(m, hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,947	0,937	0,923	KI1	0,897	0,846	0,871	KI1	0,709	0,818	0,314	KI1	0,786	0,332	0,885
KI2		0,960	0,956	KI2		0,956	0,953	KI2		0,722	0,486	KI2		0,321	0,864
KI3			0,937	KI3			0,919	KI3			0,497	KI3			0,368
G(m)	KI2	KI3	KI4	G(m, tief)	KI2	KI3	KI4	G(m, mitte)	KI2	KI3	KI4	G(m, hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,962	0,96	0,96	KI1	0,887	0,899	0,932	KI1	0,788	0,802	0,663	KI1	0,718	0,526	0,549
KI2		0,967	0,963	KI2		0,932	0,929	KI2		0,898	0,747	KI2		0,383	0,501
KI3			0,952	KI3			0,892	KI3			0,639	KI3			0,719
B(m)	KI2	KI3	KI4	B(m, tief)	KI2	KI3	KI4	B(m, mitte)	KI2	KI3	KI4	B(m, hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,904	0,854	0,899	KI1	0,861	0,924	0,905	KI1	0,403	0,163	0,235	KI1	0,8	0,264	0,73
KI2		0,901	0,912	KI2		0,899	0,85	KI2		0,378	0,412	KI2		0,29	0,562
KI3			0,891	KI3			0,867	KI3			0,536	KI3			-0,172
H(m)	KI2	KI3	KI4	H(m, tief)	KI2	KI3	KI4	H(m, mitte)	KI2	KI3	KI4	H(m, hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,82	0,759	0,788	KI1	0,885	0,929	0,824	KI1	0,49	0,101	0,191	KI1	0,622	0,377	0,523
KI2		0,784	0,856	KI2		0,972	0,874	KI2		0,517	0,75	KI2		0,276	0,644
KI3			0,794	KI3			0,858	KI3			0,48	KI3			0,471
S(m)	KI2	KI3	KI4	S(m, tief)	KI2	KI3	KI4	S(m, mitte)	KI2	KI3	KI4	S(m, hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,693	0,738	0,853	KI1	0,786	0,833	0,939	KI1	-0,09	0,454	0,218	KI1	0,782	0,141	0,813
KI2		0,642	0,763	KI2		0,762	0,744	KI2		-0,273	0,214	KI2		0,374	0,728
KI3			0,753	KI3			0,819	KI3			0,097	KI3			0,345
V(m)	KI2	KI3	KI4	V(m, tief)	KI2	KI3	KI4	V(m, mitte)	KI2	KI3	KI4	V(m, hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,962	0,955	0,949	KI1	0,922	0,912	0,912	KI1	0,778	0,83	0,577	KI1	0,789	-0,005	0,351
KI2		0,973	0,958	KI2		0,966	0,931	KI2		0,757	0,568	KI2		0,28	0,578
KI3			0,964	KI3			0,941	KI3			0,749	KI3			0,517

Tabelle 18: Korrelationen zwischen den Buben der einzelnen Schulstufen hinsichtlich getroffener Farbe-Ton-Zuordnung nach Tonhöhen und Farbcharakteristika: R = Rotanteil, G = Grünanteil, B = Blauanteil, H = Farbton, S = Sättigung, V = Helligkeit; die Bezeichnungen hoch, mitte, tief beziehen sich auf das Register des Tones C.

R(w)	KI2	KI3	KI4	R(w, tief)	KI2	KI3	KI4	R(w, mitte)	KI2	KI3	KI4	R(w, hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,964	0,965	0,957	KI1	0,888	0,952	0,947	KI1	0,758	0,766	0,586	KI1	0,902	0,308	0,69
KI2		0,959	0,952	KI2		0,892	0,896	KI2		0,745	0,681	KI2		0,515	0,803
KI3			0,964	KI3			0,963	KI3			0,632	KI3			0,729
G(w)	KI2	KI3	KI4	G(w, tief)	KI2	KI3	KI4	G(w, mitte)	KI2	KI3	KI4	G(w, hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,951	0,959	0,951	KI1	0,904	0,898	0,887	KI1	0,614	0,865	0,861	KI1	0,868	0,656	0,682
KI2		0,962	0,951	KI2		0,854	0,908	KI2		0,707	0,591	KI2		0,831	0,854
KI3			0,952	KI3			0,805	KI3			0,858	KI3			0,707
B(w)	KI2	KI3	KI4	B(w, tief)	KI2	KI3	KI4	B(w, mitte)	KI2	KI3	KI4	B(w, hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,847	0,869	0,686	KI1	0,692	0,748	0,693	KI1	0,399	0,687	0,368	KI1	0,435	0,299	-0,401
KI2		0,894	0,819	KI2		0,83	0,814	KI2		0,504	0,777	KI2		0,647	0,14
KI3			0,811	KI3			0,903	KI3			0,668	KI3			-0,112
H(w)	KI2	KI3	KI4	H(w, tief)	KI2	KI3	KI4	H(w, mitte)	KI2	KI3	KI4	H(w, hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,588	0,593	0,364	KI1	0,841	0,792	0,757	KI1	-0,094	0,014	-0,25	KI1	-0,321	0,123	0,03
KI2		0,851	0,765	KI2		0,903	0,704	KI2		0,849	0,78	KI2		0,495	0,698
KI3			0,713	KI3			0,821	KI3			0,666	KI3			0,226
S(w)	KI2	KI3	KI4	S(w, tief)	KI2	KI3	KI4	S(w, mitte)	KI2	KI3	KI4	S(w, hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,677	0,642	0,465	KI1	0,789	0,801	0,534	KI1	0,279	0,273	0,756	KI1	0,476	0,194	-0,378
KI2		0,774	0,539	KI2		0,901	0,621	KI2		-0,093	0,422	KI2		0,656	0,232
KI3			0,599	KI3			0,781	KI3			0,616	KI3			0,043
V(w)	KI2	KI3	KI4	V(w, tief)	KI2	KI3	KI4	V(w, mitte)	KI2	KI3	KI4	V(w, hoch)	KI2	KI3	KI4
KI1	0,98	0,982	0,97	KI1	0,946	0,983	0,953	KI1	0,869	0,873	0,832	KI1	0,931	0,591	0,549
KI2		0,963	0,954	KI2		0,92	0,901	KI2		0,77	0,742	KI2		0,606	0,681
KI3			0,971	KI3			0,963	KI3			0,737	KI3			0,688

Tabelle 19: Korrelationen zwischen den Mädchen der einzelnen Schulstufen hinsichtlich getroffener Farbe-Ton-Zuordnung nach Tonhöhen und Farbcharakteristika: R = Rotanteil, G = Grünanteil, B = Blauanteil, H = Farbton, S = Sättigung, V = Helligkeit; die Bezeichnungen hoch, mitte, tief beziehen sich auf das Register des Tones C.

Bezugnehmend auf Hypothese 1 sollen anhand des durchgeführten t-Tests signifikante Unterschiede hinsichtlich der Farbe-Ton-Zuordnung in Abhängigkeit von Schulstufe und

Geschlecht ermittelt werden. Hierfür wird bei den von den Kindern gewählten Farben Farbparameter nach den RGB- und HSV-Werten und bei den Klängen nach Klangquellen akustisch, elektronisch, Blas- und Saiteninstrumente sowie nach den Tonhöhen unterschieden. Detaillierte Angaben sind im Anhang S. 136–139 nachzulesen. T-Werte > 2 und $p < 0,05$ sprechen gegen die aufgestellte Nullhypothese.

- Akustische versus synthetische Klänge

Bei der Differenzierung zwischen akustischen und synthetischen Klängen über alle Register spielt besonders die Sättigung der Farben bei der Zuordnung zum Klangereignis eine entscheidende Rolle. Akustischen Klängen werden unabhängig von Schulstufe und Geschlecht Farben mit hoher Sättigung zugeordnet ($t = 2,456$, $p = 0,021$), wobei dieser Trend bei den Buben über alle Register stärker ausgeprägt ist ($t = 2,722$, $p = 0,011$), besonders aber im hohen Register ($t = 2,915$, $p = 0,019$). Mädchen der ersten Klasse differenzieren dadurch, dass für akustische Instrumente im tiefen Register Farben mit einem höheren Rot- ($t = 2,375$, $p = 0,045$) und Grünanteil ($t = 2,354$, $r = 0,046$) gewählt werden. Im mittleren Register erhalten akustische Klänge im Vergleich zu synthetischen Klängen von den Mädchen der dritten Schulstufe die Zuordnung von Farben mit höherem Rotanteil ($t = 2,755$, $p = 0,025$).

- Blasinstrumente versus Saiteninstrumente

Bei der Differenzierung zwischen Blas- und Saiteninstrumenten erhalten die Blasinstrumente unabhängig von der Tonhöhe von den Mädchen aller Schulstufen, besonders aber der vierten Schulstufe mehr gesättigte Farben als Streichinstrumente zugewiesen ($t = 2,775$, $p = 0,011$). Auch im tiefen Register werden den Blasinstrumenten Farben mit höherer Sättigung zugewiesen als den Streichinstrumenten, was vor allem für die Mädchen der zweiten Schulstufe ($t = 4,126$, $p = 0,006$) zutrifft. Ein hoher Differenzierungsgrad hinsichtlich Sättigung zeigt sich hier aber auch geschlechtsunabhängig für die gesamte vierte Schulstufe ($t = 3,32$ und $p = 0,016$). Des Weiteren ist zu erkennen, dass neben der Sättigung auch andere Farbmerkmale eine Rolle spielen. So lässt sich sagen, dass Mädchen aller Schulstufen für Blasinstrumente im tiefen Register bevorzugt Farben mit einem hohen Rotanteil ausgewählt haben ($t = 2,54$, $p = 0,044$), hingegen sind es bei Buben der zweiten und dritten Schulstufe Farben mit hohem Grünanteil, die den Blasinstrumenten zugeteilt werden. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist aber, dass in der ersten Schulstufe Mädchen Farben mit hohem Blauanteil ($t = 2,89$, $p = 0,028$) und Buben Farben mit hohem Rotanteil ($t = 2,872$, $p = 0,028$) für Blasinstrumente gewählt haben. Generell lässt sich sagen, dass verschiedene Farbparameter die Farbe-Ton-Zuordnung zu Blas-

oder Streichinstrumenten beeinflussen. Im mittleren Register gibt es keine signifikanten Korrelationen. Im hohen Register weisen die Mädchen der vierten Schulstufe den Blasinstrumenten Farben mit höherer Sättigung zu als den Streichinstrumenten ($t = 2,729$, $p = 0.034$).

- Blasinstrumente versus synthetische Klänge

Im Gegensatz zu synthetischen Klängen werden Blasinstrumenten von allen Kindern häufiger Farben mit hoher Sättigung zugewiesen ($t = 3,208$, $P = 0,005$), was bei den Mädchen stärker ausgeprägt ist ($t = 3,226$, $p = 0,004$) als bei den Buben ($t = 3,031$, $p = 0,007$). Der gewählte Wert für den Farbton (Hue) ist bei allen Buben für Blasinstrumente ($t = 2,347$, $p = 0,03$) speziell aber in der zweiten Schulstufe ($t = 3,136$, $p = 0,005$) höher als für synthetische Klänge. Im tiefen Register werden den Blasinstrumenten von allen Kindern vermehrt Farben mit hoher Sättigung zugewiesen ($t = 5,936$, $p = 0,002$), wobei besonders der Wert für die Buben der vierten Schulstufe auffällt ($t = 7,206$, $p = 0,001$). Auch hier gibt es eine Reihe von Farbmerkmalen, die bevorzugt für Blasinstrumente gewählt werden. So zeigt sich, dass vermehrt Farben mit hohem Grünanteil, im Besonderen von den Mädchen der ersten und dritten Schulstufe, den Blasinstrumenten zugewiesen werden. Farben mit einem hohen Rotanteil werden auch bevorzugt für Blasinstrumente gewählt. Ebenso spielt die Farbhelligkeit (V) eine Rolle, sodass gesagt werden kann, dass Blasinstrumenten im tiefen Register hellere Farben zugeordnet werden als den synthetischen Klängen. Im mittleren Register gibt es keine signifikanten Unterschiede. Anders verhält es sich hingegen im hohen Register bei der Wahl des Farbtons und zwar bei den Buben der zweiten Schulstufe ($t = 4,442$, $p = 0,007$) und den Mädchen der dritten Schulstufe ($t = 3,044$, $p = 0,007$).

- Saiteninstrumente versus synthetische Klänge

Der Vergleich der Töne von Saiteninstrumenten mit den synthetischen Klängen zeigt weder generell noch im tiefen Register signifikante Unterschiede. Im Mittelregister werden den Saiteninstrumenten aber signifikant häufiger Farben mit hohem Rotanteil und höherer Sättigung zugewiesen, besonders von Kindern der dritten Schulstufe (R: $t = 4,886$, $p = 0,016$, S: $t = 3,873$, $p = 0,03$) sowie mehr Helligkeit, speziell von den Mädchen der vierten Schulstufe ($t = 3,818$, $p = 0,032$) zugewiesen. Farben mit einem höheren Grünanteil für Saiteninstrumente werden von den Buben der ersten Schulstufe ($t = 3,312$, $p = 0,045$) bevorzugt. Für das hohe Register fällt auf, dass Buben generell ($t = 4,45$, $p = 0,021$), im Besonderen aber Buben der vierten Schulstufe gesättigte Farben für Saiteninstrumente wählen ($t = 7,652$, $p = 0,005$). Farben

mit hohem Blauanteil werden hingegen von den Mädchen der vierten Schulstufe für Saiteninstrumente bevorzugt ($t = 3,436$, $p = 0,041$).

In der folgenden Tabelle findet sich ein Überblick über die Zuordnung von Farben zu ausgewählten Instrumenten nach Emmett 1994, Reuter et al. 2018 und Ambros & Reuter 2021. In der Arbeit von Emmett erfolgte eine Differenzierung nach drei verschiedenen Altersgruppen, wobei die Altersgruppe 3 (vierzehnjährige Schüler:innen eines Gymnasiums) nur der Vollständigkeit halber angeführt wurde und nicht unmittelbar mit den Ergebnissen aus der für diese Arbeit durchgeführten Studie verglichen werden können. Nähere Informationen zu den Tonhöhen finden sich in dieser Arbeit nicht. Verwiesen sei darauf, dass die Studie von Ambros et al. auf Madagaskar durchgeführt wurde, an der auch zwölf Kinder über zehn Jahre teilgenommen haben. In diesem Fall ist zu beachten, dass die Zahl der minderjährigen Versuchspersonen sehr gering ist und weder nähere Informationen zum genauen Alter noch zu den Tonlagen der Klänge vorliegen. Des Weiteren dürfen kulturelle Aspekte in diesem Zusammenhang nicht außer Acht gelassen werden. Die von Reuter et al. 2018 angeführten Farbe-Instrument-Zuordnungen beziehen sich auf unterschiedliche Quellen und lassen keine Rückschlüsse über das Alter der Versuchspersonen zu. Daher können sie auch nur bedingt zu einem Vergleich herangezogen werden.

Klang- quelle	Farbzuord- nungen in den 3 Altersgruppen (vgl. 1, 2, 3) nach Emmett 1994⁴	Die drei am häufigsten zugeordneten Farben nach Reuter et al. 2018	Madagaskar- Studie in der Altersgruppe 10-18 Jahre nach Ambros et al. 2021⁵	Die am häufigsten zugeordneten Farben unter Berücksichtigung der Tonhöhen in der Studie⁶
Cello	---	E2: Braun E3: Braun E4: Orange ---	Hellgrau	C2: Schwarz --- C4: Orange C6: Gelb
Flöte	1: Weiß, Grün 2: Blau, Weiß 3: Weiß, Blau	E4: Hellorange E5: Orange gedämpft E6: Orange gedämpft	Schwarz	C4: Rot, Braun C5: Gelb C6: Weiß, Gelb
Oboe	---	E4: Orange gedämpft E5: Orange E6: Gelb	Rosa	C4: Orange, Rot C5: Gelb C6: Weiß
Klarinette	---	E3: Violett E4: Braun --- E6: Gelb	Hellgelb	C3: Schwarz, Braun C4: Violett, Dunkelgrün C5: Gelb ---
Horn	---	E2: Braun E3: Braun E4: Gelb ---	Pastellorange	C2: Braun --- C4: Braun, Rot C5: Gelb
Trompete	1: Blau 2: Blau 3: Schwarz, Rot	E3: Braun E4: Gelb E5: Gelb ---	Weiß	--- C4: Rot, Braun C5: Rot, Orange C6: Gelb
Klavier	1: Rot, Schwarz, Blau 2: Weiß, Schwarz, Rot 3: Blau	---	---	C2: Schwarz C4: Orange C6: Weiß

*Tabelle 20: Korrespondenzen zwischen Farbe und Musikinstrumenten
(Emmett 1994, S. 179–180; Reuter et al. 2018, Ambros et al. 2021, S. 1076–1078
und der für diese Arbeit durchgeführten Studie).*

Es zeigt sich im Rahmen dieser Studie im Fall der Trompete eine auffällig häufige Zuordnung zur Farbe Rot, was mit Ergebnissen von Emmett bei Kindern übereinstimmt, nicht aber bei

⁴ Ohne Angabe des Tonregisters.

⁵ Ohne Angabe des Tonregisters.

⁶ Die Angaben beziehen sich auf Kinder im Volksschulalter.

Erwachsenen, wie der Studie von Reuter et al. 2018 zu entnehmen ist. Im hohen Register fiel die Zuordnung der Farbe Gelb in beiden Durchgängen im Vergleich zu allen anderen Klängen mit 76 beziehungsweise 75 Nennungen von 257 eindeutiger aus als bei der Farbe Rot in den beiden tieferen Registern. Dies stimmt mit den Befunden von Reuter et al. überein. Auch im Fall des Klaviers fällt eine durchgängig häufige Nennung der Farben Schwarz und Weiß bei den beiden Studien mit Kindern auf, wobei in der für diese Arbeit durchgeführten Studie mit großer Mehrheit die Farbe Schwarz dem Klang C2 und Weiß dem Klang C6 zugeordnet wird. Hingewiesen sei auch auf die häufige Zuordnung der Farbe Schwarz gefolgt von der Farbe Braun zum tiefen Register und den Farben Gelb und Weiß zum hohen Register. Diese crossmodale Korrespondenz zwischen Tonhöhe und Farbhelligkeit (hoch und hell) wurde bereits in Studien mit Kindern beobachtet (vgl. Walker et al. 2017). Diese Korrespondenz findet sich auch im Sprachgebrauch wieder, denn Kinder sprechen häufig von hellen statt hohen und dunklen statt tiefen Tönen. In der Arbeit von Ambros et al. finden sich durchaus andere Zuordnungen mit Ausnahme der Klarinette, der besonders im hohen Register die Farbe (Hell)Gelb zugeordnet wird. Leider gibt es zu diesem Instrument keine Angaben bei Emmett.

Bezugnehmend auf Hypothese 1 kann gesagt werden, dass es sowohl hinsichtlich Alter beziehungsweise Schulstufe und Geschlecht signifikante Unterschiede in der Beurteilung verschiedener einander gegenübergestellter Klanggruppen gibt, die auf eine unterschiedliche Klangwahrnehmung zurückzuführen sind. Diese betreffen im Besonderen die Farbsättigung (S) im hohen Register, wo es keine nennenswerten Korrelation zwischen Buben und Mädchen über alle Schulstufen gibt. Im hohen Register zeigen sich beim schulstufenweisen Vergleich ebenfalls für Farbsättigung (S) und Farbton (H) geringere Korrelationen verglichen mit dem tiefen Register (vgl. Tabelle 18 und 19). Nach einer Überprüfung der Korrelationen mit Hilfe eines t-Tests erweist sich vor allem die Farbsättigung als ein entscheidendes Differenzierungskriterium. Der t-Test zeigt aber auch für bestimmte Klangquellen signifikante Unterschiede bei der Klangbeurteilung anhand einzelner Farbparameter. Demzufolge scheinen sich Blasinstrumente und synthetische Klänge speziell im tiefen Register für Kinder dieser Altersgruppe in ihren Klangcharakteristika und einer daraus resultierenden Farbe-Ton-Zuordnung stärker voneinander zu unterscheiden als andere Instrumentengruppen. Somit kann Hypothese 1 angenommen werden, da es in Abhängigkeit von Geschlecht und Schulstufe unterschiedliche Präferenzen von Farbmerkmalen in Bezug auf Frequenzunterschiede und Klangquellen gibt. Die Nullhypothese kann somit abgelehnt werden.

8.2.2. Klangcharakteristika und deren Einfluss auf die Farbe-Ton-Zuordnung

Um auf Hypothese 2 eingehen zu können, bedarf es einer genauen Analyse bestimmter Klangeigenschaften. Zur Erinnerung sei Hypothese 2 nochmals angeführt:

Ungerichtete H2: Spezifische Klangeigenschaften beeinflussen die Zuordnung von Farben hinsichtlich Farbhelligkeit und Farbsättigung, da sie in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht unterschiedlich wahrgenommen werden.

H02: Spezifische Klangeigenschaften haben keinen Einfluss auf die Zuordnung zu Farben hinsichtlich Farbhelligkeit und Farbsättigung.

Um weitere Informationen zur Farbe-Ton-Beziehung zu erhalten, wurden die Klänge mittels Signalanalyse auf eine große Anzahl berechenbarer Audiomerkmale untersucht. Für diese werden im Rahmen dieses Kapitels die englischen Begriffe verwendet, gegebenenfalls einmalig eine deutsche sinngemäße Übersetzung angeführt (vgl. Kapitel 7.2.2 Tabelle 9). Die Zusammenhänge zwischen den von den Kindern zu den Klängen unterschiedlicher Klangquellen gewählten Farben wurden nicht nur für alle Versuchspersonen, sondern auch getrennt nach Geschlecht und Schulstufen mittels Korrelationsanalyse berechnet und zur Überprüfung der Hypothese 2 herangezogen. Die Korrelationen zwischen Klangeigenschaften und gewählten Farben können visualisiert und die Klangereignisse akustisch abgerufen werden⁷. Signifikante positive oder negative Korrelationen (Signifikanzniveau $p < 0,05$) zwischen Klangeigenschaften und gewählten Farben erscheinen beim Aufruf des jeweiligen Audiomerkmals und der gewünschten Proband:innengruppe automatisch, alle weiteren Farben mit nicht signifikanten Korrelationen können als Trendlinien zusätzlich angezeigt werden.

