

Die Beziehung basaler und komplexer musikalischer Fähigkeiten:

Zeitlich-rhythmische Fähigkeiten und

Tonvorstellungsfähigkeiten im Kindesalter

Johanna Karoline Will

Dezember 2024

Inauguraldissertation zur Erlangung des Doktorgrades

der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

des Fachbereichs Psychologie und Sportwissenschaft

der Justus-Liebig-Universität Gießen

Erstgutachterin

Prof. Dr. Gudrun Schwarzer

Abteilung für Entwicklungspsychologie

Justus-Liebig-Universität Gießen

Zweitgutachterin

PD Dr. Daniela Sammler

Forschungsgruppe Neurokognition und Sprache

Max-Planck-Institut für Empirische Ästhetik Frankfurt am Main

Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Gießen, den 17.12.2024

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich von Herzen bei allen bedanken, die mich auf dem Promotionsweg begleitet haben. Durch den Austausch mit euch, konnte ich wachsen und immer wieder neue Ideen finden. Ohne euch wäre diese Arbeit so nicht möglich gewesen.

Zuerst möchte ich Prof. Dr. Gudrun Schwarzer danken, die meine Promotion an zwei Institutionen von Anfang an unterstützte und sowohl die Betreuung als auch ein Gutachten für diese Arbeit übernahm. Danke, dass ich in der Abteilung für Entwicklungspsychologie so willkommen war und für den konstruktiven und zielführenden Austausch während des Schreibprozesses.

PD Dr. Daniela Sammler möchte ich für ihre Bereitschaft danken, meine Dissertation zu begutachten. Mein Dank gilt auch Prof. Dr. Jutta Billino und Prof. Dr. Daniel Müllensiefen für ihre Zusage, in der Prüfungskommission mitzuwirken.

Ganz besonders möchte ich Dr. Franziska Degé danken, die meine Promotion als Erstbetreuerin am Max-Planck-Institut für empirische Ästhetik unterstützte. Bereits als Kind konnte ich im Rahmen von ihrer Dissertation musikpsychologische Forschungsprozesse kennenlernen. Danke, dass du mich seit dem Bachelor wissenschaftlich begleitest. Auch möchte ich dir dafür danken, dass du mich in all den Jahre an deiner Faszination für die musikalische Entwicklung hast teilhaben lassen.

Weiter gilt mein Dank Dr. Ulrike Frischen, bei der ich als Hiwi erste Erfahrung in der Koordination großer Studien sammeln durfte. Danke, dass du auch im Anschluss an deine Promotion immer ein offenes Ohr hattest und für die wertvollen Gespräche.

Meiner Kollegin Verena Buren möchte ich für den kontinuierlichen Austausch in den letzten Jahren und die gemeinsame Promotionsphase danken. Obwohl unsere Promotionsprojekte so unterschiedlich waren, konnten wir uns gegenseitig unterstützen und gemeinsam auf Konferenzen sowie Vortragsreisen neue Ideen und bleibende Erinnerungen sammeln.

Mein Dank gilt auch dem DORA-Team, welches sich für die Erforschung der Entwicklung rhythmischer Fähigkeiten zusammengefunden hat. Dr. Rainer Polak, der mich als Zweitbetreuer am Max-Planck-Institut für empirische Ästhetik unterstützte und dies auch nach seinem Wechsel mit

Begeisterung fortsetzte. Danke, dass ich während unserer Gespräche so viel über die Rhythmustermi-
nologie und die kulturelle Relevanz der Rhythmusforschung von dir lernen durfte. Dr. Klaus Frieler
möchte ich für seine unglaubliche Geduld und Faszination für Statistik danken, die mich angesteckt
hat und dank derer ich oft stundenlang die Ergebnisse erkundete.

Prof. Dr. Melanie Wald-Fuhrmann danke ich, dass sie meine Promotion am Max-Planck-Insti-
tut für empirische Ästhetik unterstützte und mir viele Möglichkeiten eröffnete. Danke, dass ich an
ihrem reichen musikwissenschaftlichen Erfahrungsschatz teilhaben durfte.

Allen Eltern und Kindern sowie den Erwachsenen, die an den Studien teilgenommen haben,
möchte ich für ihre Begeisterung und Unterstützung danken. Den Leitungen und Trägern der Kinder-
tageseinrichtungen und Grundschulen danke ich für ihr Vertrauen, das die Datenerhebungen erst
möglich gemacht hat. Darüber hinaus bedanke ich mich bei Selin Icoez, die mich als Hiwi in der Vor-
bereitung und Durchführung der Datenerhebung unterstützte.

Zuletzt möchte ich mich von tiefstem Herzen bei meiner Familie und meinen Freunden bedan-
ken. Ihr habt mich unermüdlich unterstützt und seid für mich da gewesen. Dank euch habe ich immer
wieder neue Energie gefunden, um meine Promotion zu bewältigen und diese Arbeit zu schreiben.

Zusammenfassung

Die Entwicklung musikalischer Fähigkeiten beginnt in der frühen Kindheit mit der Wahrnehmung von Musik und den ersten rudimentären Bewegungen zur Musik. Diese grundlegenden musikalischen Fähigkeiten werden durch frühe Enkulturationsprozesse auf die umgebende Musikkultur spezialisiert und verfeinert. Die Spezialisierung auf die umgebende Musikkultur ermöglicht Kindern mehr soziale Teilhabe. Mit zunehmender sozialer Teilhabe können Kinder besser mit ihrer musikalischen Umwelt interagieren. Um besser mit ihrer Umwelt interagieren zu können, entwickeln Kinder neben frühen basalen musikalischen Fähigkeiten in der späteren Kindheit komplexe musikalische Fähigkeiten.

Es scheint daher unverzichtbar, das theoretische Wissen über die späte Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten zu vertiefen, um daraus gezielte Ansätze zur Förderung der sozialen Teilhabe abzuleiten. Zur Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten fehlt es bislang an Studien, in denen die Weiterentwicklungen der frühen basalen musikalischen Fähigkeiten berücksichtigt und deren Beitrag zur Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten analysiert wird. Da bisherige Studien sowohl für zeitlich-rhythmische Fähigkeiten als auch für Tonvorstellungsfähigkeiten auf die Entwicklung früher basaler und später komplexer musikalischer Fähigkeiten hinweisen, werden in die vorliegende Arbeit beide Entwicklungsprozesse aufgenommen.

Das Ziel für die Untersuchung der komplexen zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten ist es, ein tieferes Verständnis für die Frage zu erlangen, wie sich die Reproduktion (Studie 1) und Synchronisation (Studie 2) entwickeln. Das Ziel für komplexe Tonvorstellungsfähigkeiten besteht darin herauszufinden, wie sich die Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz entwickeln (Studie 3). Die Studienergebnisse für die Entwicklung komplexer zeitlich-rhythmische Fähigkeiten verweisen darauf, dass 5- bis 8-jährige Kinder und Erwachsene bei einer multisensorischen Vorgabe (auditiv und visuell) durch die Versuchsleitung Rhythmen am genauesten reproduzieren. Dieser Kontexteffekt besteht in der Synchronisation nur bei Kindern. Erwachsene synchronisieren Trommelbewegungen genauer zu einer monosensorischen (auditiven) Darbietung. Die Ergebnisse der Studie zur Entwicklung von komplexen Tonvorstellungs-

fähigkeiten deuten darauf hin, dass sich die Tonalitätspräferenz (ab 6 Jahren) später entwickelt als die Konsonanzpräferenz (ab 4 Jahren).

Insgesamt zeigen sowohl die Ergebnisse für zeitlich-rhythmische Fähigkeiten als auch für Tonverstellungsfähigkeiten, dass frühe basale musikalische Wahrnehmungsfähigkeiten die Grundlage für die spätere Entwicklung komplexerer musikalischer Fähigkeiten bilden. Die vorliegende Arbeit vertieft somit wesentlich das theoretische Wissen über die Entwicklung musikalischer Fähigkeiten, welche in einem stufenartigen Entwicklungsprozess zu verlaufen scheint. Für diesen langfristige Entwicklungsprozess bilden basale Wahrnehmungsfähigkeiten einen vielversprechenden Ansatz zur Förderung der musikalischen Entwicklung.