Select a group:	All		All M	All F	Class 1 M	Class 1 F	Class 2 M	Class 2 F	Class 3 M	Class 3 F	Class 4 M	Class 4 F
Select an audio feature:												
Timbre:	Spectral Complexity		Spectral Decrease		Spectral Energy		Spectral Centroid		Spectral Centroid (percussive)		Timbral Warmth	
Noise:	Dissonance		Roughness (Zwicker)		Roughness (Vassilakis)		Spectral Flux (<100Hz)		Hardness			
Harmonic Features:	Major Thirds strength		Minor Thirds strength		Temporal Feat.:		Envelope Flatness		Envelope Kurtosis			
Pitch Salience:	Unpleasantness		Partial 1 (relative strength)		Pitch Salience		Tonal Energy					
Select a color:	White	Yellow	Pink	Violet	Red	Light Blue	Dark Blue	Light Green	Dark Green	Orange	Brown	Black

Abbildung 23: Menü zur audiovisuellen Darstellung der Zusammenhänge zwischen Klangeigenschaften und getroffener Farbwahl abrufbar nach Proband:innengruppen.

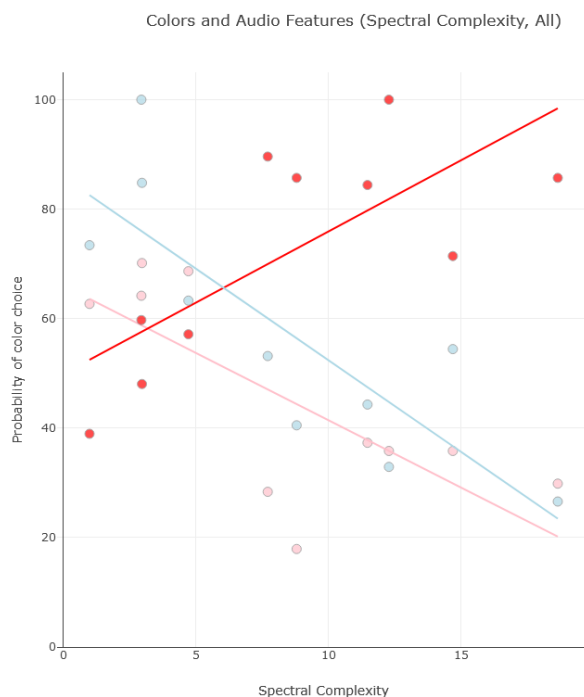
⁷ Mit freundlicher Genehmigung von Christoph Reuter 2024, abrufbar unter: https://muwiserver.univie.ac.at/farben hoeren/color_impact/

Da alle hierfür analysierten Klänge die gleiche Frequenz haben (Oktavlage C4), fällt die bereits vielfach beschriebene crossmodale Korrespondenz zwischen Tonhöhe und Farbwahl weg (vgl. Kapitel 8.2.1), wodurch es möglich ist, nur den Einfluss des Klangursprungs als Kriterium für die Farbe-Ton-Zuordnung beziehungsweise Farbe-Klangfarbe-Zuordnung heranzuziehen. Die Klangeigenschaften beeinflussen nicht nur das Timbre (Klangfarbe) eines Tones, sondern auch die Harmonizität und Tonhöhenwahrnehmung. In diesem Kapitel sollen die am deutlichsten korrelierenden Audiomerkmale diskutiert und graphisch dargestellt werden. Eine Auflistung aller im Rahmen dieser Arbeit analysierten Korrelationen zwischen Farben und Klangeigenschaften mit einem Signifikanzniveau $p < 0,05$ und Angaben zu den jeweiligen Klangeigenschaften sind im Anhang S. 138–145 angeführt.

Zur Beschreibung des Timbre wird unter anderem die Spectral Complexity herangezogen. Die jeweiligen Korrelationskoeffizienten sind der folgenden Tabelle zu entnehmen. Angaben zur Spectral Complexity der einzelnen Klänge sowie die graphische Darstellung der Korrelationen zwischen Audiomerkmale und gewählter Farbe finden sich in Abbildung 24. Da es bei den Mädchen mehr signifikante Korrelationen zwischen Farben und Klangeigenschaft gibt als bei den Buben, wird im Folgenden auf die graphische Darstellung der Angaben der Buben aller vier Schulstufen verzichtet.

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt			-0,734		0,741	-0,825						
G m						-0,767			0,683			
G w			-0,788		0,831	-0,809						
1 m												
1 w	-0,725			0,686				-0,712				
2 m					0,661						0,765	
2 w			-0,705			-0,654						
3 m												
3 w				-0,686	0,903	-0,664						
4 m						-0,696						0,824
4 w						-0,731						

Tabelle 21: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Spectral Complexity hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).



Klangquelle*

Sinus

Klavier

Gitarre

Klarinette

Flöte

Horn

Oboe

Trompete

Cello

Sägezahn

*Punkte von links nach rechts

Spectral Complexity

0,98863637

2,94318175

2,965909

4,715909

7,7045455

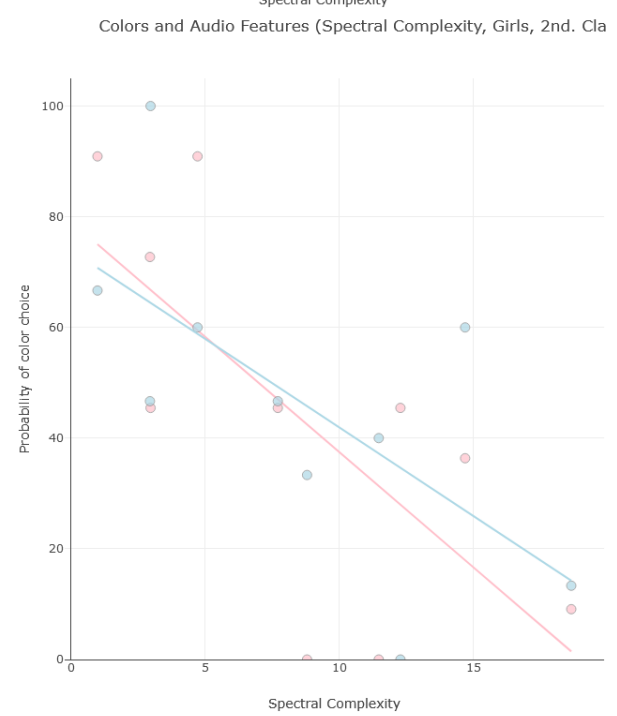
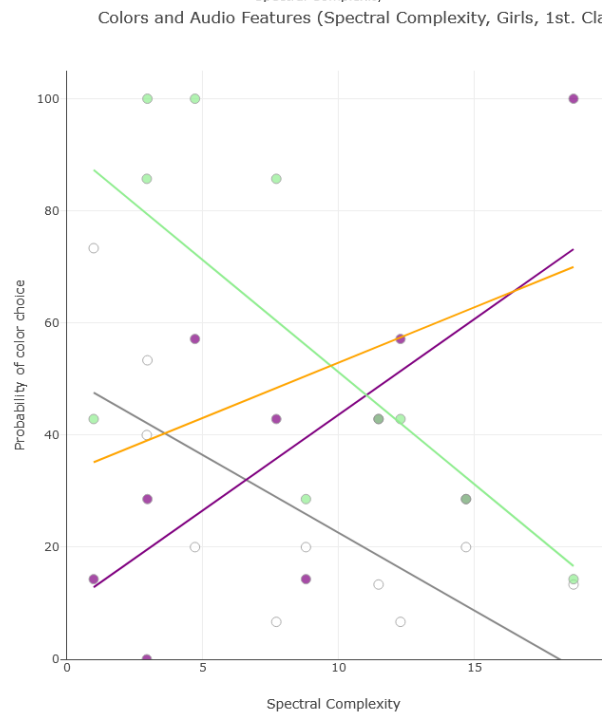
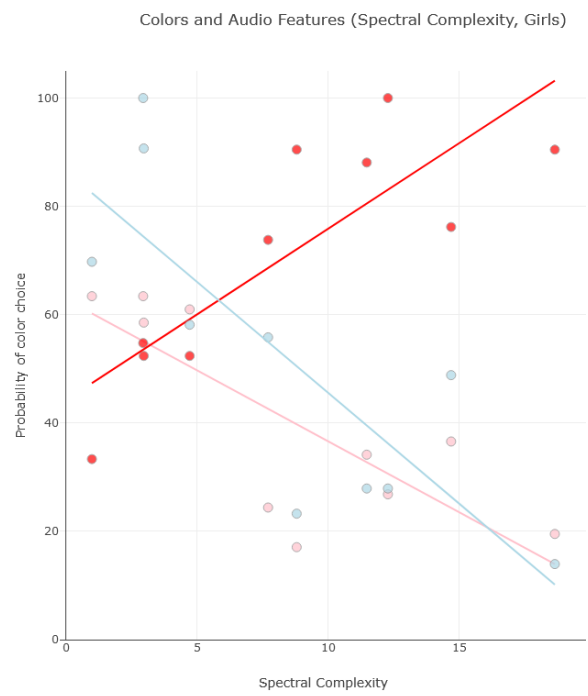
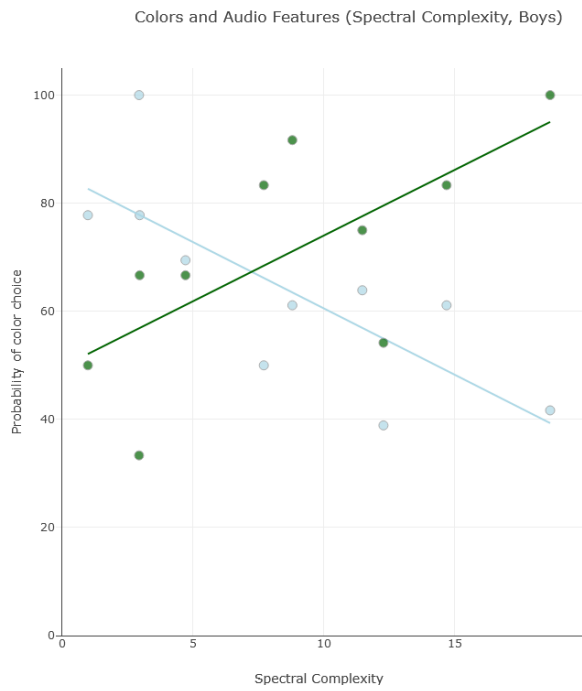
8,79545498

11,465909

12,272727

14,681818

18,636364



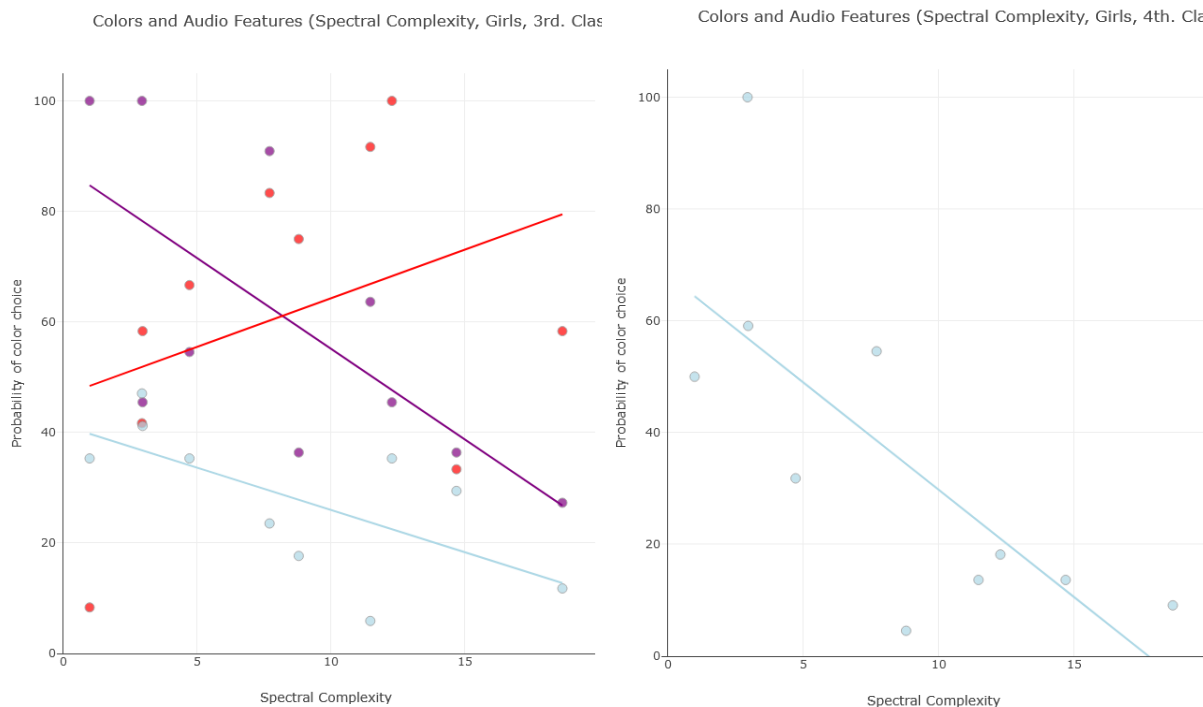


Abbildung 24: Audiomerkmal Spectral Complexity der verwendeten Klangquellen in aufsteigender Reihenfolge und dessen Auswirkung auf die Farbe-Ton-Zuordnung unter Berücksichtigung geschlechterspezifischer Unterschiede bezogen auf alle Proband:innen als auch unter spezieller Berücksichtigung der Angaben der Mädchen aller vier Schulstufen.

Es zeigt sich, dass mit steigender Komplexität eines Klanges weniger oft Hellblau ($S = 36\%$) und Rosa ($S = 49\%$) gewählt wird, jedoch vermehrt Rot ($S = 98\%$). Bei genauer Betrachtung der Angaben, die von den Mädchen gemacht werden, fällt auf, dass die Mädchen unterschiedlicher Schulstufen andere Farbe-Ton-Zuordnungen treffen. Bei Mädchen der ersten Schulstufe zeigt sich eine signifikante Korrelation für die Farbe Violett ($S = 58\%$) statt Rot ($S = 96\%$), die mit zunehmender Spectral Complexity häufiger gewählt wird. Offensichtlich anders verhält es sich in der dritten Schulstufe, wo Violett eine signifikant negative Korrelation zeigt. Beim Vergleich der Farbpräferenzen der Buben und Mädchen über alle Schulstufen fällt bei den Buben die Bevorzugung von Dunkelgrün gegenüber Rot auf. Diese beiden Farben unterscheiden sich aber nur unwesentlich hinsichtlich der Farbsättigung (Rot 98% , Dunkelgrün 100%).

Abschließend kann gesagt werden, dass zwar unterschiedliche Farben gewählt wurden, sich diese aber hinsichtlich Farbsättigung nur unwesentlich unterscheiden. Es zeigt sich, dass mit zunehmender Spectral Complexity weniger häufig Farben mit geringer Sättigung gewählt werden. Farben mit hoher Sättigung, wie in diesem Fall Rot, werden bevorzugt, je höher die Spectral Complexity eines Klanges ist. Vergleichbare Ergebnisse finden sich in einer Studie von Feller & Reuter von 2023 im Zusammenhang mit der Beurteilung synthetischer Klänge. Es

zeigt sich, dass dem Sägezahnnton bevorzugt die Farbe Rot zugeordnet wird und dem Sinuston Blau (Feller & Reuter, 2023). Zu beachten ist aber im Zusammenhang mit der Spectral Complexity das unterschiedliche Farbe-Klangfarbe-Empfinden für die Farbe Violett bei den Mädchen der ersten und dritten Schulstufe.

Im Zusammenhang mit dem Timbre soll des Weiteren kurz auf die Audiomerkmale Spectral Decrease und Spectral Energy in Bezug auf signifikante Korrelationen eingegangen werden.

Klangquelle	Spectral Decrease	Klangquelle	Spectral Energy
Sinus	-1,42E-08	Gitarre	0,008118499
Sägezahn	-1,19E-08	Klavier	0,010320858
Horn	-1,11E-08	Cello	0,031190306
Klarinette	-1,11E-08	Flöte	0,038490698
Oboe	-1,08E-08	Trompete	0,039440304
Flöte	-9,49E-09	Klarinette	0,043412652
Trompete	-9,22E-09	Horn	0,044272345
Cello	-7,65E-09	Oboe	0,045220796
Klavier	-2,61E-09	Sägezahn	0,048617307
Gitarre	-2,05E-09	Sinus	0,054997917

Tabelle 22: Vergleich der Klangeigenschaften Spectral Decrease und Spectral Energy, beide nach aufsteigenden Werten gereiht.

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt		0,866							-0,679			-0,648
G m		0,778										
G w		0,913				0,665			-0,636			-0,693
1 m		0,795				0,88						
1 w						0,69						-0,649
2 m												
2 w	-0,66	0,718										
3 m												
3 w		0,702										-0,641
4 m		0,695										
4 w								-0,73				

Tabelle 23: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Spectral Decrease hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt		-0,87				-0,682			0,69			0,646
G m		-0,79										
G w		-0,913				-0,714			0,638			0,687
1 m		-0,78				-0,866						
1 w						-0,72						
2 m												
2 w		-0,69										
3 m												
3 w		-0,72							0,644			
4 m		-0,72										
4 w						-0,649		0,715				

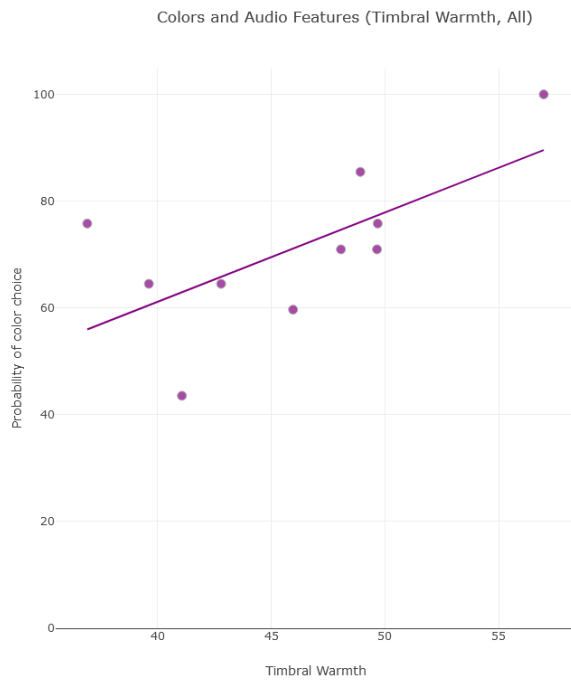
Tabelle 24: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Spectral Energy hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).

Beim Vergleich dieser beiden Klangcharakteristika und der getroffenen Farbwahl zeigen sich für Gelb und Hellblau signifikante Korrelationen, aber diesmal mit Umkehr des Vorzeichens bei den jeweiligen Korrelationskoeffizienten, was als ein Zeichen der stabilen Zuordnung einer Farbe zu einer bestimmten Klangeigenschaft gesehen werden kann. Je höher die Spectral Decrease ist, desto häufiger wird die Farbe Gelb gewählt. Dafür werden weniger oft die Farben Schwarz und Dunkelgrün angegeben. Umgekehrtes gilt im Zusammenhang mit der Spectral Energy. Diese beiden Klangeigenschaften verhalten sich quasi gegenläufig zueinander, was sich auch in der Umkehr des Vorzeichens der Korrelationskoeffizienten zeigt. Sinus- und Sägezahn- ton haben die niedrigsten Werte hinsichtlich Spectral Decrease im Vergleich zu den anderen Klangquellen und die höchsten Werte für Spectral Energy. Das heißt im Fall der Farbe Gelb, wird diese von den Kinder mit zunehmender Spectral Decrease vermehrt gewählt, aber bei Klängen mit zunehmender Spectral Energy weniger.

Weiters soll auf das Audiomerkmal Timbral Warmth näher eingegangen werden.

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt				0,657								
G m				0,645								
G w					-0,702							
1 m												
1 w								0,657				
2 m												
2 w												
3 m		-0,68										
3 w												
4 m						0,779						-0,635
4 w				0,764	-0,788							

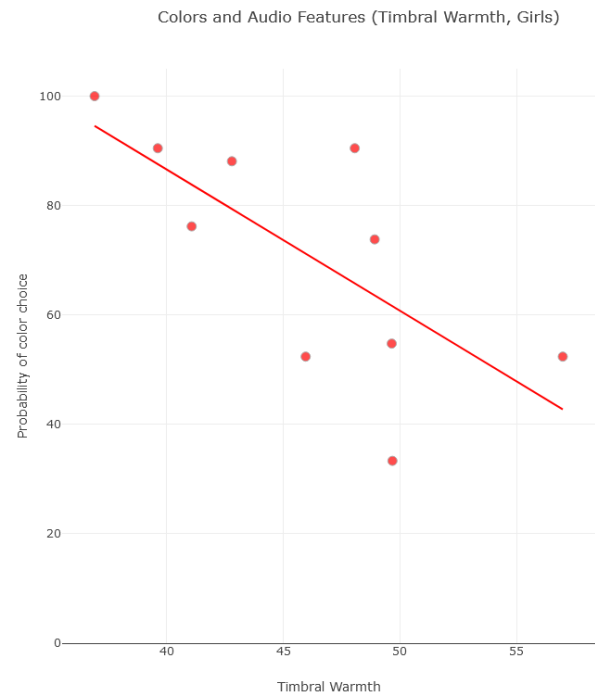
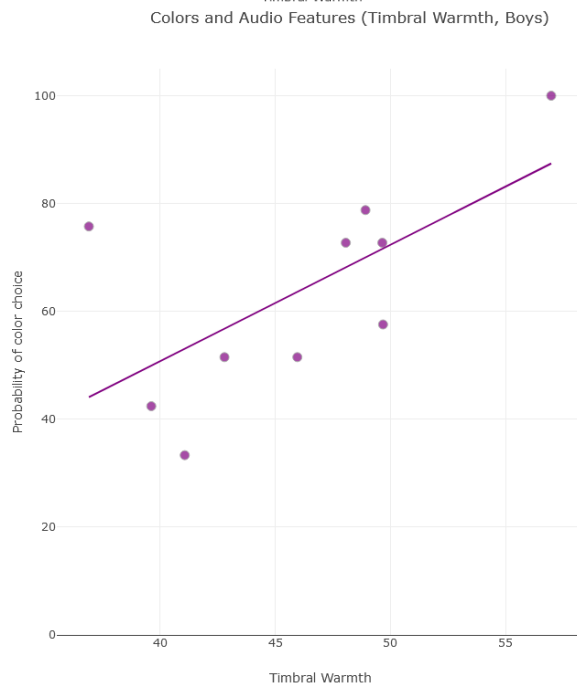
Tabelle 25: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Timbral Warmth hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).



Klangquelle*

Klangquelle*	Timbral Warmth
Trompete	36,90362947
Sägezahn	39,6135596
Cello	41,06683951
Oboe	42,79240858
Gitarre	45,95643562
Horn	48,06102049
Flöte	48,91463231
Klavier	49,64713767
Sinus	49,67741377
Klarinette	56,97977911

*Punkte von links nach rechts



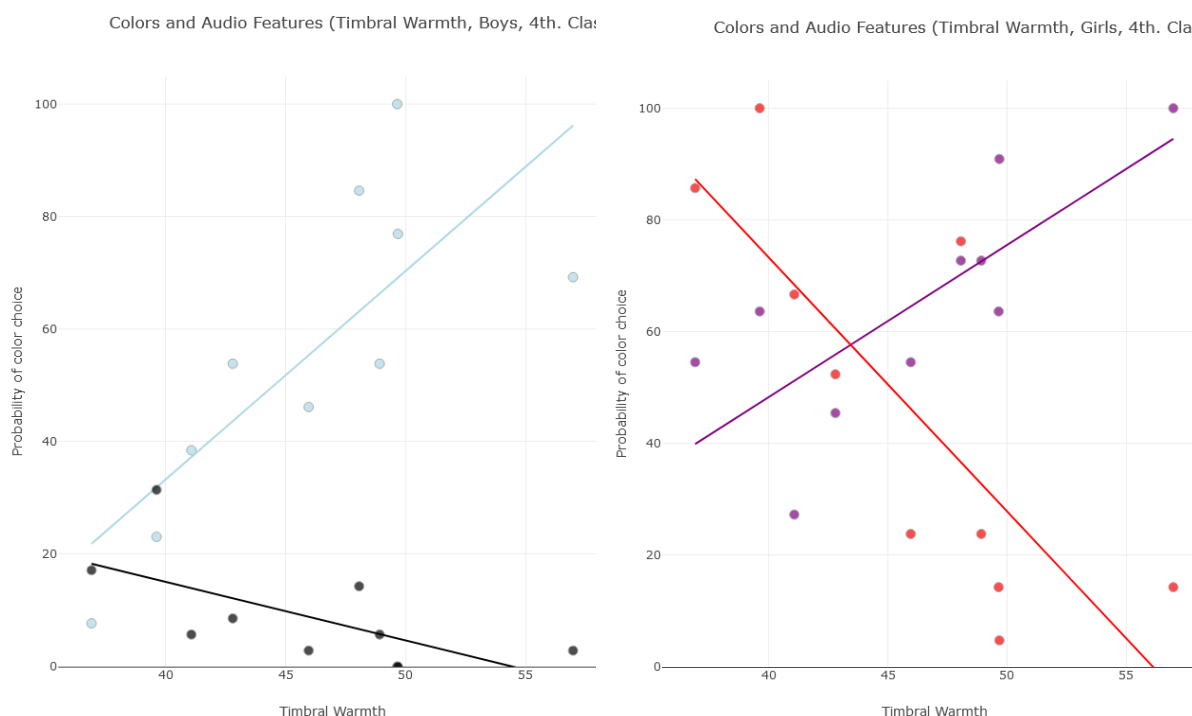


Abbildung 25: Audiomerkmal Timbral Warmth der verwendeten Klangquellen in aufsteigender Reihenfolge und dessen Auswirkung auf die Farbe-Ton-Zuordnung unter Berücksichtigung geschlechterspezifischer Unterschiede bezogen auf alle Proband:innen als auch unter spezieller Berücksichtigung der Angaben der Mädchen aller vier Schulstufen.

Hier zeigen sich offensichtlich von Schulstufe und Geschlecht abhängige unterschiedliche Farbe-Ton-Wahrnehmung. Mit zunehmender Timbral Warmth wird von allen Kindern vermehrt die Farbe Violett mit dem Farbton $H = 300^\circ$ und einem hohem Rot- und Blauanteil gewählt. Vergleicht man aber die Korrelation zwischen Klang und Farbe geschlechterspezifisch, so zeigt sich bei den Buben eine positive Korrelation zwischen Violett und Timbral Warmth. Bei den Mädchen hingegen fällt die negative Korrelation zwischen Rot und dem Audiomerkmals auf. Für die Buben der vierten Klasse zeigt sich bei der Farbwahl, dass Schwarz negativ und Hellblau positiv mit zunehmender Timbral Warmth korrelieren, für die Mädchen der vierten Schulstufe gilt wiederum, je höher der Wert für Timbral Warmth ist, umso weniger oft wird die Farbe Rot gewählt und umso häufiger Violett, was dem generellen Trend und den Angaben aller Buben entspricht. So lässt sich sagen, dass Mädchen – im Besonderen der vierten Schulstufe – ein anderes Farbe-Klangfarbe-Empfinden verglichen mit den Buben derselben Altersstufe zu haben scheinen. Dem klanglich wärmeren Sinuston wird vermehrt Hellblau und Violett, dem klanglich weniger warmen Sägezahnston wird häufiger Rot zugeordnet. Dieser Befund deckt sich zum Teil ebenfalls mit den Ergebnissen aus der Studie von Feller & Reuter 2023.

Im Zusammenhang mit geräuschhaften Klangmerkmalen (Noise) sollen unter anderem die Farbzusordnungen der Kinder hinsichtlich des Audiomerkmals Dissonance herangezogen werden. Es zeigt sich, dass die Dissonance ähnliche Ergebnisse liefert wie die Spectral Complexity, daher wird in diesem Zusammenhang auf die Tabellen im Anhang S. 138, 142 und auf den Link verwiesen. Erwähnt sei nur, dass mit zunehmender Dissonance vermehrt Rot gewählt wird und weniger die Farben Weiß, Rosa und Hellblau, die alle verglichen mit Rot eine geringere Sättigung aufweisen. Ausnahmen sind die Buben der dritten Schulstufe, wo sich eine positive Korrelation im Zusammenhang mit Dissonance und der Farbe Dunkelblau zeigt. Unter dem Aspekt, dass der Sägezahnnton dissonanter klingt als der Sinuston, sei abermals auf die Studie von Feller & Reuter 2023 verwiesen.

Die Klangeigenschaft Roughness (nach Zwicker) zeigt ähnliche Ergebnisse, was die Zuordnung von Rot, Hellblau und Rosa anbelangt, wie die Spectral Complexity und Dissonance. Auch hier sei erwähnt, dass bei den Mädchen der dritten Klasse Violett statt Rosa eine negative Korrelation bezogen auf die Klangeigenschaft aufweist.

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt			-0,721		0,725	-0,822					0,765	0,681
G m						-0,706					0,733	0,72
G w			-0,813		0,828	-0,836					0,767	
1 m									0,66			
1 w				0,642		-0,725		-0,693				
2 m					0,724						0,79	
2 w			-0,75		-0,767						0,717	
3 m											0,645	
3 w				0,675	0,922	-0,646					0,717	0,641
4 m												0,974
4 w						-0,674						

Tabelle 26: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Roughness (nach Zwicker) hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).

Für Roughness (nach Vassilakis) zeigt sich, dass je höher der Wert des Klangmerkmals der einzelnen Klangquelle ist, umso eher wird die Farbe Schwarz gewählt. Angaben zu den einzelnen Klängen und Korrelationskoeffizienten finden sich im Anhang S. 139 und 143.

Im Zusammenhang mit der Klangeigenschaft Spectral Flux (<100 Hz) sei die häufige positive Korrelation zwischen der Farbe Gelb und der zunehmenden Spectral Flux (<100 Hz) erwähnt, wobei sich Gelb durch ein hohes Maß an Helligkeit und Farbsättigung sowie durch einen hohen Rot- und Grünanteil auszeichnet. Bemerkenswert sind in diesem Zusammenhang die unterschiedlichen signifikanten Farbpräferenzen der Buben der ersten (Gelb und Hellblau) und

vierten Schulstufe (Gelb, Rosa, Dunkelgrün und Braun). In der zweiten und dritten Schulstufe hingegen gibt es keine signifikanten Farbpräferenzen.

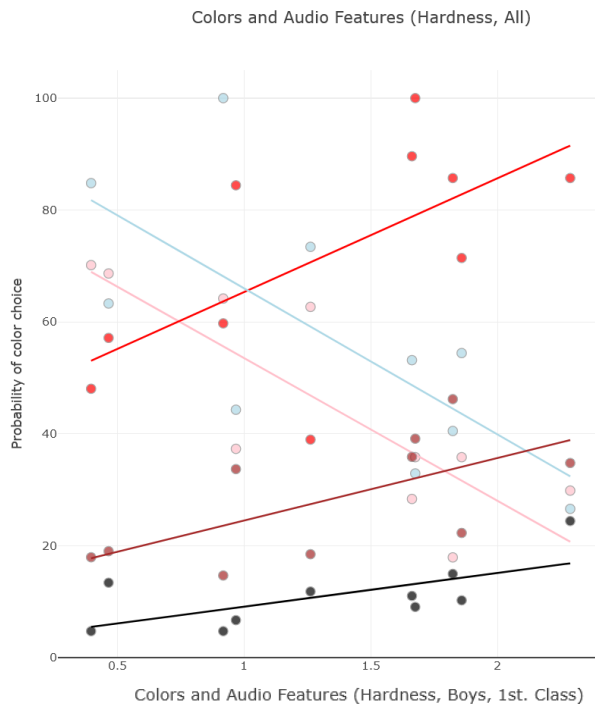
Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt		0,926					0,671		-0,714			
G m		0,884										
G w		0,912				0,668						
1 m		0,739				0,732						
1 w		0,71	0,835			0,655						
2 m												
2 w		0,714		-0,65								
3 m												
3 w									-0,716			
4 m		0,854	0,65						-0,643		-0,7	
4 w						0,731		-0,863				

Tabelle 27: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Spectral Flux (< 100 Hz) hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).

Als weitere geräuschartige Klangeigenschaft soll Hardness genauer beschrieben werden, wobei in der Abbildung auch Trendlinien ($p > 0,05$) von Farben angezeigt werden, da diese möglicherweise Hinweise zum unterschiedlichen Farbe-Klangfarbe-Empfinden im Zusammenhang mit Schulstufe und Geschlecht liefern könnten.

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt			-0,837		0,638	-0,708					0,645	0,654
G m			-0,802			-0,678					0,65	
G w			-0,801			-0,683						0,661
1 m							-0,748					
1 w								-0,808				
2 m			-0,778	-0,674					0,694		0,78	
2 w						-0,675						
3 m							-0,703					
3 w			-0,693								0,677	
4 m			-0,811									0,714
4 w			-0,643		0,747							0,691

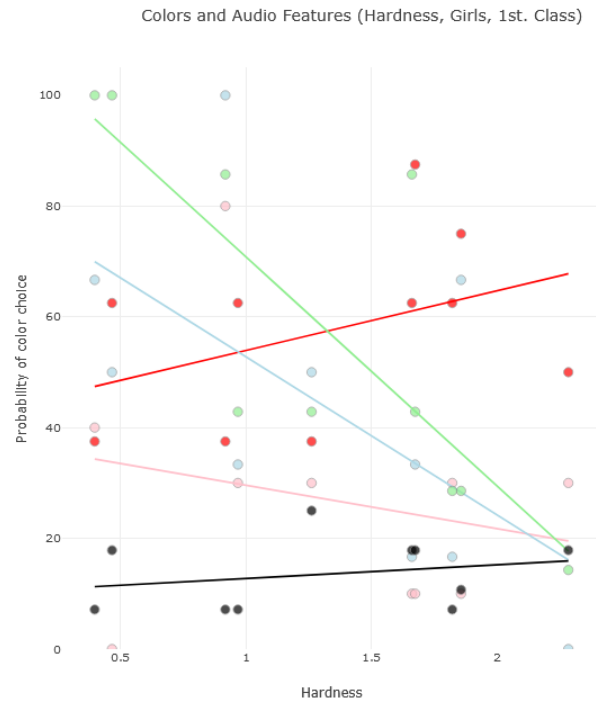
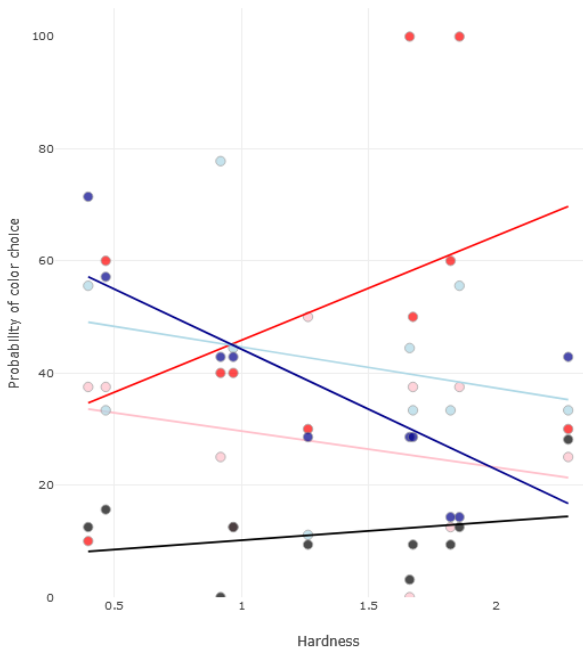
Tabelle 28: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Hardness hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).



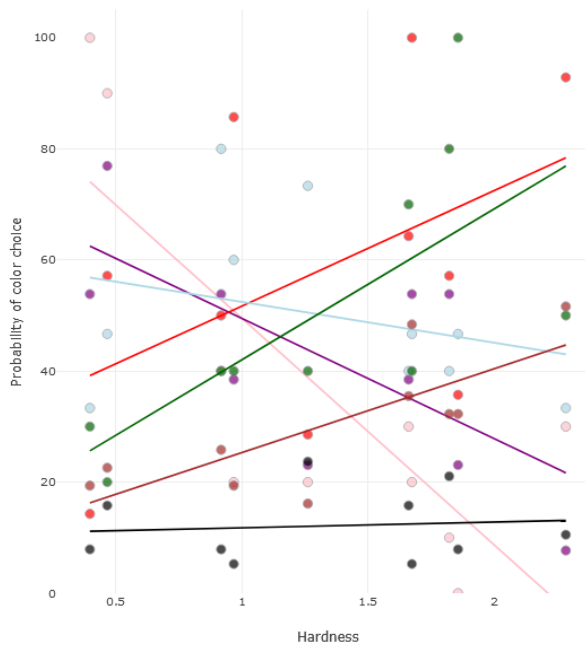
Klangquelle*

Klangquelle*	Hardness
Gitarre	0,39650678
Klarinette	0,46559338
Klavier	0,91758203
Oboe	0,96790832
Sinus	1,26167081
Flöte	1,66158373
Trompete	1,67506757
Horn	1,82302927
Cello	1,85777823
Sägezahn	2,28612562

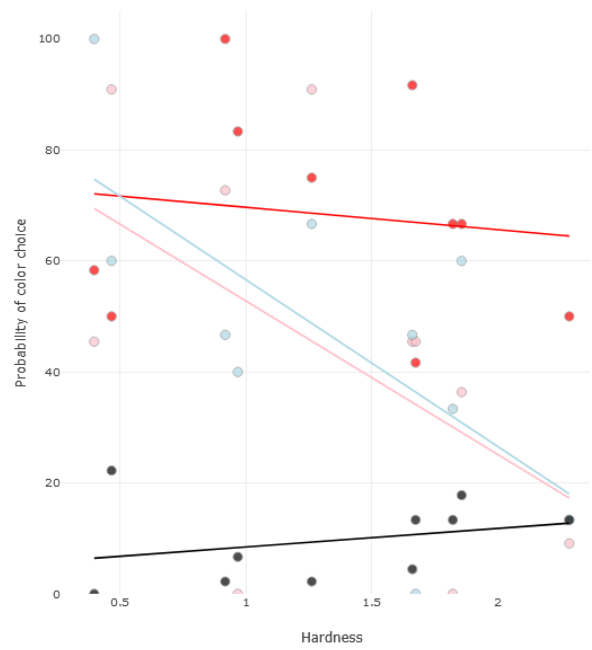
*Punkte von links nach rechts



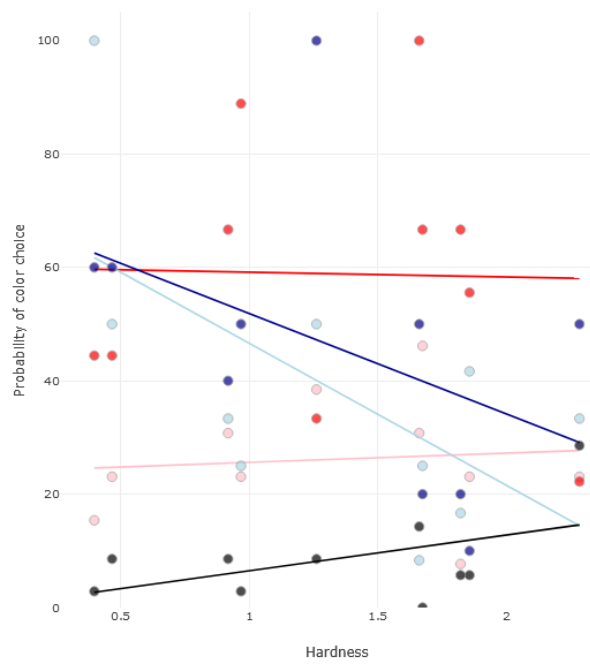
Colors and Audio Features (Hardness, Boys, 2nd. Class)



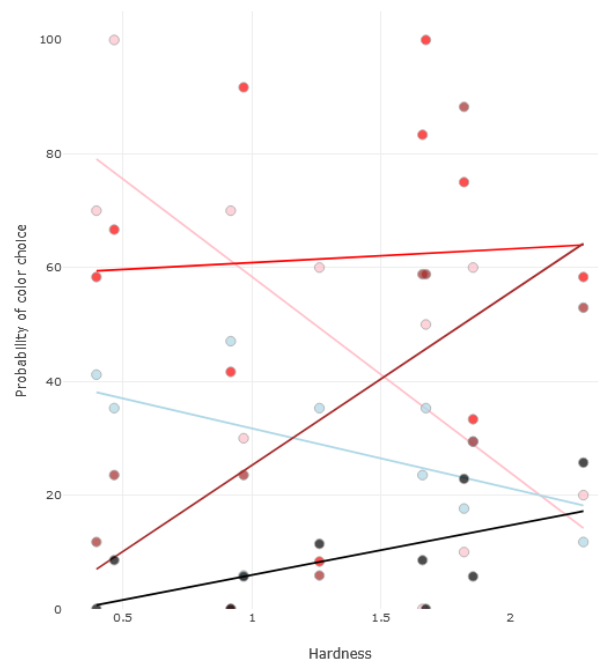
Colors and Audio Features (Hardness, Girls, 2nd. Class)



Colors and Audio Features (Hardness, Boys, 3rd. Class)



Colors and Audio Features (Hardness, Girls, 3rd. Class)



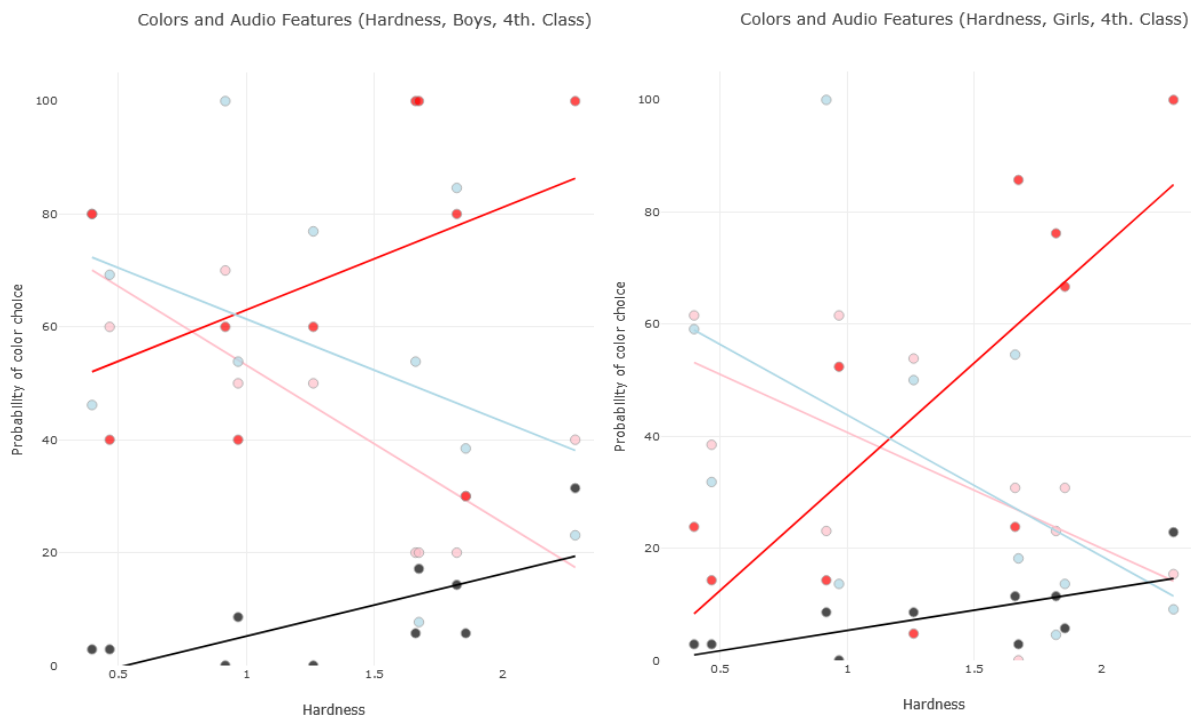


Abbildung 26: Audiomerkmal Hardness der verwendeten Klangquellen in aufsteigender Reihenfolge und dessen Auswirkung auf die Farbe-Ton-Zuordnung unter Berücksichtigung geschlechterspezifischer und Unterschiede bezogen auf alle Proband:innen unter Berücksichtigung aller vier Schulstufen.