Abstract

The development of musical skills begins in early childhood with the perception of music and the first rudimentary movements to music. These basic musical skills are specialized and refined through early enculturation processes to the surrounding musical culture. Specialization in the surrounding musical culture enhances the children's ability to participate more actively in society. With increasing social participation, children can interact better with their musical environment. To enhance their interaction with their environment, children develop complex musical skills in later childhood, in addition to early basic musical skills.

Therefore, it is essential to deepen theoretical knowledge about the late development of complex musical skills in order to derive targeted approaches to promote social participation. Until now, there has been a gap of studies on the development of complex musical skills that take into account the further development of early basal musical skills. Further, previous research has failed to analyze the role of basic skills in the development of complex musical skills. Since earlier studies have nevertheless provided evidence for the development of early basic and later complex musical skills for timing and pitch, both developmental processes will be included in the dissertation.

The aim of the study of complex timing skills is to gain a deeper understanding of how reproduction (Study 1) and synchronization (Study 2) develop. For complex pitch skills, the aim was to investigate how tonality and consonance preference develop (Study 3). The results of the study on the development of complex timing skills suggest that 5- to 8-year-old children and adults reproduce rhythms most accurately when presented with multisensory (auditory and visual) cues by the experimenter. This context effect only occurs with synchronization in children. Adults synchronize their drum movements more accurately to a monosensory (auditory) presentation. The results of the study on the development of complex pitch skills indicate that the tonality preference (from 6 years of age) develops later than the consonance preference (from 4 years of age).

Overall, the results for both timing and pitch skills show that early basic musical perceptual abilities form the basis for the later development of more complex musical skills. The present study

thus significantly deepens the theoretical knowledge about the development of musical skills, which appears to take place in a stepwise developmental process. In this long-term development process, basic perceptual skills are a promising approach to supporting musical development.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Sequentielle Entwicklung musikalischer Fähigkeiten.....	2
1.1.1	Entwicklungsphasen des Spiralmodells	3
1.1.2	Annahmen des Spiralmodells	8
1.2	Entwicklung von zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten	11
1.2.1	Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit.....	11
1.2.2	Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit.....	19
1.3	Entwicklung von Tonvorstellungsfähigkeiten	28
1.3.1	Entwicklung der Tonalitätspräferenz.....	30
1.3.2	Entwicklung der Konsonanzpräferenz	34
1.4	Ziele.....	40
2	Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit (Studie 1)	44
2.1	Hintergrund.....	44
2.2	Ziele.....	45
2.3	Methode	46
2.4	Ergebnisse	60
2.5	Diskussion	72

3	Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit (Studie 2)	81
3.1	Hintergrund.....	81
3.2	Ziele.....	83
3.3	Methode	84
3.4	Ergebnisse	93
3.5	Diskussion	103
4	Entwicklung der Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz (Studie 3)	114
4.1	Hintergrund.....	114
4.2	Ziele.....	116
4.3	Experiment 1: Erprobung der Messmethode.....	117
4.3.1	Methode	117
4.3.2	Ergebnisse.....	122
4.3.3	Diskussion	125
4.4	Experiment 2: Tonalitätspräferenz	126
4.4.1	Methode	126
4.4.2	Ergebnisse.....	128
4.4.3	Diskussion	132
4.5	Experiment 3: Konsonanzpräferenz.....	132
4.5.1	Methode	132
4.5.2	Ergebnisse.....	135
4.5.3	Diskussion	140
4.6	Diskussion der Gesamtstudie.....	141

5	Gesamtdiskussion	148
5.1	Zusammenfassung der Studienergebnisse	148
5.2	Beziehung basaler und komplexer Fähigkeiten	151
5.3	Intersensorische Erleichterung in der Entwicklung komplexer Fähigkeiten	156
5.4	Exposition in der Entwicklung komplexer Fähigkeiten	159
5.5	Vergleich der Entwicklung komplexer Fähigkeiten	163
5.6	Praktische Implikationen.....	167
5.7	Stärken und Grenzen der Arbeit	170
5.8	Verbleibende Fragen.....	173
5.9	Schlussfolgerungen	175
6	Literaturverzeichnis.....	180
	Anhang	201
	Publikationsliste	214