In diesem Fall sind alle Farben, die über alle Proband:innen signifikante Korrelationen zeigen in allen Schulstufen und für beide Geschlechter gegebenenfalls als Trendlinien ($p > 0,05$) dargestellt. Es zeigt sich, dass je härter der Klang ist, desto häufiger wird die Farbe Rot gewählt. Auffällig ist der gegenläufige Trend bei den Mädchen der zweiten und dritten Schulstufe. In der vierten Schulstufe ist aber der ursprüngliche Zusammenhang bei den Mädchen deutlich ausgeprägter im Vergleich zu den gleichaltrigen Buben und dem Mittel über alle Klassen und Geschlechter. Zu beachten ist außerdem der gegenläufige Trend für die Wahl der Farbe Rosa bei den Buben der zweiten Schulstufe.

Auch hier finden sich mit Spectral Complexity vergleichbare Ergebnisse, sodass dem Sägezahnnton bevorzugt die Farbe Rot und dem Sinuston Hellblau zugeordnet wird, was sich mit den Ergebnissen der Studie von Feller & Reuter 2023 deckt.

Zwei für diese Studie mit Kindern der ersten bis vierten Klasse Volksschulklasse interessante Audiomerkmale zur Beschreibung der Harmonic Features sind Major Thirds strength und

Minor Thirds strength. Die Werte für die jeweiligen Klangeigenschaften sowie die signifikanten Korrelationskoeffizienten sind den folgenden Tabellen zu entnehmen.

Klangquelle	Major Thirds Strength	Klangquelle	Minor Thirds Strength
Trompete	0,19668552	Trompete	0,50302846
Oboe	0,21860374	Oboe	0,58754037
Flöte	0,24634793	Flöte	0,62054392
Klarinette	0,27928982	Cello	0,65017838
Cello	0,28078073	Sägezahn	0,68515981
Sägezahn	0,29072024	Horn	0,72519212
Horn	0,30272268	Klarinette	0,7430028
Gitarre	0,38787023	Gitarre	0,83465559
Klavier	0,40106597	Klavier	0,8421332
Sinus	0,44205987	Sinus	0,9088168

Tabelle 29: Vergleich der Klangeigenschaften Major Thirds strength und Minor Thirds strength, beide nach aufsteigenden Werten gereiht.

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt	0,883				-0,862	0,765					-0,671	
G m	0,809				-0,796	0,768					-0,636	
G w			0,699		-0,817	0,72					-0,676	
1 m												
1 w	0,931				-0,875							
2 m					-0,765							
2 w												
3 m												
3 w	0,687				-0,828							
4 m	0,759	0,689										
4 w												

Tabelle 30: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Major Thirds strength hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt	0,819		0,676		-0,9	0,76					-0,679	
G m	0,708				-0,822	0,79					-0,661	
G w			0,734		-0,861	0,701					-0,675	
1 m												
1 w	0,892				-0,885							
2 m					-0,768							
2 w						0,688						
3 m												
3 w	0,639				-0,784							
4 m	0,649		0,672			0,682						
4 w					-0,65							

Tabelle 31: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Minor Thirds strength hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).

Beim Vergleich dieser beiden Audiomerkmale miteinander fällt auf, dass es kaum Unterschiede hinsichtlich des Farbe-Klangfarbe-Empfindens gibt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass je ausgeprägter Terzen im Spektrum erkennbar sind, umso mehr werden die Farben Weiß, Rosa

und Hellblau gewählt und umso weniger die Farbe Rot (vgl. Abbildung 27). Auch hier sei wieder im Zusammenhang mit den Farben Rot und Hellblau auf die Arbeit von Feller & Reuter 2023 verwiesen, da sich wiederum zeigt, dass dem Sägezahn Ton bevorzugt Rot und dem Sinuston Hellblau zugewiesen wird.

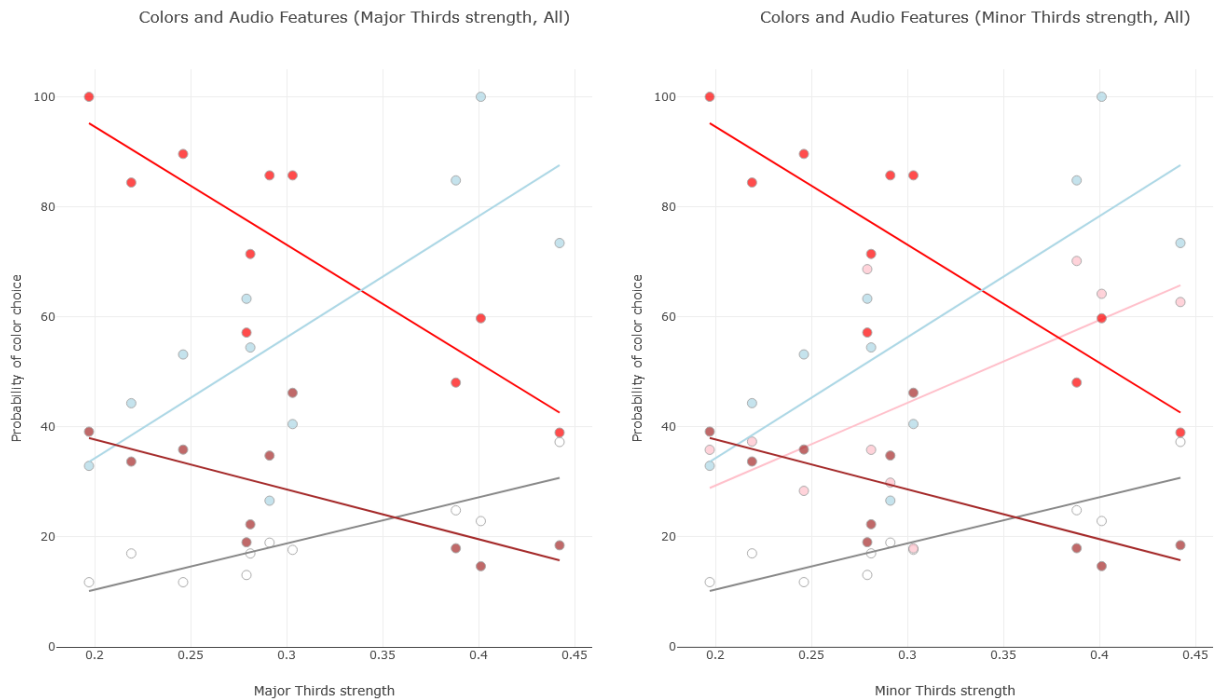


Abbildung 27: Audiomerkmale Major und Minor Thirds strength und dessen Auswirkung auf die Farbe-Ton-Zuordnung unter Berücksichtigung bezogen auf alle Proband:innen.

In weiterer Folge sollen die Klangeigenschaften Envelope Flatness und Envelope Kurtosis genauer analysiert werden. Die Werte für die jeweiligen Audiomerkmale dieser Klangquellen sowie die signifikanten Korrelationskoeffizienten sind den folgenden Tabellen zu entnehmen.

Klangquelle	Envelope Flatness	Klangquelle	Envelope Kurtosis
Gitarre	0,62938052	Flöte	1,77226149
Klavier	0,6330375	Trompete	1,78026982
Flöte	0,83378887	Sinus	1,80272264
Klarinette	0,84303915	Sägezahn	1,80281687
Cello	0,90661428	Oboe	1,8426994
Horn	0,93588028	Horn	1,84463905
Oboe	0,94028361	Cello	1,85085971
Trompete	0,95814931	Klarinette	1,85378725
Sägezahn	0,99162211	Klavier	3,62602451
Sinus	0,99162504	Gitarre	3,91590985

Tabelle 32: Vergleich der Klangeigenschaften Envelope Flatness und Envelope Kurtosis, beide nach aufsteigenden Werten gereiht.

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt		-0,75				-0,805						
G m		-0,67				-0,673					0,65	
G w		-0,79				-0,829						0,664
1 m						-0,781						
1 w						-0,701		-0,801				
2 m			-0,64									
2 w												
3 m												
3 w						-0,643						
4 m		-0,74	-0,68									
4 w						-0,788		0,661				

Tabelle 33: Signifikante Korrelationen der Klangeigenschaft ($p < 0,05$) Envelope Flatness hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt		0,852				0,781			-0,67			
G m		0,833				0,695						
G w		0,815				0,782						-0,671
1 m		0,708				0,695						
1 w		0,677	0,731			0,698						
2 m	0,676											
2 w									-0,667			
3 m						0,641						
3 w		0,66										
4 m		0,799	0,769									
4 w						0,73		-0,737				

Tabelle 34: Signifikante Korrelationen der Klangeigenschaft ($p < 0,05$) Envelope Kurtosis hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).

Beim Vergleich dieser beiden Klangeigenschaften und ihrer Auswirkung auf die Farbwahl zeigt sich, dass die Farben Gelb und Hellblau häufig signifikante Korrelationen aufweisen, jedoch mit umgekehrten Vorzeichen. Die beiden Farben unterscheiden sich wesentlich hinsichtlich Farbsättigung und Farbton. Je höher das Maß für die Envelope Flatness ist, desto weniger wird Gelb und Hellblau gewählt. Bei Envelope Kurtosis verhält es sich genau umgekehrt. Dies gilt sowohl für die Mädchen als auch die Buben aller vier Schulstufen. Die Vorzeichenumkehr lässt sich wiederum auf eine unterschiedliche, zum Teil gegenläufige Ausprägung der Audiomerkmale zurückführen. Ähnliches zeigte sich bereits beim Vergleich der Klangeigenschaften Spectral Decrease und Spectral Energy.

Aufgrund der wenigen signifikanten Korrelationen für das Audiomerkmale Unpleasantness wird auf eine nähere Diskussion im Rahmen dieser Arbeit verzichtet. Erwähnt sei nur, dass sich besonders bei den Mädchen aller Schulstufen eine positive Korrelation zwischen dem Audiomerkmale und der Farbe Rot zeigt. Mädchen ordnen dem Sägezahnnton bevorzugt die Farbe Rot zu, was wiederum in Analogie zu den Ergebnissen der Studie von Feller & Reuter 2023 steht. Generell ist eine unterschiedliche Klangwahrnehmung in Bezug auf das Geschlecht

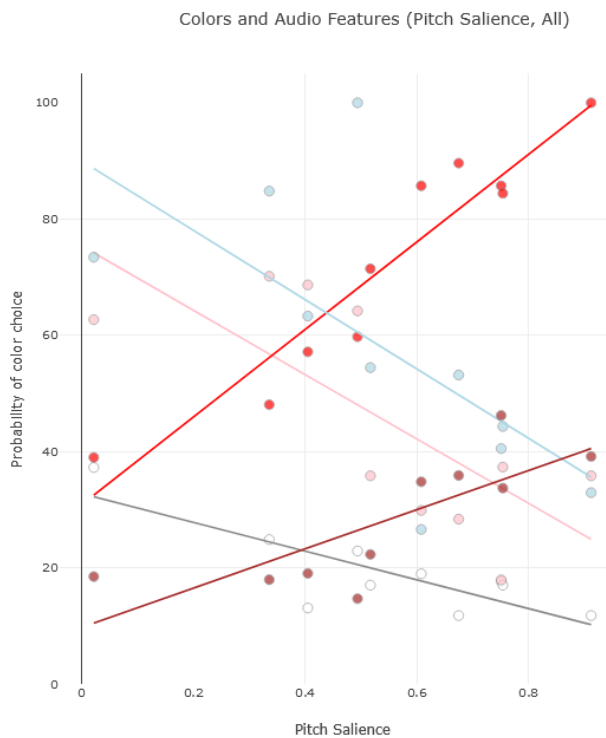
zu erkennen. Die Ausprägung dieser Klangeigenschaft sowie signifikanten Korrelationen sind dem Anhang S. 140 und 145 zu entnehmen.

Im Zusammenhang mit dem Audiomerkmals Partial 1 (relative strength) zeigt sich in Bezug auf alle Versuchspersonen eine positive Korrelation zwischen der Farbe Weiß und Rosa und dem Audiomerkmals, negativ korreliert die Farbe Rot, das heißt, dass dem Sägezahnnton in höherem Maß die Farbe Rot zugeordnet wird als dem Sinuston. Mit zunehmender Stärke des Grundtons werden weniger gesättigte Farben wie Rosa und Hellblau zugeordnet, je grundtonärmer der Klang ist, desto häufiger werden die Farben mit hoher Sättigung, wie Rot und Dunkelblau, zugeordnet. Nachdem der Sinuston grundtonreicher als der Sägezahnnton ist, finden sich auch in diesem Zusammenhang wieder Parallelen zu der Studie von Feller & Reuter 2023. Auch hier sind die Angaben zu den Klangquellen und signifikante Korrelationskoeffizienten dem Anhang S. 140 und 145 zu entnehmen.

Zahlreiche signifikante Korrelationen zeigen sich für die Klangeigenschaft Pitch Saliency, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll.

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt	-0,818		-0,73		0,95	-0,651					0,784	
G m	-0,687				0,838						0,739	
G w	-0,833		-0,783		0,933	-0,636					0,794	
1 m												
1 w	-0,884				0,718							
2 m					0,773						0,635	
2 w			-0,674			-0,734					0,661	
3 m							0,761					
3 w					0,861						0,698	
4 m	-0,704											
4 w					0,693							

Tabelle 35: Signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) der Klangeigenschaft Pitch Saliency hinsichtlich Farbwahl und Klangquelle, aufgelistet für die Gesamtheit aller Versuchspersonen, als auch nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1-4).



Klangquelle*

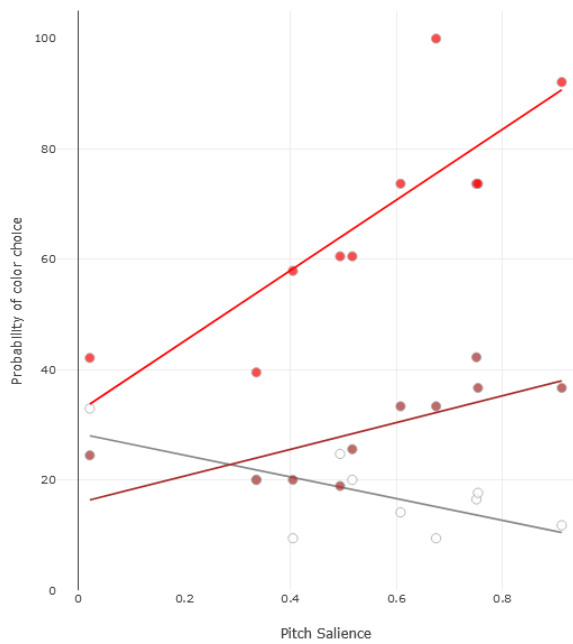
Sinus	0,021667495
Gitarre	0,335667104
Klarinette	0,405203611
Klavier	0,493933588
Cello	0,516584218
Sägezahn	0,607994795
Flöte	0,674687266
Horn	0,750573695
Oboe	0,754393041
Trompete	0,911651611

*Punkte von links nach rechts

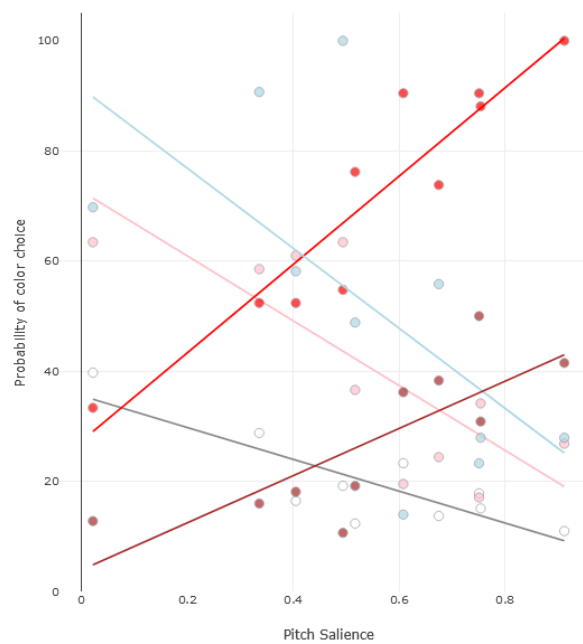
Pitch Saliency

Sinus	0,021667495
Gitarre	0,335667104
Klarinette	0,405203611
Klavier	0,493933588
Cello	0,516584218
Sägezahn	0,607994795
Flöte	0,674687266
Horn	0,750573695
Oboe	0,754393041
Trompete	0,911651611

Colors and Audio Features (Pitch Saliency, Boys)



Colors and Audio Features (Pitch Saliency, Girls)



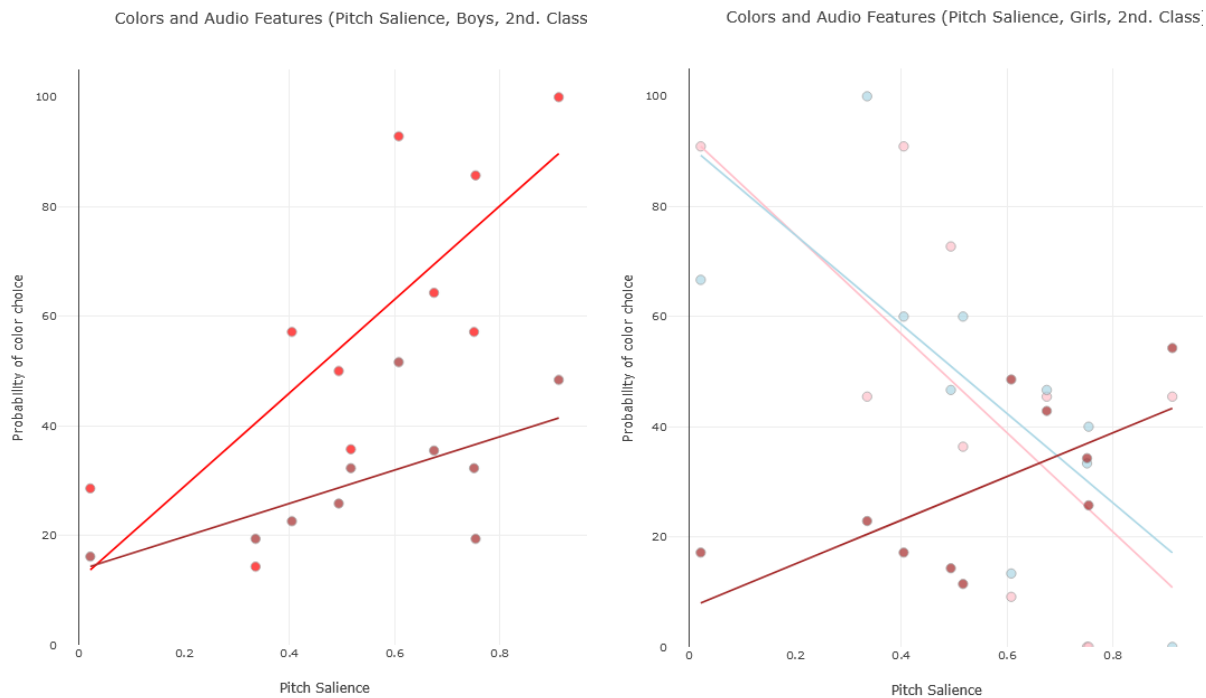


Abbildung 28: Audiomerkmal Pitch Saliency der verwendeten Klangquellen in aufsteigender Reihenfolge und dessen Auswirkung auf die Farbe-Ton-Zuordnung unter Berücksichtigung geschlechterspezifischer Unterschiede bezogen auf alle Proband:innen und unter spezieller Berücksichtigung der Schüler:innen der zweiten Schulstufen.

Im Zusammenhang mit der Klangeigenschaft Pitch Saliency zeigen sich sowohl geschlechtsspezifisch als auch altersabhängig unterschiedliche Farbe-Ton-Zuordnungen. Bei den Mädchen ist eine deutlich ausgeprägte Abnahme der Zuordnung von Hellblau und Rosa mit zunehmender Pitch Saliency erkennbar. Bei allen Kindern zeichnet sich aber ab, dass die Rotvorliebe für den Sägezahnnton höher ist als für den Sinuston. Umgekehrt verhält es sich mit der Zuordnung der Farben Rosa und Hellblau bei den Mädchen. Bei den Buben der dritten Schulstufe ist eine deutliche Abnahme der Beliebtheit der Farbe Dunkelblau für Töne mit hoher Pitch Saliency zu erkennen. Dieser Befund bestätigt auch wiederum zum Teil die Ergebnisse der Studie von Feller & Reuter 2023.

Da es bei Tonal Energy nur wenige signifikante Korrelationen gibt, sei nur erwähnt, dass mit zunehmender Tonal Energy eines Klanges vorwiegend von allen Buben, aber auch den Mädchen der vierten Schulstufe weniger Schwarz gewählt wird. Die Daten zu der Klangeigenschaft und die signifikanten Korrelationskoeffizienten finden sich im Anhang S. 140 und 145.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es sowohl geschlechterspezifische als auch schulstufenweise Unterschiede, wie zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Audiomerkmals Timbral Warmth gibt. Aber auch über alle Klassen hinweg zeigen sich geschlechtsspezifische Unterschiede in Bezug auf das Farbe-Klangfarbe-Empfinden. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang das Audiomerkmals Spectral Flux (< 100 Hz). Es finden sich aber auch unabhängig von Geschlecht und Schulstufe starke Zusammenhänge zwischen der Ausprägung einzelner Audiomerkmale und der Häufigkeit der gewählten Farben. Die Farben Rot, Braun und Schwarz werden umso häufiger gewählt, je geräuschhafter der Klang ist. Hingegen werden Hellblau, Rosa und Weiß umso häufiger gewählt, je harmonischer der Klang ist. Die Farbe Violett wird mit zunehmender klanglicher Wärme häufiger gewählt. Aufgrund dieser Ergebnisse kann Hypothese 2 angenommen und die Nullhypothese abgelehnt werden.

8.2.3. Häufigkeit gleicher Farbe-Ton-Zuordnungen in beiden Durchgängen

Bezugnehmend auf Hypothese 3 soll im Folgenden auf die Häufigkeit von übereinstimmenden Farbe-Ton-Zuordnungen in beiden Durchgängen in Abhängigkeit von Schulstufe, Geschlecht und Ursprung des Klanges sowie Tonhöhe eingegangen werden. In diesem Zusammenhang soll herausgearbeitet werden, welche Tonhöhen beziehungsweise Klangquellen in beiden Durchgängen von einer und derselben Versuchsperson der gleichen Farbe zugeordnet wird und ob sich die Klänge hinsichtlich der Häufigkeit gleicher Farbe-Ton-Zuordnung unterscheiden. In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, ob sich Hinweise auf Klangfarbe-Klang-Synästhesien bei den Versuchspersonen finden lassen.

Ungerichtete H3a: Die Zahl der Klänge, denen in beiden Durchgängen die gleiche Farbe zugeordnet wird, ist abhängig von Schulstufe und Geschlecht.

H03a: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen Schulstufe und Geschlecht, hinsichtlich der Anzahl der gleichen Farbe-Ton-Zuordnung in beiden Durchgängen (Konstanz der Zuordnungen).

Ungerichtete H3b: Die Zahl der Klänge, denen in beiden Durchgängen die gleiche Farbe zugeordnet wird, ist abhängig von Tonhöhe und Klangquelle.

H03b: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen Tonhöhe und Klangquelle hinsichtlich der Anzahl der gleichen Farbe-Ton-Zuordnung in beiden Durchgängen (Konstanz der Zuordnungen).

Zur Überprüfung der aufgestellten Hypothesen werden folgende Daten erfasst und ausgewertet:

Schulstufe	Anzahl der Fragebögen	Anzahl der Übereinstimmungen	Mittelwert	Wertebereich
1 gesamt	48	291	6,063	0-13
1 männlich	24	144	6,000	0-13
1 weiblich	24	147	6,125	1-12
2 gesamt	83	412	4,964	1-16
2 männlich	40	155	3,875	1-15
2 weiblich	43	257	5,977	1-16
3 gesamt	56	316	5,643	0-13
3 männlich	26	147	5,654	0-13
3 weiblich	30	169	5,633	1-11
4 gesamt	70	440	6,286	1-14
4 männlich	34	187	5,000	1-13
4 weiblich	36	253	7,020	2-14
gesamt	257	1459	5,677	0-14
männlich	124	633	5,105	0-15
weiblich	133	826	6,211	1-16

Tabelle 36: Anzahl der Fragebögen und übereinstimmende Farbe-Ton-Zuordnung in beiden Durchgängen nach Schulstufen, Geschlecht und gesamt sowie die Mittelwerte und den Wertebereich der übereinstimmenden Zuordnungen.

Die Auswertung der Fragebögen zeigt, dass die geringsten übereinstimmenden Zuordnungen bei den Kindern der zweiten, gefolgt von der dritten Schulstufe zu finden sind. Im Vergleich dazu fällt auf, dass die Mädchen der vierten Klassen im Durchschnitt (7,02) die meisten übereinstimmenden Zuordnungen getroffen haben. Generell lässt sich sagen, dass mit Ausnahme der dritten Schulstufe die Mädchen mehr übereinstimmende Zuordnungen treffen als die Buben. Diese wiederum zeigen das geringste Maß an übereinstimmenden Zuordnungen in den zweiten Klassen und das höchste Maß in der ersten Klasse. Das Geschlecht außer Acht lassend zeigt sich aber, dass in der zweiten Schulstufe die Zahl an übereinstimmenden Zuordnungen am geringsten ist. Von den 30 Klangbeispielen wird nur maximal 16 Mal zweimal die gleiche Farbe zugeordnet, wodurch auch ohne statistische Auswertung gesagt werden kann, dass sich in dieser Personengruppe niemand mit Klangfarbe-Farbe-Synästhesie befunden hat und sich anhand der folgenden Zahlen die H3a abgelehnt und die Nullhypothese angenommen werden kann.

Bei einer Datenanalyse hinsichtlich Häufigkeit der gleichen Farbe-Ton-Zuordnung in beiden Durchgänge (514 mögliche Zuordnungen) und übereinstimmende Zuordnungen (257 mögliche Übereinstimmungen) auf jeden Klang bezogen zeigt sich Folgendes:

Oktavlage	Klang	Gesamtzahl der Zuordnung	Übereinstimmungen	Am häufigsten gewählte Farbe
C2	Cello C2	247	90	Schwarz
	Horn C2	184	65	Braun
	Klavier C2	232	95	Schwarz
	Sägezahnton C2	254	108	Schwarz
	Sinuston C2	254	103	Schwarz
C3	Gitarre C3	116	36	Braun
	Klarinette C3	120	51	Schwarz
C4	Klarinette C4	97	28	Orange
	Flöte C4	69	24	Rot
	Gitarre C4	67	32	Hellblau
	Horn C4	85	34	Braun
	Klarinette C4	62	25	Violett
	Klavier C4	72	41	Orange
	Oboe C4	76	33	Orange
	Sägezahnton C4	66	32	Rot
	Sinuston C4	60	23	Weiß
	Trompete C4	77	36	Rot
C5	Flöte C5	90	36	Gelb
	Gitarre C5	96	48	Gelb
	Horn C5	83	51	Gelb
	Klarinette C5	94	44	Gelb
	Oboe C5	94	39	Gelb
	Trompete C5	72	43	Gelb
C6	Cello C6	157	76	Gelb
	Flöte C6	131	55	Weiß
	Klavier C6	137	53	Weiß
	Oboe C6	141	63	Weiß
	Sägezahnton C6	153	71	Weiß
	Sinuston C6	151	57	Weiß
	Trompete C6	151	69	Gelb

Tabelle 37: Klangereignisse geordnet nach Tonhöhen und die am häufigsten zugeordnete Farbe sowie die Anzahl der Übereinstimmungen (die sich aber nicht immer mit der am häufigsten gewählten Farbe deckt).

Alle Töne auf C2 gefolgt von allen Tönen auf C6 werden hinsichtlich Farbauswahl eindeutiger zugeordnet als Töne aus dem mittleren Register. Des Weiteren fällt auf, dass es am häufigsten zu einer übereinstimmenden Farbwahl im ersten und zweiten Durchgang bei den Klängen auf C2 und C6 kam. Die Klänge im mittleren Register weisen 51 und weniger gleiche Zuordnungen auf. Interessant ist auch, dass sowohl der Sägezahn- als auch der Sinuston auf C2 die meisten

übereinstimmenden Farbzuordnungen erhält (108 und 103 Mal). Weiters fällt auf, dass sich die Kinder bei einigen Klangereignissen hinsichtlich ihrer Farbwahl sehr einig sind und nahezu 50 Prozent der Kinder die gleiche Farb-Zuordnung treffen. Deutlich zu erkennen ist, dass das tiefe Register C2 ein hohes Maß an übereinstimmender Zuordnung der Farben Schwarz (Cello, Klarinette, Klavier, Sägezahn- und Sinuston) und Braun (Horn) zeigt. Für das hohe Register wählen die Kinder vorzugsweise Gelb und Weiß. Im mittleren Register fallen die Zuordnungen weniger eindeutig aus. Dieser Befund deckt sich mit den Ergebnissen einer Studie von Ambros 2021 und bestätigt wiederum die crossmodale Korrespondenz zwischen tief und dunkel sowie hoch und hell (vgl. Kapitel 5.2) (Ambros & Reuter 2022, S. 996).

Zur besseren Veranschaulichung der Ergebnisse dient die folgende Abbildung:

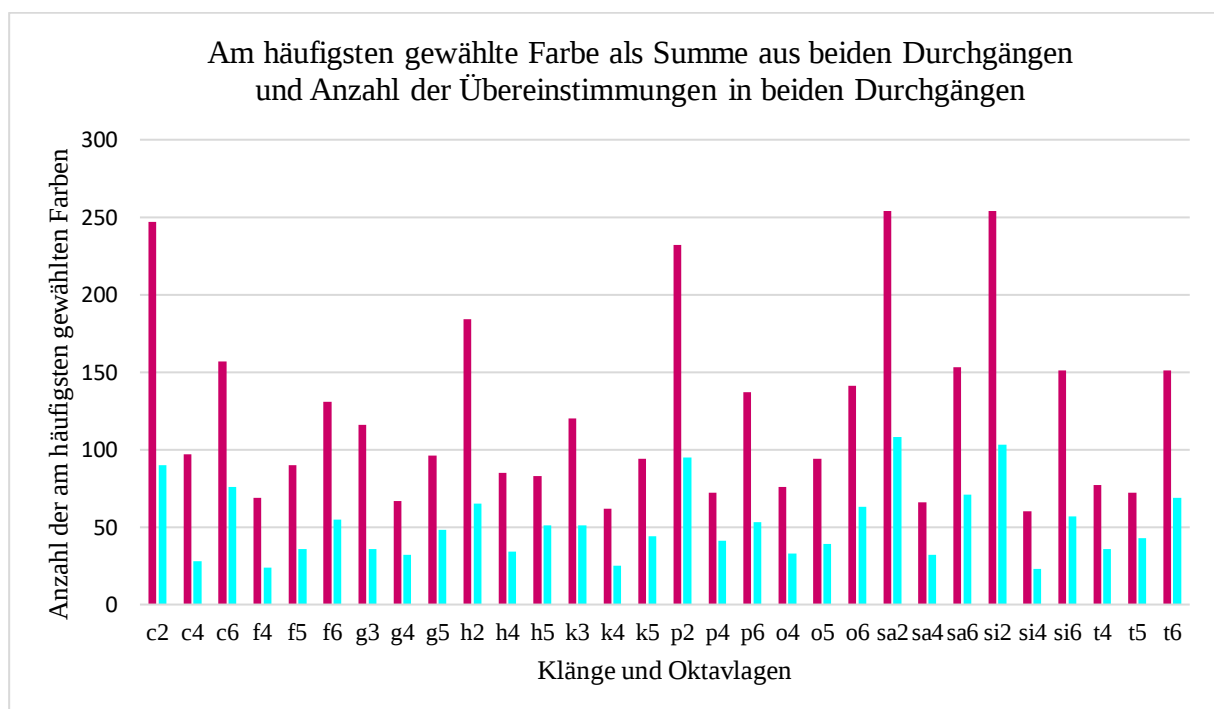


Abbildung 29: Häufigkeit der gewählten Farben pro Klang bezogen auf beide Durchgänge (Weinrot) und Anzahl der von den Proband:innen in beiden Durchgängen getroffene gleiche Farbwahl (Türkis) pro Klang über alle Schulstufen (c = Cello, f = Flöte, g = Gitarre, h = Horn, k = Klarinette, p = Klavier, o = Oboe, sa = Sägezahn, si = Sinus, t = Trompete).

Bezugnehmend auf Hypothese H3b lässt sich sagen, dass H3b angenommen und die Nullhypothese abgelehnt werden kann.

9. Zusammenfassung und Conclusio

Verbesserte Untersuchungsverfahren und Messtechniken im Bereich der Neurowissenschaften lassen unter anderem Rückschlüsse über die Wahrnehmung von Sinnesreizen und ihren Einfluss auf das Verhalten, auf Lern- und Gedächtnisleistungen sowie das Bewusstsein zu. Diese Forschungen fallen in den Bereich der Systematischen Musikwissenschaft, die sich neben zahlreichen anderen Forschungsthemen auch mit dem Phänomen crossmodaler Korrespondenzen – der gegenseitigen Beeinflussung von unabhängigen Reizen – wie Klang beziehungsweise Klangfarbe und Farbe auseinandersetzt. Diese Beziehung könnte auch Informationen über die sogenannte Offenohrigkeit von Kindern liefern.

Im Rahmen dieser Studie geht es zum einen um die Zuordnung von Farben zu Klängen unterschiedlicher Klangquellen und Tonhöhen und deren möglichen geschlechts- und schulstufenspezifische Unterschiede. Hierbei bestätigt sich der Zusammenhang zwischen hell/hoch und tief/dunkel (vgl. Palmer et al. 2013). Diese Unterschiede lassen sich anhand zahlreicher Farbparameter aufzeigen und treffen besonders für das hohe Register zu. Diese Ergebnisse werden mit anderen Studien verglichen (Reuter et al. 2018, Emmett 1994, Ambros et al., 2021), wobei zu bedenken ist, dass unterschiedliche Studiendesigns vorliegen, daher ist es nicht verwunderlich, dass sich die Befunde nur zum Teil decken. Zusätzlich werden auch die Lieblingsfarben der Kinder erhoben und mit anderen Studien verglichen (Frieling 2006, Emmett 1994). Auch hier sind die unterschiedlichen Studiendesigns zu berücksichtigen. Des Weiteren wird auch der Einfluss der Klangquelle auf die Farbe-Ton-Zuordnung untersucht, wobei die Klangquelle einen Einfluss auf die Farbwahl hat. Dies zeigt sich speziell bei der Farbwahl der Kinder im tiefen Register beim Vergleich der Blasinstrumente mit den dargebotenen synthetischen Klängen, aber auch beim Vergleich von Blas- und Saiteninstrumenten im tiefen Register.

In weiterer Folge wird auch der Einfluss der Audiomerkmale eines Klanges auf die Farbwahl analysiert, wobei in diesem Teil der Studie nur Klänge auf einer Tonhöhe (C4, 261 Hz) betrachtet wurden. So können bei der Zuordnung von Instrumentenklängen sowie Sägezahn- und Sinuston auf gleicher Tonhöhe zu Farben starke Zusammenhänge zwischen der Stärke einzelner Audiomerkmale und der Häufigkeit einer Farbauswahl beobachtet werden. Diese zeigen sich vor allem für die Farben Rot, Braun und Schwarz, die mit zunehmender Geräuschhaftigkeit häufiger gewählt werden und den Farben Hellblau, Rosa und Weiß, die umso häufiger zugeordnet werden je harmonischer der Klang ist. Die Farben Gelb (und

Hellblau) werden mit stärker werdenden Veränderungen im zeitlichen Bereich häufiger gewählt und Dunkelgrün weniger häufig. Für die Farbe Violett zeigt sich, dass mit zunehmender klanglicher Wärme (Timbral Warmth) diese Farbe häufiger gewählt wird. Unabhängig von Schulstufe und Geschlecht fällt mit zunehmender Dissonanz (Dissonance) und spektraler Komplexität (Spectral Complexity), klanglicher Härte (Hardness) und Ungefälligkeit (Unpleasantness) signifikant häufiger die Farbwahl auf Rot und mit ansteigender Rauigkeit (Roughness nach Zwicker) und klanglicher Härte auf die Farben Rot, Braun und Schwarz, während die Häufigkeit von Rosa, Hellblau und Weiß bei diesen Audiomerkmalen immer geringer wird. Letztere drei Farben werden hingegen mit zunehmender Grundtönigkeit (Partial 1 (relative strength)) und der Ausgeprägtheit von Terzen (Major und Minor Thirds strength) im Spektrum signifikant häufiger gewählt. Die Befunde für den Sägezahn- und Sinuston bestätigen die von Feller & Reuter 2023 publizierten Ergebnisse.

Im Rahmen dieser Studie können keine Hinweise auf Personen mit Klangfarbe-Farbe-Synästhesie gefunden werden. Es zeigt sich aber, dass bei wiederholter Klangpräsentation die gleiche Farbzurordnung bei Klängen auf C2 und C6 am häufigsten sind, was wiederum die crossmodale Korrespondenz zwischen Tonhöhe und Farbhelligkeit bestätigt, die unabhängig von Geschlecht und Schulstufe auftritt.

Da die Versuchspersonen noch sehr jung sind, werden musikalische Vorkenntnisse und die Auswirkungen eines musikalischen Umfeldes auf die Farbe-Ton-Zurordnung beziehungsweise crossmodale Korrespondenzen nicht berücksichtigt. Dies könnte aber in weiterer Folge mit verändertem Studiendesign nachgeholt und analysiert werden, um Rückschlüsse auf den Einfluss des Umfeldes auf die musikalische Entwicklung ziehen zu können, besonders unter dem Aspekt der Offenohrigkeit. Geschlechts- und schulstufenspezifische Unterschiede in Bezug auf das Empfinden von Klängen beziehungsweise von Klangfarben könnten weitere Hinweis zum Zeitfenster der Offenohrigkeit (Hargreaves 1982) in dieser Altersgruppe liefern. In diesem Zusammenhang wäre auch neben einer Studie mit außereuropäischen Instrumentenklängen der Vergleich mit Gleichaltrigen aus anderen Kulturkreisen von Interesse, um hierzu weiterführende Erkenntnisse zu erhalten, aber auch um Rückschlüsse auf crossmodale Korrespondenzen in Bezug auf deren Ursprung und ihrer Ausgeprägtheit ziehen zu können.

Literaturverzeichnis

Adeli, Mohammed / Rouat, Jean / Molotchnikoff, Stéphane: „Audiovisual correspondence between musical timbre and visual shapes“, in: *Frontiers in Human Neuroscience*, 2014 (8/352), S. 1–11.

Ambros, Sarah / Jewanski, Jörg / Reuter, Christoph / Schmidhofer, August: „Sind crossmodal correspondences kulturell erlernt? Zuordnungen von Farben und Tönen in Madagaskar“, in: *Fortschritte der Akustik – DAGA 2021. Deutsche Jahrestagung für Akustik* (2021), S. 1076–1079.

Ambros, Sarah & Reuter, Christoph: „Crossmodal Correspondences bei Musiker:innen und Nichtmusiker:innen im empirischen Vergleich“, in: *Fortschritte der Akustik – DAGA 2022. Deutsche Jahrestagung für Akustik* (2022), S. 994–996.

Amthor, Frank: *Das menschliche Gehirn für Dummies*, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA 2013.

American Standards Association: *American Standards association terminology (including mechanical shock and vibration)*, American Standards Association, New York, 1960.

Anikin, Andrey & Johansson, Niklas: „Implicit associations between individual properties of color and sound“, in: *Attention, Perception, & Psychophysics* 81/3 (2019), S. 764–777.

Anzenbacher, Christoph: *Audiologos. Integrative Gestaltungsmaßnahmen vor dem Hintergrund der Musikpsychologie*, Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft 2012.

Auhagen, Wolfgang / Bullerjahn, Claudia / von Georgi, Richard: „Vorwort der Herausgeber“, in: Auhagen, Wolfgang / Bullerjahn, Claudia / von Georgi, Richard (Hrsg.) *Offenohrigkeit – Ein Postulat im Fokus. Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie*, Göttingen u. a.: Hogrefe 2014 (Band 24), S. 9–11.

Badur, Imke-Marie: „Selbstinitiierte musikbezogene Aktivitäten von Kindern im Grundschulalter. Teilergebnisse des Forschungsprojektes „Kind & Musik““, in: Auhagen, Wolfgang / Bullerjahn, Claudia / Höge, Holger (Hrsg.) *Musikpsychologie – Musikalische Sozialisation im Kindes- und Jugendalter, Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie*, Göttingen u. a.: Hogrefe 2007 (Band 19), S. 54–70.

Beck, Henning / Anastasiadou, Sofia / Meyer zu Reckendorf, Christopher: *Faszinierendes Gehirn – Eine gebildete Reise in die Welt der Nervenzellen*, Springer-Verlag Deutschland GmbH 2018.

Behne, Klaus-Ernst: „Am Rand der Musik: Synästhesien, Bilder, Farben“, in Behne, Klaus-Ernst / Kleine, Günther / De la Motte-Haber, Helga (Hrsg.): *Musikpsychologie. Empirische Forschungen – Ästhetische Experimente. Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie*, Wilhelmshafen: Noetzel 1991 (Band 8), S. 94–120.

Brang, David & Ramachandran, Vilayanur S.: „How do crossmodal correspondences and multisensory processes relate to synesthesia?“, in: *Multisensory Perception From Laboratory to Clinic*, Elsevier Academic Press, 2020 (33/12), S. 259–281.

Buck, Linda & Axel, Richard: “A Novel Multigene Family May Encode Odorant Receptors: A Molecular Basis for Odor Recognition“, in: *Cell*, 1991 (65), S. 175-187.

Casagrande, Vivien & Ichida, Jennifer: “Processing in the Lateral Geniculate Nucleus (LGN)“, in: Levin, Leonard A. / Nilson, Siv F. E. / Ver Hoeve James / Wu Samuel M. (Hrsg.): *Adler’s physiology of the eye*, Edinburgh u. a.: Elsevier, 2011, Elsevier, 2011, S. 574–585.

Casagrande, Vivien & Marion, Roan: “Processing in the Primary Visual Cortex“, in: Levin, Leonard A. / Nilson, Siv F. E. / Ver Hoeve James / Wu Samuel M. (Hrsg.): *Adler’s physiology of the eye*, Edinburgh u. a.: Elsevier, 2011, Elsevier, 2011, S. 586–598.

Chino, Yuzo M.: “Development Visual Deprivation“, in: Levin, Leonard A. / Nilson, Siv F. E. / Ver Hoeve James / Wu Samuel M. (Hrsg.): *Adler’s physiology of the eye*, Edinburgh u. a.: Elsevier, 2011, S. 732–749.

Costandi, Moheb: *50 Schlüsselideen Hirnforschung*, Berlin u. a.: Springer-Verlag 2015.

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

Deroy, Ophelia & Spence, Charles: “Why we are not all synesthetes (not even weakly so)“, in: *Psychonomic Bulletin & Review*, 2013 (20/4), S. 643–664.