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Spiralmodell nach Swanwick und Tillmann (1986).....	4
Abbildung 2 Zuordnung der Entwicklungsphasen musikalischer Fähigkeiten.....	10
Abbildung 3 Pfade zur methodischen Annäherung an die Ziele der Dissertation.....	42
Abbildung 4 Erstellung der neuen rhythmischen Versionen.....	49
Abbildung 5 Versuchsaufbau zur Messung der Reproduktionsfähigkeit.....	52
Abbildung 6 Verteilung der Teilnehmenden im Verlauf der Studie 1	56
Abbildung 7 Veränderung der Rhythmuswahrnehmung mit zunehmendem Alter.....	61
Abbildung 8 Post-hoc Vergleiche der mittleren Standardwerte zur Messung der Motorik.....	62
Abbildung 9 Vergleich der Antwortformen	64
Abbildung 10 Veränderung der Gesamtproduktionsgenauigkeit	66
Abbildung 11 Vorhersage des Alters aus Rhythmuswahrnehmung, Gesamtproduktionsfähigkeit und Motorik	67
Abbildung 12 Korrelation der Gesamtproduktionsgenauigkeit und der Rhythmuswahrnehmung nach Alter	69
Abbildung 13 Versuchsaufbau zur Messung der Synchronisationsfähigkeit.....	88
Abbildung 14 Post-hoc Vergleiche der mittleren Tempowahrnehmung.....	94
Abbildung 15 Post-hoc Vergleiche der mittleren Beat-Produktion.....	95
Abbildung 16 Mediane IOI zur Messung der Genauigkeit anhand der Tempoabweichung.....	96
Abbildung 17 Absolute Tempoabweichung zur Messung der Genauigkeit.....	98
Abbildung 18 Zirkuläres Histogramm und mittlere Vektoren R als Phasenmaß für alle Geschwindigkeiten und Bedingungen.....	101
Abbildung 19 Durchführung der Messung von Präferenzen (A) und Kategorisierung (B).....	121

Abbildung 20 Mittlere Präferenzwerte und Standardabweichungen für alle Stimuli	122
Abbildung 21 Genauigkeit der Kategorisierung bei 4- bis 6-jährigen Kindern	124
Abbildung 22 Präferenzdifferenzwerte und 95% Konfidenzintervalle für tonale und atonale Melodien	131
Abbildung 23 Gesamtmittelwerte für das Ausmaß an Konsonanz und Standardabweichungen.....	134
Abbildung 24 Präferenzdifferenzwerte und 95% Konfidenzintervall für die Bedingungen 1 und 2...137	
Abbildung 25 Rhythmen aus dem Musik-Screening-Verfahren von Jungbluth und Hafen (2005).....	203
Abbildung 26 Voranalyse der Antwortformen anhand der normalisierten Distanz.....	204
Abbildung 27 Vergleich der mittleren logarithmierten normalisierten Distanz pro Rhythmusversion.....	206
Abbildung 28 Verlauf des mittleren Ausmaßes an Konsonanz über die in Experiment 3 präsentierten Klavierstücke	212
Abbildung 29 Graphische Zusammenfassung der Hauptergebnisse des dritten Experiments.....	213

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Charakteristika der Stichprobe Studie 1	47
Tabelle 2 Lineares gemischtes Modell für Reproduktionsfähigkeit (logarithmierte normalisierte Distanz)	63
Tabelle 3 Post-hoc Vergleiche der Reproduktionsgenauigkeit zwischen den Altersgruppen	65
Tabelle 4 Konfusionsmatrix Altersgruppenzuordnung nach Gesamtproduktion, Rhythmuswahrnehmung und Motorik	68
Tabelle 5 Korrelation der motorischen Fähigkeiten und Gesamtproduktionsgenauigkeit	70
Tabelle 6 Charakteristika der Stichprobe Studie 2	84
Tabelle 7 Lineares gemischtes Modell für die Synchronisationsgenauigkeit (logarithmierte absolute Tempoabweichung)	99
Tabelle 8 Post-hoc Vergleiche für die Synchronisationsgenauigkeit in verschiedenen Altersgruppen	100
Tabelle 9 Linear gemischtes Modell für die Synchronisationspräzision (logarithmierte SD_{IOI})	102
Tabelle 10 Post-hoc Vergleiche für die Präzision zwischen Altersgruppen	103
Tabelle 11 Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für Lebensmittelpräferenzen in verschiedenen Altersgruppen	123
Tabelle 12 Antworthäufigkeiten im Zuordnungsparadigma für. Bedingung 1 und Bedingung 2	138
Tabelle 13 Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test der Konsonanzpräferenz in allen Altersgruppen	139
Tabelle 14 Entwicklung motorischer Fähigkeiten	201
Tabelle 15 Modellierungsschritte zur Vorhersage der Reproduktionsfähigkeit (Studie 1)	205
Tabelle 16 Mittelwerte (M) und Standardfehler (SE) der geschätzten Reproduktionsgenauigkeit je Antwortform	206

Tabelle 17 Zuordnung der Codes aus Abbildung 27 zu den entsprechenden Rhythmusversionen.....	207
Tabelle 18 Finale lineare Modelle zur Vorhersage der Synchronisationsfähigkeit (Studie 2)	208
Tabelle 19 Lineares gemischtes Modell für die Synchronisationsgenauigkeit (logarithmierte Tempoabweichung)	209
Tabelle 20 Zusammenfassung der Altersgruppenvergleiche bezüglich der Phase.....	210
Tabelle 21 Zusammenfassung der Bedingungsvergleiche bezüglich der Phase	211
Tabelle 22 Zusammenfassung der Geschwindigkeitsvergleiche bezüglich der Phase.....	211

1 Einleitung

Musik ist omnipräsent und begleitet Menschen über die gesamte Lebensspanne. Bereits im Mutterleib nehmen Säuglinge sowohl rhythmische Informationen wie den Herzschlag der Mutter als auch melodische Informationen wie die Stimme und die Sprachmelodie der Mutter wahr (Mehler et al., 1978; Ullal-Gupta et al., 2013). Nach der Geburt besitzen Säuglinge basale musikalische Fähigkeiten. Diese können noch als kulturübergreifend und universell bezeichnet werden (Lynch & Eilers, 1992; Schwarzer, 2011a; Trainor & Hannon, 2013). So erkennen Säuglinge im ersten Lebensjahr sowohl rhythmische als auch melodische Veränderungen in verschiedenen Musikkulturen, nicht nur in der eigenen (Hannon & Johnson, 2005), und bewegen sich rudimentär zu Musik (Fujii et al., 2014).

Durch den Prozess der musikalischen Enkulturation spezialisieren sich diese früh auftretenden basalen Fähigkeiten zunehmend auf die Musikkultur, die Kinder während ihrer Entwicklung umgibt (Rice, 2001). Im Verlauf dieses Entwicklungsprozesses bilden die früher entwickelten basalen Wahrnehmungsfähigkeiten (sowohl rhythmische als auch melodische) die Grundlage für die Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten (Frischen et al., 2022; Snyder et al., 2024; Trainor & Hannon, 2013). Der Erwerb komplexer zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten sowie komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten ermöglicht Kindern eine uneingeschränkte soziale Teilhabe an der sie umgebenden Musikkultur (Swanwick & Tillman, 1986).

Wie dieser Erwerb genau abläuft und welche Rolle basale Fähigkeiten beim Erwerb komplexer Fähigkeiten spielen, ist noch unklar. Sowohl für die Entwicklung der zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten als auch für die Entwicklung der Tonvorstellungsfähigkeiten wäre es von großer Bedeutung zu untersuchen, ob ein weiterer Fähigkeitszuwachs in basalen Fähigkeiten stattfindet. Ebenso ist es wichtig herauszufinden, in welcher Beziehung basale und komplexe Fähigkeiten zueinander stehen und inwiefern basale Fähigkeiten die Entwicklung komplexer Fähigkeiten unterstützen. Dieses Wissen würde ein detaillierteres theoretisches Verständnis der musikalischen Entwicklung und damit einhergehend eine gezieltere Förderung der musikalischen Entwicklung ermöglichen. Daher wird in der vorliegenden

Arbeit untersucht, wie sich komplexe musikalische Fähigkeiten entwickeln, verändern und in welcher Beziehung sie zu basalen Fähigkeiten stehen.