Dowling, W. Jay: „Entwicklung der musikalischen Kognition: Melodie, Klangfarbe und Harmonie“, in: Oerter, Rolf & Stoffer, Thomas H. (Hrsg.), *Spezielle Musikpsychologie*, Göttingen u. a.: Hogrefe Verlag für Psychologie 2005, S. 57–88.

Emmett, Karin, E. A.: *Musik und Farberleben bei Kindern – Die kindliche Umsetzung der Klangfarben verschiedener Instrumente in reale Farben*, Diplomarbeit Universität Wien, 1994.

Frieling, Heinrich: *Mensch und Farbe. Wesen und Wirkung von Farben in allen menschlichen und zwischenmenschlichen Bereichen*, Göttingen u. a.: Muster-Schmidt Verlag, 2006.

Fastl, Hugo & Zwicker, Eberhard: *Psychoacoustics. Facts and Models*, Berlin u. a.: Springer Verlag, 2007.

Feller, Gabriel & Reuter, Christoph: Klingt Sinus blau und Sägezahn rot? Eine Untersuchung zu Crossmodal Correspondences bei der Wahrnehmung von synthetischen Wellenformen, Conference Paper DAGA 2023 Hamburg, S. 1163–1166.

Franssen, Maarten: “The Ocular Harpsichord of Louis-Bertrand Castel: The Science and Aesthetics of an Eighteenth-Century Cause Célèbre“, in: *Tractrix, Yearbook of History of Science, Medicine, Technology and Mathematics* 3 (1991), S. 15–77.

Funk, Richard H. W. / Reiss, Gebhard / Waldeyer, Anton / Streicher, Johannes / Pera, Franz / Anderhuber, Friedrich: „Sinnesorgane Auge und Ohr“, in: *Waldeyer – Anatomie des Menschen*, De Gruyter, 2012, S. 873–944.

Gelfand, Stanley A.: *Hearing: An Introduction to Psychological and Physiological Acoustics*, UK: Informa 2010.

Gembris, Heiner: „Musikalische Fähigkeiten und ihre Entwicklung“, in: de la Motte-Haber, Helga (Hrsg.), *Psychologische Grundlagen des Musiklernens (Handbuch der Musikpädagogik Bd. 4)*, Kassel: Bärenreiter Verlag 1987 (Band 4), S. 116–185.

Gembris, Heiner / Schellberg, Gabriele: „Die Offenohrigkeit und ihr Verschwinden bei Kindern im Grundschulalter“, in: Auhagen, Wolfgang / Bullerjahn, Claudia / Höge, Holger (Hrsg.): *Musikpsychologie – Musikalische Sozialisation im Kindes- und Jugendalter, Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie*, Göttingen u. a.: Hogrefe 2007 (Band 19), S. 71–92.

Gembris, Heiner / Heye, Andreas / Jeske, Lisa: „Replikationsstudien betätigen das Phänomen der Offenohrigkeit im frühen Grundschulalter“, in: Auhagen, Wolfgang / Bullerjahn, Claudia / von Georgi, Richard (Hrsg.): *Offenohrigkeit – Ein Postulat im Fokus. Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie*, Göttingen u. a.: Hogrefe 2014 (Band 24), S. 100–132.

Gembris, Heiner: *Grundlagen musikalischer Begabung und Entwicklung*, Augsburg: Wißner, 5. Auflage 2017.

Gordon, Edwin E.: *A Music Learning Theory for Newborn and Young Children*, Chicago: I.A. Publications, Inc. 1990.

Grey, John M.: “Multidimensional perceptual scaling of musical timbres“, in: *J. Acoust. Soc. Am.* 61, (1977), S. 1270–1277.

Gruhn, Wilfried: *Anfänge des Musiklernens. Eine lerntheoretische und entwicklungspsychologische Einführung*, Hildesheim, u. a.: Georg Olms 2010.

Hargreaves, David J.: “The development of aesthetic reactions to music“, in: *Psychology of Music* 10, (Special Issue), (1982), S. 51–54.

Hargreaves, David J. & Bonneville-Roussy, Arielle: “What is ‘opened-earedness’, and how can it be measured?“, in: *Musica Scientiae* (2017), S. 1–14.

Haverkamp, Michael: „Auditiv-visuelle Verknüpfungen im Wahrnehmungssystem und die Eingrenzung synästhetischer Phänomene“, in: Jewanski, Jörg / Sidler, Natalia (Hrsg.), *Farbe – Licht- Musik. Synästhesie und Farblichtmusik*. Bern: Lang 2006, S. 31–74.

Hoth, Sebastian / Mühler, Roland / Neumann, Katrin / Walger, Martin: *Objektive Audiometrie im Kindesalter*, Berlin u. a.: Springer 2014.

Jewanski, Jörg: *Ist C = Rot? Eine Kultur- und Wissenschaftsgeschichte zum Problem der Wechselseitigen Beziehung zwischen Ton und Farbe. Von Aristoteles bis Goethe*, Sinzig: Schewe 1999.

Jewanski, Jörg: “Color-Tone Analogies: A Systematic Presentation of the Principles of Correspondence“, in: Daniels, Dieter & Naumann, Sandra (Hrsg.): *Audiovisuology Compendium An Interdisciplinary Survey of Audiovisual Culture*, Köln: Walther König 2010, S. 339–348.

Koelsch, Stefan & Schröger, Erich: „Neurowissenschaftliche Grundlagen der Musikverarbeitung“; in: Lehmann, Andreas C. & Kopiez, Reinhard (Hrsg.): *Handbuch Musikpsychologie*, Bern: Hogrefe 2018, S. 461–482.

Laurier, Cyril / Meyers, Owen / Serrà, Joan / Blech, Martin / Herrera, Perfecto / Serra, Xavier: “Indexing music by mood: Design and integration of an automatic content-based annotator“, in: *Multimedia Tools and Applications*, 2010 (48/1), S. 688–693.

LeBlanc, A.: “Affect of maturation/aging on music listening preference: A review of the literature“, Paper presented at the *Ninth national symposium on research in music behaviour*, Canon Beach, Oregon, USA, 1991.

Louven, Christoph: Hargreaves’ “open-earedness“: A critical discussion and new approach on the concept of musical tolerance and curiosity“, in: *Musicae Scientiae* 20/2 (2016), S. 235–247.

Louven, Christoph & Oehler, Michael: „Psychoakustische Grundlagen des Musikhörens“, in: Lehmann, Andreas C. & Kopiez, Reinhard (Hrsg.): *Handbuch Musikpsychologie*, Bern: Hogrefe 2018, S. 483–511.

MacLeish, Peter R. & Makino, Clint L.: „Photoresponse of Rods and Cones“, in: Levin, Leonard A. / Nilson, Siv F. E. / Ver Hoeve James / Wu Samuel M. (Hrsg.): *Adler’s physiology of the eye*, Edinburgh u. a.: Elsevier, 2011, Elsevier, 2011, S. 411–428.

Matsubara, Joanne A. & Boyd, Jamie D.: “Overview of the Central Visual Pathways“, in: Levin, Leonard A. / Nilson, Siv F. E. / Ver Hoeve James / Wu Samuel M. (Hrsg.): *Adler’s physiology of the eye*, Edinburgh u. a.: Elsevier, 2011, S. 545–549.

Maurer, Daphne / Gibson, Laura C. / Spector, Ferrine: “Synesthesia in Infants and Very Young Children“, in: Simner, Julia & Hubbard, Edward M. (Hrsg.): *Handbook of Synesthesia*, Oxford: University Press, 2013, S. 46–63.

Maurer, Daphne & Mondloch Catherine J.: “The infant as synesthete?“, in: Munakata, Y & Johnson, M.H. (Hrsg.): *Attention and performance XXI: Process of change in brain and cognitive development*, Oxford: Oxford University Press 2006, S. 449 – 471.

Metatla Oussama / Maggioni Emmanuela / Cullen Clare / Obrist Marianna: ““Like Popcorn“: Crossmodal Correspondences between Scents, 3D Shapes and Emotions in Children“, CHI Paper 489 (2019), 1–13.

Müller, Werner A. / Frings, Stephan / Möhrle Frank: *Tier- und Humanphysiologie – Eine Einführung*, Springer GmbH Deutschland 2019.

Nava, Elena / Grassi, Massimo / Turati, Chiara: “Audio-Visual, Visuo-Tactile and Audi-Tactile Correspondences in Preschoolers“, in: *Multisensory Research* 29 (2016), S. 93–111.

Neitz, Jay / Mancuso Katherine / Kuchenbecker, James A. Neitz, Maureen: “Color Vision“, in: Levin, Leonard A. / Nilson, Siv F. E. / Ver Hoeve James / Wu Samuel M. (Hrsg.): *Adler’s physiology of the eye*, Edinburgh u. a.: Elsevier, 2011, S. 648–654.

Netter, Frank H.: *Atlas der Anatomie des Menschen*, Stuttgart u. a., Zweite, erweiterte Ausgabe Thieme 2000.

Newton, Isaac: "The Optical Papers", in: Shapira, Alan E. (Hrsg.), *The Optical Lectures 1670–1672*, Cambridge: University Press 1984 (Band 1).

Norcia, Anthony M.: "Development of Vision in Infancy"; in: Levin, Leonard A. / Nilson, Siv F. E. / Ver Hoeve James / Wu Samuel M. (Hrsg.): *Adler's physiology of the eye*, Edinburgh u. a.: Elsevier, 2011, S. 714–724.

Palmer, Stephen E. / Schloss, Karen B. / Xu, Zoe / Prado-León, Lilia R.: "Music-color associations are mediated by emotion", in: *PNAS* 110/22 (2013), 8836–8841.

Parisi, Cesare & Spence, Charles: "Audiovisual cross-modal correspondences in the general population", in: Simner, Julia & Hubbard, Edward M. (Hrsg.): *The Oxford Handbook of Synesthesia*, Oxford: University Press, 2013, S. 790–815.

Pinquart, Martin / Schwarzer, Gudrun / Zimmermann, Peter: *Entwicklungspsychologie – Kindes- und Jugendalter*, Göttingen: hogrefe 2019.

Ramachandran, Vilayanur S. & Hubbard, Edward M.: "Synaesthesia – a window into perception, thought and language", in: *J Conscious Stud.*, 2001a, 8(12), S. 3–34.

Ramachandran, Vilayanur S. & Hubbard, Edward M.: "Psychophysical investigations into the neural basis of synaesthesia", in: *Proc R Soc Lond B Biol Sci*, 2001b, 268(1470), S. 979–983.

Reiss, Gebhard / Walkowiak, Wolfgang / Zenner, Hans-Peter / Plinkert, Peter Karl / Lehnhardt, Ernst: *Das stato-akustische Organ. Ein Bildatlas zur Evolution, Physiologie und Morphologie*, Hannover: duphar 1989.

Reuter, Christoph: „Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente. Auswertung physikalischer und psychoakustischer Messung“, Frankfurt am Main u. a.: Peter Lang 1995 (Europäische Hochschulschriften. Reihe 36 Musikwissenschaft 148).

Reuter, Christoph: „Wie und warum in der Geschichte der Klangfarbenforschung meistens am Klang vorbeigeforscht wurde.“, in: Niemöller, Wolfgang (Hrsg.): *Systematische Musikwissenschaft. Festschrift Jobst Peter Fricke zum 65. Geburtstag*, Frankfurt, 2003, S. 293–302.

Reuter, Christoph / Jewanski, Jörg / Saitis, Charalampos / Czedik-Eysenberg, Isabella / Siddiq, Saleh / Kruchten, Sascha / Oehler, Michael: "Colors and Timbres – Consistency and Tendencies of Color-Timbre Mappings in non-synesthetic Individuals". *Posterbeitrag zu „Musik im audiovisuellen Kontext“ – 34. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie (DGM)*, Universität Gießen, 7.-9.9.2018; (DOI: 10.13140/RG.2.2.31766.19526).

Roederer, Juan G.: *Physikalische und psychoakustische Grundlagen der Musik*, Wien u.a.: Springer 1995.

Rogers, Kara: *The eye: the physiology of human perception*, New York: Britannica Educational Publishing 2011.

Sandig, Hans: „Beobachtungen an Zweiklängen in getrenntohriger und beidohriger Darbietung Ein Beitrag zur Theorie der Konsonanz“, in: Wellek, Albert: *Gefühl und Kunst*, München: Beck 1939.

Schäffler, Arne & Schmidt, Sabine: *Mensch, Körper, Krankheit – Anatomie, Physiologie, Krankheitsbilder*, Neckarsulm: Jungjohann 1995.

Schibli, Sigfried: „Zwischen Mode und Modernität. Zum 100. Todestag des russischen Komponisten Alexander Nikolajewitsch Skrjabin“, in: *Österreichische Musikzeitschrift*, 69/6, (2014), S. 77–80.

Schor, Paolo & Miller, David: “Optics“, in: Levin, Leonard A. / Nilson, Siv F. E. / Ver Hoeve James / Wu Samuel M. (Hrsg.): *Adler’s physiology of the eye*, Edinburgh u. a.: Elsevier, 2011, S. 1–27.

Silbernagl, Stefan & Despopoulos, Agamemnon: *Color atlas of physiology*, Stuttgart u. a.: Georg Thieme 2012.

Simpson, Ray H. / Quinn, Marian / Ausubel, David P.: “Synesthesia in Children: Association of Colors with pure tone frequencies“, in: *The Journal of Genetic Psychology* 689 (1956), S. 95–103.

Smith, Linda B. & Sera, Maria D.: “A Developmental Analysis of the Polar Structure of Dimensions“, in: *Cognitive Psychology* 24 (1992), S. 99–142.

Soto, Christopher J. / John, Oliver P. / Gosling, Samuel D. / Potter, Jeff: “Age differences in personality traits from 10 to 65: Big Five domains and facets in a large cross-sectional sample“, in: *Journal of Personality and Social Psychology*, 100(2) 2011, S. 330–348 (doi.org/10.1037/a0021717).

Steiner, Elisabeth & Benesch, Michael: *Der Fragebogen. Von der Forschungsidee zur SPSS-Auswertung*, Wien: facultas 2021.

Stumpf, Carl: *Tonpsychologie*, Leipzig: Hirzel, 1890 (2).

Von Helmholtz, Hermann: *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*. Braunschweig, Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn 1863.

Walker, Peter / Bremner, James Gavin / Mason, Uschi / Spring, Jo / Mattock, Karen / Johnson, Scott P.: “Preverbal infants’ sensitivity to synesthetic cross-modality correspondences“, in: *Association for Physiological Science* 21 (2010), S. 21–25.

Walker, Peter / Scallan, Gabrielle / Francis, Brian: „Cross-Sensory Correspondences: Heaviness is Dark and Low-Pitched“, in: *SAGE Perception* 46/6 (2017), S. 772–792.

Walker, Peter / Bremner, James Gavin / Lunghi, Marco / Dolscheid, Sarah / Barba, Beatrice D. / Simion, Francesca: “Newborns are sensitive to the correspondence between auditory pitch and visuospatial elevations“, in: *Development Psychobiology* 60/2 (2018), S. 216–223.

Wellek Albert: „Renaissance- und Barocksynästhesie. Die Geschichte des Doppelempfindens im 16. und 17. Jahrhundert“, in: *Deutsche Vierteljahrsschrift für Literaturwissenschaft und Geistesgeschichte*, 9/534 (1931), S. 534–584.

Welsch, Norbert & Liebmann Claus Chr.: *Farben. Natur Technik Kunst*, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2012.

Whyte, Ralph: „*A Light in Sound, a Sound-like Power in Light*“: *Light and/as Music in the History of the Color Organ*, Dissertation, Columbia University 2019.

Wöhrle, Sophie D. / Reuter, Christoph / Rupp, André / Andermann, Martin: „Neuromagnetic Representation of musical roundness in chords progressions“, in: *Front. Neurosci.* 18, 2024, S. 1-17 (DOI: 10.3389/fnins.2024.1383554).

Anhang

Abschließende Diskussion der Studie und aufgetretene Schwierigkeiten

Bei der Studie mit Wiener Volksschulkindern wurde im Speziellen darauf geachtet, dass diese in einem für die Versuchspersonen vertrautem Umfeld erfolgte. Das Studiendesign wurde im höchst möglichen Maß auf die Bedürfnisse der Kinder in dieser Altersgruppe ausgerichtet, um eine Überforderung der Kinder sowohl durch die Aufgabenstellung als auch in Bezug auf das Konzentrationsvermögens zu vermeiden. Jedoch zeigte sich, dass Kinder der ersten Schulstufe zum Teil überfordert waren. Um möglichst auch viele sechsjährige Kinder in die Studie miteinzubeziehen, wurde die Studie bereits im November durchgeführt, zu einem Zeitpunkt, an dem sich die Erstklässler:innen nur zum Teil an den Schulalltag gewöhnt hatten. Dadurch kam es teilweise zur Überforderung der Kinder im Klassenverband. In einer Vorstudie zeigte sich dieses Problem nicht, da sie nur im kleinen Rahmen mit vier Kindern im Alter von fünf bis zehn Jahren durchgeführt wurde und im Bedarfsfall auf entstandene Probleme individuell eingegangen werden konnte. In den zweiten bis vierten Klassen war die Aufgabenstellung für die Kinder ohne Schwierigkeiten zu bewerkstelligen. Dies spiegelt sich auch in der Anzahl der Fragebögen, die nicht zur Auswertung kamen wider (vgl. Kapitel 7.3).

Als problematisch zu erachten ist das mögliche Abschreiben voneinander, was sich aber im Zusammenhang mit dieser Studie nicht vermeiden ließ, als auch das Rausrufen und eine dadurch mögliche Beeinflussung der anderen Kinder. Um dies zu vermeiden, müsste jedes Kind allein den Fragebogen ausfüllen, was wiederum Stress durch das fehlende Kollektiv auslösen könnte und dadurch die Ergebnisse verfälscht würden.

Einen Einfluss auf das Ergebnis könnte die Tageszeit darstellen, zu der die Studie durchgeführt wurde. Das heißt, es müssten alle Klassen zur gleichen Uhrzeit die Studie durchführen, was in diesem Fall eine massive organisatorische Belastung dargestellt hätte.

Der Aspekt der musikalischen Vorkenntnisse ist im Zusammenhang mit diesem Studiendesign zu vernachlässigen, da die von den Kindern erhaltenen Angaben dem Alter entsprechend ungenau waren, und ein Rückschluss auf die Dauer der musikalischen Ausbildung sowie Informationen zu einem möglichen musikalischen Umfeld den Angaben nicht im Detail entnommen werden konnte und diese auch nicht auf ihre Richtigkeit überprüft werden konnten. Vermutlich dürfte dies aufgrund des Alters der Kinder ohne gravierenden Einfluss sein. Um

dennoch auf die musikalischen Vorkenntnisse einzugehen, müsste das Studiendesign dahingehend modifiziert werden.

Die Erhebung der Lieblingsfarbe erfolgte explorativ, lieferte aber interessante Informationen hinsichtlich der unterschiedlichen Farbvorlieben nach Schulstufe und Geschlecht, die sich im Zusammenhang mit der Untersuchung einzelner Klangmerkmale und Farbzusordnungen wiederfanden. Um dies noch genauer zu untersuchen, ließen sich neue Forschungsfragen und Folgestudien ableiten. Abweichende Farbvorlieben verglichen mit anderen Studien aus früheren Jahren ließen sich durch das unterschiedliche Studiendesign als auch durch Modetrends und andere Einflüsse, wie zum Beispiel die Farbe der Schulkleidung erklären, haben aber auf das Ergebnis dieser Studie keinen Einfluss.

Der Ursprung des Klanges (beziehungsweise die Art des Musikinstruments) wurde nicht bekanntgegeben, aber mitunter in Abhängigkeit von der Schulstufe von den Kindern erkannt beziehungsweise nachträglich erfragt. Gab es eine Vermutung zum Ursprung des Klanges, wurde diese auch von einigen Kindern laut kundgetan.

Sinus- und Sägezähntöne führten in allen vier Schulstufen zu Verwirrung. Lediglich in einer vierten Klasse wurde die Vermutung geäußert, dass es sich bei den Klangbeispielen auch um „digitale Klänge vom Computer“ handelte.

Eine häufig verbalisierte Assoziation der tiefen Klänge, speziell des Horns, wurde durch den Begriff „Furzgeräusch“ zum Ausdruck gebracht, was als mögliche Erklärung für die Häufigkeit der Zuordnung der Farbe Braun zu Horn C2 herangezogen werden könnte. Weitere Assoziationen der Kinder waren zum Beispiel der Vergleich mit dem Geräusch im Zusammenhang mit zensurierten Wörtern oder mit dem „Besetzt-Zeichen“ beim Telefonieren.

Die wiederholte Klangpräsentation, die mögliche Hinweise auf Farbe-Klang-Synästhesien hätte liefern können, blieb aber ohne Befund hinsichtlich Geschlecht und Schulstufe, sowie Klangquelle. Es zeigte sich nur der Trend, dass tiefe Töne häufiger dazu führten, dass Kinder zweimal die gleiche Farbwahl trafen. Im hohen Register ist dieser Trend weniger stark zu verzeichnen.

Ergänzendes Datenmaterial

Kapitel 8.1: Angaben zu den Lieblingsfarben der Proband:innen in Prozent (g = gesamt, m = männlich, w = weiblich):

Klasse g	Schwarz	Braun	Orange	Dunkelgrün	Hellgrün	Blau
1	4,17	2,08	10,42	2,08	2,08	22,92
2	6,02	0	4,82	3,61	14,46	20,48
3	8,93	0	7,14	10,71	8,93	12,5
4	0	0	5,71	5,71	8,57	15,71
Klasse m						
1	4,17	4,17	20,83	4,17	4,17	20,83
2	7,31	0	9,75	7,31	19,51	26,83
3	19,23	0	11,54	15,38	3,85	15,38
4	0	0	8,82	8,82	8,82	20,59
Klasse w						
1	4,17	0	0	0	0	25
2	4,76	0	0	0	9,52	14,29
3	0	0	3,33	6,67	13,33	10
4	0	0	2,78	2,78	8,33	11,11

Klasse g	Hellblau	Rot	Violett	Rosa	Gelb	Weiß
1	14,58	20,83	6,25	8,33	2,08	4,17
2	13,25	13,25	12,05	7,23	3,61	0
3	16,07	3,57	17,86	7,14	1,79	3,57
4	30	11,43	8,57	4,29	4,29	2,86
Klasse m						
1	8,33	20,83	0	0	4,17	8,33
2	4,88	17,07	2,44	0	4,88	0
3	7,69	7,69	3,85	3,85	0	7,69
4	14,71	20,59	5,88	0	8,82	0
Klasse w						
1	20,83	20,83	12,5	16,67	0	0
2	21,43	9,52	21,43	14,29	2,38	0
3	23,33	0	30	10	3,33	0
4	44,44	2,78	11,11	8,33	0	5,56

Ad Kapitel 8.2.1: Angaben zu den Klängen und den zugeordneten Farben (Heatmaps)

Die folgenden Abbildungen geben die Häufigkeit der Zuordnung einer bestimmten Farbe zu einem Klangbeispiel innerhalb einer Schulstufe in Prozent an. Die Farbintensität ergibt sich aus der in Prozent angegebenen Anzahl der jeweiligen Zuordnungen zu den Klangbeispielen.

Klang	Häufigkeit in Prozent - Weiß				Häufigkeit in Prozent - Gelb			
	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.
Cello C2	2,08	1,2	5,36	2,14	2,08	2,41	1,79	1,43
Cello C4	7,29	4,22	3,57	5,71	9,38	8,43	9,82	9,29
Cello C6	14,58	26,51	31,25	26,43	31,25	28,92	27,68	34,29
Flöte C4	3,13	5,42	1,79	2,86	4,17	9,04	5,36	8,57
Flöte C5	13,54	12,65	8,93	3,57	17,71	25,3	21,43	5
Flöte C6	23,96	27,71	24,11	25	18,75	25,9	24,11	22,14
Gitarre C3	3,13	3,61	2,68	6,43	2,08	3,01	3,57	2,86
Gitarre C4	11,46	7,83	5,36	5,71	14,58	11,45	11,61	9,29
Gitarre C5	17,71	17,47	15,18	12,86	15,63	20,48	21,43	16,43
Horn C2	4,17	3,01	2,68	0,71	0	3,01	5,36	2,14
Horn C4	8,33	6,63	4,46	2,14	9,38	5,42	2,68	4,29
Horn C5	11,46	13,25	10,71	12,86	11,46	18,67	19,64	13,57
Klarinette C3	3,13	6,02	0,9	0,71	1,04	3,01	1,79	0
Klarinette C4	5,21	4,82	3,57	2,14	6,25	4,22	4,42	7,14
Klarinette C5	22,92	13,25	16,07	12,14	7,29	21,69	27,68	14,29
Piano C2	3,13	1,81	2,68	0,71	1,04	1,81	0	2,14
Piano C4	11,46	6,02	4,46	6,43	16,67	10,84	7,14	17,85
Piano C6	25	28,92	25	26,43	21,88	22,89	17,86	24,29
Oboe C4	6,25	7,83	2,68	2,86	10,42	6,63	5,36	7,14
Oboe C5	16,67	12,05	14,29	7,86	15,63	17,47	11,61	26,43
Oboe C6	30,21	24,7	25,89	30	18,75	23,5	18,75	30,71
Sägezahn C2	4,17	1,81	0	1,43	1,04	0,6	1,79	0,71
Sägezahn C4	6,25	5,42	4,46	6,43	8,33	11,45	6,25	5,71
Sägezahn C6	27,08	29,52	33,93	28,57	20,83	20,48	25,89	17,85
Sinus C2	0	6,02	0	2,86	1,04	1,21	0,89	1,43
Sinus C4	17,71	9,04	8,93	10,71	8,33	6,02	7,14	7,14
Sinus C6	31,25	31,33	29,46	25,71	16,67	17,47	21,43	20,71
Trompete C4	5,21	2,41	4,46	2,86	11,46	6,02	7,14	7,86
Trompete C5	10,42	3,61	3,57	3,57	10,42	13,86	8,93	20,71
Trompete C6	18,75	23,5	31,25	22,14	22,92	30,72	29,46	32,14

	Häufigkeit in Prozent - Orange				Häufigkeit in Prozent - Rot			
Klang	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.
Cello C2	1,04	0,6	0,89	2,14	3,13	6,02	6,25	2,86
Cello C4	15,63	22,29	16,07	19,29	16,67	7,83	8,04	12,14
Cello C6	1,04	3,61	8,93	1,43	12,5	8,43	2,68	4,29
Flöte C4	9,38	12,05	8,93	7,86	15,63	12,05	16,96	10,71
Flöte C5	9,38	9,04	8,04	12,86	9,38	4,82	9,73	12,14
Flöte C6	12,5	6,02	6,25	6,43	2,08	3,61	3,57	7,14
Gitarre C3	3,13	5,42	0,89	5	5,21	10,84	10,71	5,71
Gitarre C4	7,29	10,84	9,73	17,86	4,17	5,42	9,73	9,29
Gitarre C5	4,17	8,43	12,5	12,86	6,25	4,82	7,14	3,57
Horn C2	3,13	3,01	5,36	1,43	8,33	6,02	3,57	7,14
Horn C4	4,17	10,24	9,73	11,43	11,46	9,64	13,3	17,14
Horn C5	9,38	10,24	6,25	7,86	18,75	8,43	7,14	9,29
Klarinette C3	6,25	6,02	1,79	5	3,13	7,23	6,25	18,57
Klarinette C4	12,5	12,05	6,25	5,71	11,46	8,43	10,71	5
Klarinette C5	6,25	6,02	10,71	15	3,13	6,63	5,36	2,14
Piano C2	1,04	3,61	3,57	4,29	5,21	4,82	3,57	7,14
Piano C4	8,33	15,06	17,86	13,57	7,29	11,45	9,73	6,43
Piano C6	5,21	7,23	3,57	5,71	4,17	3,61	13,39	3,57
Oboe C4	5,21	18,67	9,73	20,71	9,38	13,25	16,96	10,71
Oboe C5	9,38	15,66	10,71	10	5,21	8,43	8,93	8,57
Oboe C6	7,29	6,63	9,73	5	1,04	2,41	2,68	7,14
Sägezahn C2	3,13	1,2	0	2,14	4,17	7,23	6,25	3,57
Sägezahn C4	8,33	7,23	5,36	7,14	7,29	11,45	8,04	22,14
Sägezahn C6	10,42	5,42	6,25	6,86	3,13	10,24	3,57	10
Sinus C2	3,13	3,61	2,68	1,43	1,04	6,63	7,14	5
Sinus C4	9,38	16,27	8,93	10	6,25	7,83	3,57	5
Sinus C6	2,08	5,42	4,46	8,57	3,13	2,41	2,68	7,14
Trompete C4	10,42	10,84	10,71	13,57	12,5	11,45	16,07	20
Trompete C5	8,33	15,66	16,96	12,14	12,5	12,05	8,04	15
Trompete C6	7,29	6,63	4,46	9,29	6,25	7,83	0,89	7,86

	Häufigkeit in Prozent - Rosa				Häufigkeit in Prozent - Violett			
Klang	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.
Cello C2	5,21	0,6	1,79	0,71	1,04	4,22	1,79	4,29
Cello C4	4,17	2,41	8,04	5	3,13	6,02	5,36	5,71
Cello C6	8,33	6,02	10,71	10	5,21	1,2	0,89	2,14
Flöte C4	1,04	4,82	3,57	4,29	10,42	6,63	12,5	12,86
Flöte C5	8,33	9,04	9,82	7,86	9,38	6,02	8,93	7,86
Flöte C6	12,5	7,83	6,25	6,43	4,17	5,42	3,57	2,14
Gitarre C3	2,08	3,01	3,57	2,14	6,25	6,63	13,39	8,57
Gitarre C4	7,29	9,04	8,04	11,43	6,25	8,43	5,36	7,86
Gitarre C5	14,58	9,64	14,29	15	7,29	10,84	1,79	5
Horn C2	3,13	0	1,79	2,14	4,17	5,42	4,46	1,43
Horn C4	4,17	0,6	1,79	3,57	3,13	8,43	10,71	10,71
Horn C5	6,25	5,42	17,86	8,57	6,25	7,23	6,25	7,14
Klarinette C3	6,25	1,2	3,57	2,86	5,21	8,43	6,25	9,29
Klarinette C4	3,13	11,45	11,61	7,86	8,33	10,84	12,5	15,71
Klarinette C5	6,25	9,04	4,46	10,71	8,33	5,42	12,5	6,43
Piano C2	1,04	3,01	2,68	2,86	4,17	5,42	2,68	14,2
Piano C4	10,42	7,23	9,82	7,14	4,17	5,42	16,96	8,57
Piano C6	11,46	7,23	10,71	5,71	5,21	3,61	4,46	2,86
Oboe C4	4,17	1,2	5,36	9,29	4,17	7,83	10,71	7,86
Oboe C5	10,42	4,82	6,25	9,29	12,5	7,23	5,36	5
Oboe C6	16,67	12,05	10,71	7,86	3,13	3,01	4,46	1,43
Sägezahn C2	2,08	2,41	0,9	0	3,13	4,22	1,79	2,14
Sägezahn C4	5,21	2,41	4,46	4,29	12,5	6,02	4,46	9,29
Sägezahn C6	7,29	3,61	8,93	11,43	3,13	4,82	2,68	2,14
Sinus C2	4,17	0,6	3,57	2,14	4,17	5,42	4,46	3,57
Sinus C4	7,29	7,23	9,82	8,57	6,25	5,42	16,07	10
Sinus C6	6,25	10,84	7,14	10	8,33	4,22	6,25	2,86
Trompete C4	4,17	4,22	9,82	1,43	11,46	8,43	10,71	7,14
Trompete C5	12,5	8,43	8,93	5,71	8,33	9,04	10,71	10,71
Trompete C6	13,54	9,04	9,82	7,14	4,17	2,41	2,68	5

	Häufigkeit in Prozent - Hellblau				Häufigkeit in Prozent - Dunkelblau			
Klang	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.
Cello C2	1,04	1,2	0,89	0,71	3,13	6,02	5,36	5
Cello C4	9,38	9,64	8,93	5,71	7,29	5,42	5,36	5
Cello C6	9,38	6,63	3,57	9,29	2,08	4,82	1,79	1,43
Flöte C4	5,21	7,83	4,46	13,57	11,46	4,82	11,61	10
Flöte C5	3,13	13,86	8,93	13,57	6,25	3,61	3,57	5
Flöte C6	3,13	9,64	16,96	11,43	4,17	2,41	0,89	2,86
Gitarre C3	9,38	6,02	3,57	7,86	6,25	9,64	13,39	13,57
Gitarre C4	9,38	12,04	16,96	13,57	13,54	8,43	8,93	3,57
Gitarre C5	13,54	6,63	10,71	10,71	2,08	1,81	2,68	2,86
Horn C2	5,21	3,01	1,79	0	4,17	7,23	5,36	2,86
Horn C4	4,17	6,63	4,46	8,57	6,25	12,65	3,57	10,71
Horn C5	5,21	14,46	9,73	15	6,25	4,22	2,68	5
Klarinette C3	4,17	0	2,68	3,57	3,13	8,43	10,71	13,57
Klarinette C4	6,25	9,64	10,71	11,43	5,21	6,63	8,04	12,14
Klarinette C5	9,38	11,45	9,73	17,86	5,21	4,82	1,79	5,71
Piano C2	3,13	2,41	1,79	2,14	2,08	4,22	11,61	7,14
Piano C4	13,54	11,45	10,71	25	7,29	9,64	5,36	5
Piano C6	5,21	8,43	16,96	12,86	2,08	4,22	5,36	2,86
Oboe C4	6,25	9,04	3,57	7,14	7,29	9,04	11,61	6,43
Oboe C5	4,17	10,24	9,73	7,86	7,29	6,63	5,36	7,14
Oboe C6	7,29	8,43	12,5	5,71	2,08	1,2	2,68	1,43
Sägezahn C2	3,13	1,81	0	0,71	4,17	2,41	8,04	5
Sägezahn C4	3,13	4,22	5,36	3,57	7,29	9,64	9,73	8,57
Sägezahn C6	6,25	8,43	3,57	3,57	8,33	0,6	2,68	1,43
Sinus C2	2,08	2,41	0	2,86	5,21	5,42	4,46	9,29
Sinus C4	4,17	12,65	10,71	15	4,17	7,23	15,18	7,14
Sinus C6	13,54	7,83	11,61	10,71	2,08	3,61	1,79	2,14
Trompete C4	5,21	4,22	8,04	3,57	5,21	10,84	4,46	14,28
Trompete C5	6,25	9,04	9,73	8,57	12,5	6,63	10,71	6,43
Trompete C6	6,25	6,02	5,36	6,43	3,13	2,41	3,57	0

	Häufigkeit in Prozent - Hellgrün				Häufigkeit in Prozent - Dunkelgrün			
Klang	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.
Cello C2	0	2,41	0,89	0,71	4,17	3,01	1,79	3,57
Cello C4	6,25	7,83	10,71	13,57	3,13	7,23	8,04	7,14
Cello C6	10,42	6,02	6,25	5	1,04	1,81	1,79	0,71
Flöte C4	9,38	7,83	5,36	7,86	2,08	9,04	8,04	8,57
Flöte C5	7,29	7,83	6,25	17,14	5,21	2,41	6,25	6,43
Flöte C6	8,33	4,82	8,04	7,14	2,08	1,81	0,89	2,86
Gitarre C3	3,13	4,22	5,36	5	6,25	6,63	7,14	12,86
Gitarre C4	9,38	9,04	10,71	5,71	5,21	4,82	6,25	7,86
Gitarre C5	4,17	8,43	8,93	14,29	4,17	5,42	1,79	2,14
Horn C2	2,08	6,02	1,79	2,86	5,21	4,82	10,71	2,14
Horn C4	3,13	8,43	6,25	9,29	8,33	6,02	8,93	7,14
Horn C5	8,33	6,02	9,73	13,57	6,25	3,01	6,25	2,86
Klarinette C3	4,17	4,22	8,04	2,14	3,13	4,82	7,14	10
Klarinette C4	13,54	6,02	8,04	12,14	8,33	7,83	10,71	15
Klarinette C5	9,38	8,43	6,25	12,14	6,25	4,22	3,57	2,14
Piano C2	0	3,01	0,89	1,43	6,25	2,41	3,57	5
Piano C4	9,38	6,63	8,93	2,86	1,04	4,82	4,46	0,71
Piano C6	7,29	5,42	4,46	7,86	2,08	1,2	2,68	2,14
Oboe C4	5,21	6,02	10,71	7,86	7,29	7,83	11,61	6,43
Oboe C5	9,38	2,41	15,18	13,57	2,08	4,22	5,36	2,14
Oboe C6	3,13	10,24	10,71	5,71	5,21	2,41	0	2,14
Sägezahn C2	2,08	2,41	2,68	0	4,17	4,82	2,68	3,57
Sägezahn C4	3,13	5,42	7,14	4,29	10,42	7,83	13,39	8,57
Sägezahn C6	4,17	6,63	1,79	5	0	4,22	2,68	2,86
Sinus C2	1,04	2,41	1,79	0	2,08	3,01	5,36	4,29
Sinus C4	5,21	8,43	4,46	10,71	5,21	7,23	4,46	8,57
Sinus C6	6,25	6,02	6,25	6,43	1,04	3,61	3,57	2,14
Trompete C4	6,25	9,04	3,57	10,71	6,25	7,23	8,04	7,14
Trompete C5	5,21	7,23	8,93	3,57	2,08	4,82	6,25	5
Trompete C6	6,25	3,01	8,93	5	4,17	2,41	1,79	2,14

	Häufigkeit in Prozent - Braun				Häufigkeit in Prozent - Schwarz			
Klang	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.	1. Kl.	2. Kl.	3. Kl.	4. Kl.
Cello C2	23,96	27,71	13,39	28,57	48,95	41,57	58,93	46,43
Cello C4	6,25	8,43	9,82	7,14	7,29	6,63	3,57	2,86
Cello C6	1,04	1,21	1,79	0	1,04	3,01	0,9	3,57
Flöte C4	14,58	15,66	12,5	8,57	6,25	4,82	7,14	4,29
Flöte C5	5,21	2,41	3,57	6,43	1,04	1,81	2,68	1,43
Flöte C6	2,08	1,21	0	2,14	1,04	2,41	2,68	1,43
Gitarre C3	35,42	21,69	18,75	17,85	12,5	16,88	13,4	10,71
Gitarre C4	4,17	8,43	5,36	6,43	6,25	1,81	0,9	1,43
Gitarre C5	3,13	1,21	0	24,29	3,13	1,2	0,9	2,14
Horn C2	28,13	38,55	25,89	45,71	23,96	17,47	30,36	30,71
Horn C4	26,04	13,25	24,11	7,86	5,21	8,43	8,93	6,43
Horn C5	1,04	6,63	0	2,86	3,13	1,81	1,79	1,43
Klarinette C3	26,04	21,69	28,57	15,71	30,21	25,9	21,43	17,14
Klarinette C4	7,29	7,83	8,04	4,29	10,42	9,64	5,36	1,43
Klarinette C5	2,08	3,61	0,89	0,71	4,17	3,61	0	0
Piano C2	22,92	18,07	12,5	19,29	47,92	48,19	54,46	32,14
Piano C4	7,29	7,83	0,89	4,29	2,08	2,41	2,68	2,14
Piano C6	5,21	0	1,79	1,43	2,08	3,61	1,79	2,86
Oboe C4	26,04	9,04	8,04	9,29	6,25	3,01	2,68	2,14
Oboe C5	3,13	5,42	2,68	0	1,04	2,41	3,57	0
Oboe C6	1,04	1,81	0,89	0,71	3,13	0,6	0	1,43
Sägezahn C2	9,38	20,48	21,43	37,14	53,13	49,4	54,46	42,86
Sägezahn C4	7,29	19,88	13,39	6,43	14,58	6,02	16,96	13,57
Sägezahn C6	0	1,21	3,57	2,86	5,21	2,41	4,46	5
Sinus C2	13,54	19,88	16,07	17,14	60,42	40,36	53,57	49,29
Sinus C4	12,5	6,63	4,42	4,29	10,42	6,02	6,25	2,14
Sinus C6	4,17	3,01	1,79	0,71	5,21	2,41	2,68	2,14
Trompete C4	10,42	20,48	16,96	6,43	8,33	4,82	0	5
Trompete C5	8,33	2,41	5,36	3,57	3,13	4,22	1,79	3,57
Trompete C6	2,08	1,81	1,79	0,71	4,17	2,41	0	1,43

Signifikante Korrelationen in Bezug auf Farbuordnungen und Klangquellen

Legende: H Farbton
 S Sättigung
 V Helligkeit
 R Rotanteil
 G Grünanteil
 B Blauanteil
 Klasse = Schulstufe
 m männlich
 w weiblich

akustisch vs. elektronisch über alle Register	t	p
S_klasse4_m	2,782	0,01
S_klasse1_m	2,727	0,011
S_m	2,722	0,011
S_klasse1	2,57	0,016
S_gesamt	2,456	0,021
S_klasse4	2,428	0,022
H_klasse2_m	2,247	0,033
H_klasse4_m	2,128	0,042
S_klasse2	2,075	0,047

akustisch vs. elektronisch im tiefen Register	t	p
S_klasse4_m	2,735	0,026
S_klasse1	2,567	0,033
S_klasse2_m	2,555	0,034
S_klasse1_w	2,521	0,036
R_klasse1_w	2,375	0,045
G_klasse1_w	2,354	0,046
S_m	2,323	0,049
S_klasse4	2,32	0,049

akustisch vs. elektronisch im Mittelregister	t	p
V_klasse1_m	2,774	0,024
R_klasse3	2,755	0,025
R_klasse3_m	2,492	0,037
R_klasse3_w	2,391	0,044
R_klasse1_m	2,39	0,044

akustisch vs. elektronisch im hohen Register	t	p
S_m	2,915	0,019

Blas- vs. Saiteninstrumente über alle Register	t	p
S_klasse4_w	2,775	0,011
S_w	2,755	0,012
S_klasse2_w	2,595	0,017

Blas- vs. Saiteninstrumente im tiefen Register	t	p
S_klasse2_w	4,126	0,006
S_klasse4	3,32	0,016
S_w	3,164	0,019
S_klasse1_m	2,997	0,024
S_klasse4_w	2,987	0,024
S_klasse3_w	2,976	0,025
B_klasse1_w	2,89	0,028
R_klasse1_m	2,872	0,028
S_gesamt	2,84	0,03
S_klasse2	2,761	0,033
R_klasse3_w	2,756	0,033
R_klasse2_w	2,668	0,037
G_klasse3_m	2,652	0,038
S_klasse3	2,647	0,038
G_klasse2_m	2,617	0,04
V_klasse2_w	2,59	0,041
R_w	2,54	0,044
B_klasse2_m	2,517	0,045
G_klasse3	2,504	0,046
G_klasse1_w	2,49	0,047
V_klasse1_m	2,458	0,049

Blas- vs. Saiteninstrumente im Mittelregister	t	p
Keine signifikanten Unterschiede		

Blas- vs. Saiteninstrumente im hohen Register	t	p
S_klasse4_w	2,729	0,034
Blasinstrumente vs. synthetisch über alle Register	t	p
S_w	3,226	0,004
S_gesamt	3,208	0,005
H_klasse2_m	3,136	0,005
S_klasse1_m	3,126	0,006
S_klasse4	3,118	0,006
S_m	3,031	0,007
S_klasse3_m	3,029	0,007
S_klasse1	2,963	0,008
S_klasse2_w	2,923	0,009
S_klasse3	2,912	0,009
S_klasse2	2,666	0,015
S_klasse4_w	2,504	0,022
H_m	2,347	0,03
S_klasse3_w	2,346	0,03
H_klasse4_m	2,281	0,034
H_klasse2	2,28	0,034
S_klasse1_w	2,246	0,037

Blasinstrumente vs. synthetisch im tiefen Register	t	p
S_klasse4_m	7,206	< 0,001
S_m	6,123	0,002
S_klasse2_w	5,987	0,002
S_gesamt	5,936	0,002
S_klasse2	5,571	0,003
S_w	5,232	0,003
G_klasse3_w	5,137	0,004
S_klasse1_m	4,868	0,005
S_klasse1	4,771	0,005
S_klasse4	4,747	0,005
S_klasse3	4,33	0,008
G_klasse1_w	4,254	0,008
S_klasse3_w	4,245	0,008
S_klasse2_m	4,138	0,009
G_klasse3	4,046	0,01
R_klasse1	3,949	0,011
S_klasse3_m	3,686	0,014
R_klasse1_m	3,642	0,015
R_klasse1_w	3,563	0,016
V_klasse1	3,498	0,017
V_klasse1_m	3,398	0,019
V_klasse3_w	3,364	0,02
R_klasse3_w	3,317	0,021
R_m	3,298	0,022
V_klasse1_w	3,282	0,022
R_gesamt	3,248	0,023
V_klasse2_m	3,205	0,024
V_gesamt	3,191	0,024
R_w	3,172	0,025
G_klasse2_m	3,158	0,025
R_klasse2_m	3,145	0,026
G_klasse3_m	3,142	0,026
V_w	3,129	0,026
B_klasse1_w	3,03	0,029
S_klasse1_w	3,027	0,029
H_klasse3_w	3,009	0,03
H_klasse3	2,996	0,03
B_klasse3_w	2,989	0,03
R_klasse3	2,961	0,031
B_klasse3	2,956	0,032
R_klasse4	2,943	0,032
G_m	2,875	0,035
V_klasse2	2,867	0,035
R_klasse4_m	2,86	0,035
H_klasse2	2,855	0,036
G_gesamt	2,845	0,036
R_klasse4_w	2,839	0,036

V_klasse4_m	2,832	0,037
R_klasse2	2,829	0,037
H_klasse3_m	2,81	0,038
B_klasse1	2,8	0,038
V_klasse4	2,787	0,039
G_w	2,77	0,039
V_klasse4_w	2,734	0,041
G_klasse2	2,708	0,042
V_klasse3_m	2,698	0,043
B_klasse2_m	2,697	0,043
V_klasse2_w	2,685	0,044
H_klasse2_m	2,596	0,048
B_klasse2	2,595	0,049
H_m	2,592	0,049

Blasinstrumente vs. synthetisch im mittleren Register	t	p
Keine signifikanten Unterschiede		

Blasinstrumente vs. synthetisch im hohen Register	t	p
H_klasse2_m	4,442	0,007
H_klasse3_w	3,044	0,029

Saiteninstrumente vs. synthetisch über alle Register	t	p
Keine signifikanten Unterschiede		

Saiteninstrumente vs. synthetisch im tiefen Register	t	p
Keine signifikanten Unterschiede		

Saiteninstrumente vs. synthetisch im mittleren Register	t	p
R_klasse3	4,886	0,016
R_klasse2_m	4,465	0,021
S_klasse3	3,873	0,03
R_klasse4_w	3,845	0,031
V_klasse4_w	3,818	0,032
R_klasse3_w	3,667	0,035
R_w	3,463	0,041
V_klasse1	3,389	0,043
G_klasse1_m	3,312	0,045
R_gesamt	3,198	0,049

Saiteninstrumente vs. synthetisch im hohen Register	t	p
S_klasse4_m	7,652	0,005
S_m	4,45	0,021
B_klasse4_w	3,436	0,041

Übersicht über die, für die Datenauswertung herangezogenen Audiomerkmale aller Klänge auf C4 in aufsteigender Reihenfolge:

Klangquelle	Spectral Complexity	
Sinuston	0,98863637	
Klavier	2,94318175	
Gitarre	2,965909	
Klarinette	4,715909	
Flöte	7,7045455	
Horn	8,79545498	
Oboe	11,465909	
Trompete	12,272727	
Cello	14,681818	
Sägezahn	18,636364	
Klangquelle	Spectral Decrease	Klangquelle
Sinus	-1,42E-08	Spectral Energy
Sägezahn	-1,19E-08	Gitarre
Horn	-1,11E-08	0,008118499
Klarinette	-1,11E-08	Klavier
Oboe	-1,08E-08	0,010320858
Flöte	-9,49E-09	Cello
Trompete	-9,22E-09	0,031190306
Cello	-7,65E-09	Flöte
Klavier	-2,61E-09	0,038490698
Gitarre	-2,05E-09	Trompete
		0,039440304
		Klarinette
		0,043412652
		Horn
		0,044272345
		Oboe
		0,045220796
		Sägezahn
		0,048617307
		Sinus
		0,054997917
Klangquelle	Spectral Centroid	Klangquelle
Sinus	-1,42E-08	Spectral Centroid
Sägezahn	-1,19E-08	(percussiv)
Horn	-1,11E-08	Gitarre
Klarinette	-1,11E-08	0,008118499
Oboe	-1,08E-08	Klavier
Flöte	-9,49E-09	0,010320858
Trompete	-9,22E-09	Cello
Cello	-7,65E-09	0,031190306
Klavier	-2,61E-09	Flöte
Gitarre	-2,05E-09	0,038490698
		Trompete
		0,039440304
		Klarinette
		0,043412652
		Horn
		0,044272345
		Oboe
		0,045220796
		Sägezahn
		0,048617307
		Sinus
		0,054997917
Klangquelle	Timbral_Warmth	Klangquelle
Trompete	36,9036295	Dissonance
Sägezahn	39,6135596	Sinuston
Cello	41,0668395	0,03727482
Oboe	42,7924086	Gitarre
Gitarre	45,9564356	0,17911027
Horn	48,0610205	Klavier
Flöte	48,9146323	0,23868962
Klavier	49,6471377	Klarinette
Trompete	0,39943773	0,29686806
Sägezahn	0,40498713	Horn
		0,30392143
		Flöte
		0,33228227
		Oboe
		0,37613076
		Cello
		0,38903579
		Trompete
		0,39943773
		Sägezahn
		0,40498713

Klangquelle	Roughness (Zwicker)	Klangquelle	Roughness (Vassilakis)
Sinuston	0,00343633	Gitarre	0
Klavier	0,04734444	Sinuston	0,11129511
Klarinette	0,05132079	Cello	0,165047405
Gitarre	0,05765005	Flöte	0,299191541
Flöte	0,08893353	Oboe	0,3424676
Cello	0,1027787	Horn	0,65652726
Oboe	0,18381081	Trompete	0,755396086
Trompete	0,27466012	Klarinette	1,126928564
Horn	0,30600407	Klavier	2,228364594
Sägezahn	0,44543654	Sägezahn	17,53783108
Klangquelle	Spectral Flux (< 100 Hz)	Klangquelle	Hardness
Klarinette	0,11793459	Gitarre	0,39650678
Oboe	0,171122886	Klarinette	0,46559338
Flöte	0,190353247	Klavier	0,91758203
Horn	0,205133801	Oboe	0,96790832
Sinuston	0,265052027	Sinuston	1,26167081
Cello	0,453628918	Flöte	1,66158373
Trompete	0,693036788	Trompete	1,67506757
Sägezahn	1,07927655	Horn	1,82302927
Gitarre	2,384942004	Cello	1,85777823
Klavier	3,390576664	Sägezahn	2,28612562
Klangquelle	Major Thirds strength	Klangquelle	Minor Thirds Strength
Trompete	0,19668552	Trompete	0,50302846
Oboe	0,21860374	Oboe	0,58754037
Flöte	0,24634793	Flöte	0,62054392
Klarinette	0,27928982	Cello	0,65017838
Cello	0,28078073	Sägezahn	0,68515981
Sägezahn	0,29072024	Horn	0,72519212
Horn	0,30272268	Klarinette	0,7430028
Gitarre	0,38787023	Gitarre	0,83465559
Klavier	0,40106597	Klavier	0,8421332
Sinuston	0,44205987	Sinus	0,9088168
Klangquelle	Envelope Flatness	Klangquelle	Envelope Kurtosis
Gitarre	0,62938052	Flöte	1,77226149
Klavier	0,6330375	Trompete	1,78026982
Flöte	0,83378887	Sinuston	1,80272264
Klarinette	0,84303915	Sägezahn	1,80281687
Cello	0,90661428	Oboe	1,8426994
Horn	0,93588028	Horn	1,84463905
Oboe	0,94028361	Cello	1,85085971
Trompete	0,95814931	Klarinette	1,85378725
Sägezahn	0,99162211	Klavier	3,62602451
Sinuston	0,99162504	Gitarre	3,91590985

Klangquelle	Unpleasantness	Klangquelle	Partial 1 (relative strength)
Sinuston	-2,16448744	Cello	0,1385415
Klarinette	-0,99711738	Trompete	0,14369131
Klavier	-0,63069248	Oboe	0,14736194
Horn	-0,23118768	Flöte	0,40663549
Gitarre	-0,21501072	Horn	0,41810345
Sägezahn	0,10513496	Sägezahn	0,64990429
Flöte	0,15170484	Klarinette	0,68540823
Oboe	0,32768992	Klavier	0,7628261
Cello	0,55328779	Gitarre	0,77509139
Trompete	0,64487193	Sinuston	0,83228906
Klangquelle	Pitch Salience	Klangquelle	Tonal Energy
Sinuston	0,0216675	Sägezahn	0,69671209
Gitarre	0,3356671	Gitarre	0,82929626
Klarinette	0,40520361	Klavier	0,84804206
Klavier	0,49393359	Flöte	0,87372222
Cello	0,51658422	Cello	0,89455708
Sägezahn	0,60799479	Horn	0,89714596
Flöte	0,67468727	Trompete	0,90387627
Horn	0,75057369	Sinuston	0,91254087
Oboe	0,75439304	Klarinette	0,9218126
Trompete	0,91165161	Oboe	0,92871351

Auflistung aller Korrelationskoeffizienten zwischen Farbe und Klangquelle mit einem Signifikanzniveau $p < 0,05$ aller Versuchspersonen, sowie nach Geschlecht (m/w) und Schulstufen (1–4).

- Timbre

Spectral Complexity

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt			-0,734		0,741	-0,825			0,683			
G m						-0,767						
G w			-0,788		0,831	-0,809						
1 m												
1 w	-0,725			0,686				-0,712				
2 m					0,661						0,765	
2 w			-0,705			-0,654						
3 m												
3 w				-0,686	0,903	-0,664						
4 m						-0,696						0,824
4 w						-0,731						

Spectral Decrease

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt		0,866							-0,679			-0,648
G m		0,778										
G w		0,913				0,665			-0,636			-0,693
1 m		0,795				0,88						
1 w						0,69						-0,649
2 m												
2 w	-0,66	0,718										
3 m												
3 w		0,702										-0,641
4 m		0,695										
4 w								-0,73				

Spectral Energy

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt		-0,87				-0,682			0,69			0,646
G m		-0,79										
G w		-0,913				-0,714			0,638			0,687
1 m		-0,78				-0,866						
1 w						-0,72						
2 m												
2 w		-0,69										
3 m												
3 w		-0,72							0,644			
4 m		-0,72										
4 w						-0,649		0,715				

Spectral Centroid

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt												0,747
G m									0,658			0,816
G w								-0,654				0,633
1 m												0,769
1 w				0,779								
2 m											0,772	
2 w												
3 m									0,782			0,727
3 w				-0,65								
4 m												0,906
4 w					0,777							0,713

Spectral Centroid (percussiv)

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt												
G m				-0,96					0,964			
G w												
1 m												0,951
1 w												
2 m												
2 w												
3 m					-1							
3 w										-0,957		
4 m												
4 w												

Timbral Warmth

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt				0,657								
G m				0,645								
G w					-0,702							
1 m												
1 w								0,657				
2 m												
2 w												
3 m		-0,68										
3 w												
4 m						0,779						-0,635
4 w				0,764	-0,788							

- Noise

Dissonance

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt	-0,867		-0,665		0,854	-0,705						
G m	-0,746				0,711	-0,676						
G w	-0,865		-0,73		0,873	-0,681						
1 m												
1 w	-0,949				0,744							
2 m					0,733						0,694	
2 w						-0,651						
3 m							-0,756					
3 w					0,663							
4 m	-0,64											
4 w					0,747							

Roughness (nach Zwicker)

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt			-0,721		0,725	-0,822					0,765	0,681
G m						-0,706					0,733	0,72
G w			-0,813		0,828	-0,836					0,767	
1 m									0,66			
1 w				0,642		-0,725		-0,693				
2 m					0,724						0,79	
2 w			-0,75		-0,767						0,717	
3 m											0,645	
3 w				0,675	0,922	-0,646					0,717	0,641
4 m												0,974
4 w						-0,674						

Roughness (nach Vassilakis)

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt								-0,67				0,797
G m												0,88
G w								-0,75				0,664
1 m												0,791
1 w				0,785								
2 m											0,687	
2 w												
3 m									0,715			0,823
3 w												
4 m												0,865
4 w					0,636							0,776

Spectral Flux (<100 Hz)

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt		0,926					0,671		-0,714			
G m		0,884										
G w		0,912				0,668						
1 m		0,739				0,732						
1 w		0,71	0,835			0,655						
2 m												
2 w		0,714		-0,65								
3 m												
3 w									-0,716			
4 m		0,854	0,65						-0,643		-0,7	
4 w						0,731		-0,863				

Hardness

Schulstufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hellblau	Dunkelblau	Hellgrün	Dunkelgrün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt			-0,837		0,638	-0,708					0,645	0,654
G m			-0,802			-0,678					0,65	
G w			-0,801			-0,683						0,661
1 m							-0,748					
1 w								-0,808				
2 m			-0,778	-0,674					0,694		0,78	
2 w						-0,675						
3 m							-0,703					
3 w			-0,693								0,677	
4 m			-0,811									0,714
4 w			-0,643		0,747							0,691

- Harmonic Features

Major Thirds strength

Schul-stufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hell-blau	Dunkel-blau	Hell-grün	Dunkel-grün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt	0,883				-0,862	0,765					-0,671	
G m	0,809				-0,796	0,768					-0,636	
G w			0,699		-0,817	0,72					-0,676	
1 m												
1 w	0,931				-0,875							
2 m					-0,765							
2 w												
3 m												
3 w	0,687				-0,828							
4 m	0,759	0,689										
4 w												

Minor Thirds strength

Schul-stufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hell-blau	Dunkel-blau	Hell-grün	Dunkel-grün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt	0,819		0,676		-0,9	0,76					-0,679	
G m	0,708				-0,822	0,79					-0,661	
G w			0,734		-0,861	0,701					-0,675	
1 m												
1 w	0,892				-0,885							
2 m					-0,768							
2 w						0,688						
3 m												
3 w	0,639				-0,784							
4 m	0,649		0,672			0,682						
4 w					-0,65							

- Temporal Features

Envelope Flatness

Schul-stufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hell-blau	Dunkel-blau	Hell-grün	Dunkel-grün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt		-0,75				-0,805						
G m		-0,67				-0,673					0,65	
G w		-0,79				-0,829						0,664
1 m						-0,781						
1 w						-0,701		-0,801				
2 m			-0,64									
2 w												
3 m												
3 w						-0,643						
4 m		-0,74	-0,68									
4 w						-0,788		0,661				

Envelope Kurtosis

Schul-stufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hell-blau	Dunkel-blau	Hell-grün	Dunkel-grün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt		0,852				0,781			-0,67			
G m		0,833				0,695						
G w		0,815				0,782						-0,671
1 m		0,708				0,695						
1 w		0,677	0,731			0,698						
2 m	0,676											
2 w									-0,667			
3 m						0,641						
3 w		0,66										
4 m		0,799	0,769									
4 w						0,73		-0,737				

- Pitch Salience

Unpleasantness

Schul-stufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hell-blau	Dunkel-blau	Hell-grün	Dunkel-grün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt	-0,752				0,796							
G m												
G w	-0,79		-0,692		0,841							
1 m	-											
1 w	-0,79				0,659							
2 m												-0,715
2 w			-0,691									
3 m												
3 w												
4 m							-0,803					
4 w					0,692						0,832	

Partial 1 (relative strength)

Schul-stufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hell-blau	Dunkel-blau	Hell-grün	Dunkel-grün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt	0,638		0,678		-0,754							
G m			0,655								-0,633	
G w	0,767		0,646		-0,77							
1 m												
1 w	0,715				-0,874							
2 m												
2 w												
3 m												
3 w	0,703											
4 m			0,671									
4 w												

Pitch Salience

Schul-stufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hell-blau	Dunkel-blau	Hell-grün	Dunkel-grün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt	-0,818		-0,73		0,95	-0,651					0,784	
G m	-0,687				0,838						0,739	
G w	-0,833		-0,783		0,933	-0,636					0,794	
1 m												
1 w	-0,884				0,718							
2 m					0,773						0,635	
2 w			-0,674			-0,734					0,661	
3 m							0,761					
3 w					0,861						0,698	
4 m	-0,704											
4 w					0,693							

Tonal Energy

Schul-stufen	Weiß	Gelb	Rosa	Violett	Rot	Hell-blau	Dunkel-blau	Hell-grün	Dunkel-grün	Orange	Braun	Schwarz
Gesamt								0,66				
G m												-0,687
G w												
1 m												
1 w												
2 m		-0,73										
2 w		-0,72										
3 m									-0,762			-0,796
3 w												
4 m												-0,635
4 w								0,694				-0,785

Abstract

Seit vielen Jahrhunderten interessieren sich die Menschen für Farbe-Ton-Zuordnungen, die nicht nur im Zusammenhang mit Farbe-Klang-Synästhesien, sondern auch im Zusammenhang mit audiovisuellen crossmodalen Korrespondenzen gesehen werden können. Zahlreiche Studien wurden bereits in diesem Zusammenhang mit erwachsenen Proband:innen als auch mit Kindern durchgeführt, wobei sich die häufigsten Korrespondenzen zwischen hell und hoch sowie tief und dunkel zeigten (Simpson et al. 1956; Adeli et al. 2014, S. 6–8; Nava et al. 2016; Anikin & Johansson 2019, S. 776; Ambros et al. 2021, S. 1076–1079; Ambros et al. 2022, S. 994–996).

Im Rahmen einer Studie mit 276 Kindern im Alter von sechs bis zehn Jahren an einer Wiener Privatschule wurden Farbe-Klang-Zuordnungen in Abhängigkeit von Schulstufe und Geschlecht sowie hinsichtlich ihrer Stabilität (Reproduzierbarkeit) bei erneuter Präsentation der Klänge untersucht, unter anderem auch mögliche Rückschlüsse auf das Zeitfenster der Offenohrigkeit ziehen zu können. In randomisierter Reihenfolge und einmaliger Wiederholung wurden den Kindern 30 verschiedene lauthheitsangeglichene Klänge vorgespielt (Flöte, Oboe, Klarinette, Horn, Trompete, Cello, Gitarre, Klavier sowie die synthetischen Wellenformen Sägezahn und Sinus auf je drei Oktavlagen von C). Die Aufgabe der Kinder war es diese Klänge einer von zwölf vorgegebenen Farben zuzuordnen. Die Klänge wurden mithilfe von PADMEA (Czedik-Eysenberg 2022) auf mehr als 130 Klangmerkmale signalanalysiert, sodass via Korrelationsanalyse mögliche Zusammenhänge zwischen Farbauswahl und Audiomerkmale untersucht werden konnten.

Es zeigte sich zum einen alters- und geschlechtsunabhängig die schon in vorangegangenen Studien beobachtete Verknüpfung von Tonhöhe und Farbhelligkeit in hoher Stabilität, das heißt auch bei neuerlicher Präsentation der Klänge (je höher die Tonhöhe, desto heller die gewählte Farbe), wobei diese Stabilität auch in Abhängigkeit zur Klangquelle stand. Zum anderen ergab eine gesonderte Auswertung der Audiomerkmale von Klängen aus dem Mittelregister (C4, 261 Hz) bezogen auf die ihnen zugeordneten Farben sowohl starke Zusammenhänge als auch geschlechts- und schulstufenspezifische Unterschiede: Unabhängig von Schulstufe und Geschlecht wurde mit zunehmender Dissonanz (Dissonance), spektraler Komplexität (Spectral Complexity), klanglicher Härte (Hardness) und klanglicher Ungefälligkeit (Unpleasantness) signifikant häufiger die Farbe Rot gewählt und mit ansteigender Rauigkeit (Roughness Zwicker) und klanglicher Härte (Hardness) die Farben Rot, Braun und Schwarz, während die

Farbauswahl von Rosa, Hellblau und Weiß bei diesen Audiomeerkmalen immer geringer wurde. Letztere wurden hingegen mit zunehmender Grundtönigkeit (Partial 1 (relative strength)) und Ausgeprägtheit von Terzen im Spektrum signifikant häufiger gewählt. Über alle Klassen hinweg zeigten sich geschlechtsspezifische Unterschiede, wie zum Beispiel bei ansteigender klanglicher Wärme (Timbral Warmth) Buben signifikant häufiger die Farbe Violett auswählten und Mädchen signifikant immer weniger die Farbe Rot. Bemerkenswert sind Änderungen in der audiomeerkmalbezogenen Farbauswahl bei Buben und Mädchen in den zweiten und dritten Klassen, die vielleicht auf das Phänomen der Offenohrigkeit (Hargreaves 1982) zurückgeführt werden können: So stellt sich zum Beispiel ab der dritten (Mädchen) beziehungsweise vierten Schulstufe (Buben) der Effekt ein, dass mit zunehmender musikalischer Härte die Farbe Rosa signifikant immer weniger gewählt wurde. Bemerkenswert ist vor diesem Hintergrund auch, dass der von Feller & Reuter 2023, bei Sinus- und Sägezahnklängen gefundene Zusammenhang zwischen Teiltonreichtum und Farbauswahl ebenfalls in den Antworten der Schulkinder gefunden werden konnte (je teiltonreicher, desto stärker der Rotanteil, je teiltonärmer desto stärker der Blauanteil der gewählten Farben).