Diese wichtige Forschungsfrage wird sowohl für zeitlich-rhythmische Fähigkeiten als auch für Tonvorstellungsfähigkeiten im Kindesalter untersucht. In zwei Studien zu komplexen zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten wird die Entwicklung der Reproduktion und der Synchronisation untersucht, wobei als basale Fähigkeiten die Rhythmus- und Tempowahrnehmung einbezogen werden. Hierzu werden Veränderungen in die Rhythmus- und Tempowahrnehmung und deren Auswirkung auf die Entwicklung der Reproduktion und der Synchronisation überprüft. In einer dritten Studie wird die Entwicklung komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten anhand der Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz untersucht und darin die Rolle der basalen Fähigkeit zur Wahrnehmung von Unterschieden (tonal oder atonal, konsonant oder dissonant) analysiert. Folglich liegt der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit sowohl auf der Entwicklung basaler als auch komplexer musikalischer Fähigkeiten, um durch deren Beziehung ein tieferes Verständnis für die Entwicklungsphasen musikalischer Fähigkeiten zu erlangen.

1.1 Sequentielle Entwicklung musikalischer Fähigkeiten

Die Entwicklung musikalischer Fähigkeiten ist ein lebenslanger Prozess (Gembris, 2006). Dieser Prozess gliedert sich in verschiedene Phasen, wobei die Einteilung je nach Entwicklungsmodell unterschiedlich ausfallen kann. Swanwick und Tillmann (1986) entwarfen das Spiralmodell, in dem sie davon ausgehen, dass sich musikalische Fähigkeiten universell und sequentiell in vier Phasen entwickeln. Konkret bedeutet dies, dass für die Entwicklung verschiedener musikalischer Fähigkeiten zeitlich gleiche Phasen angenommen werden. Aufgrund seiner entwicklungstheoretischen Kohärenz bietet das Spiralmodell (Swanwick & Tillman, 1986) für die vorliegende Arbeit die Möglichkeit, die Entwicklung mehrerer komplexer musikalischer Fähigkeiten vergleichend zu untersuchen (Gembris, 2009). Darüber hinaus ermöglicht das Spiralmodell die Analyse der sequentiellen Entwicklung von basalen zu komplexen musikalischen Fähigkeiten und deren aufeinander aufbauende Beziehung.

Swanwick und Tillman (1986) orientierten sich an Jean Piagets Entwicklungstheorie (Piaget, 1975), indem sie vier Entwicklungsphasen annahmen. Piaget ging davon aus, dass die Phasen seiner kognitiven Entwicklungstheorie für alle Menschen weltweit zutreffen (Miller, 2016a). Kern der Entwicklungstheorie ist die Verarbeitung von Informationen aus der Umwelt, welche Piaget als domänenübergreifenden Entwicklungsmechanismus annahm (Miller, 2016a). Piaget sah Kinder als Wissenschaftler an, die ihr Wissen durch eine aktive Auseinandersetzung mit ihrer Umwelt erlernen (Schwarzer, 2011b). Diese Auseinandersetzung endet innerhalb jeder Entwicklungsphase im Äquilibrium, wobei die einzelnen Phasen aufeinander aufbauen und keine übersprungen werden kann (Miller, 2016a). Das Äquilibrium bezeichnete Piaget als einen Prozess, in dem Kinder ihre bestehenden Erfahrungen in Form von Denkschemata anpassen (Miller, 2016a). Die Anpassung kann über Assimilation oder Akkomodation erfolgen (Piaget, 1975). Im Rahmen der Assimilation werden neue Erfahrungen in bereits bestehende Denkschemata integriert, während bei der Akkomodation bereits bestehende Denkschemata an neue Erfahrungen angeglichen werden (Schwarzer, 2011b).

Beide Prozesse drücken das Bedürfnis der Kinder aus, mit ihrer Umwelt in Einklang zu stehen. Gleichzeitig bieten sie die Möglichkeit zu untersuchen, inwieweit Kinder komplexe musikalische Fähigkeiten aus basalen musikalischen Fähigkeiten durch die Interaktion mit ihrer musikalischen Umwelt erwerben. Daher übertrugen Swanwick und Tillman (1986) die Hypothese einer sich sequentiell entwickelnden Informationsverarbeitungsfähigkeit aus der Entwicklungstheorie Piagets (1975) auf vier Entwicklungsphasen für musikalische Fähigkeiten.

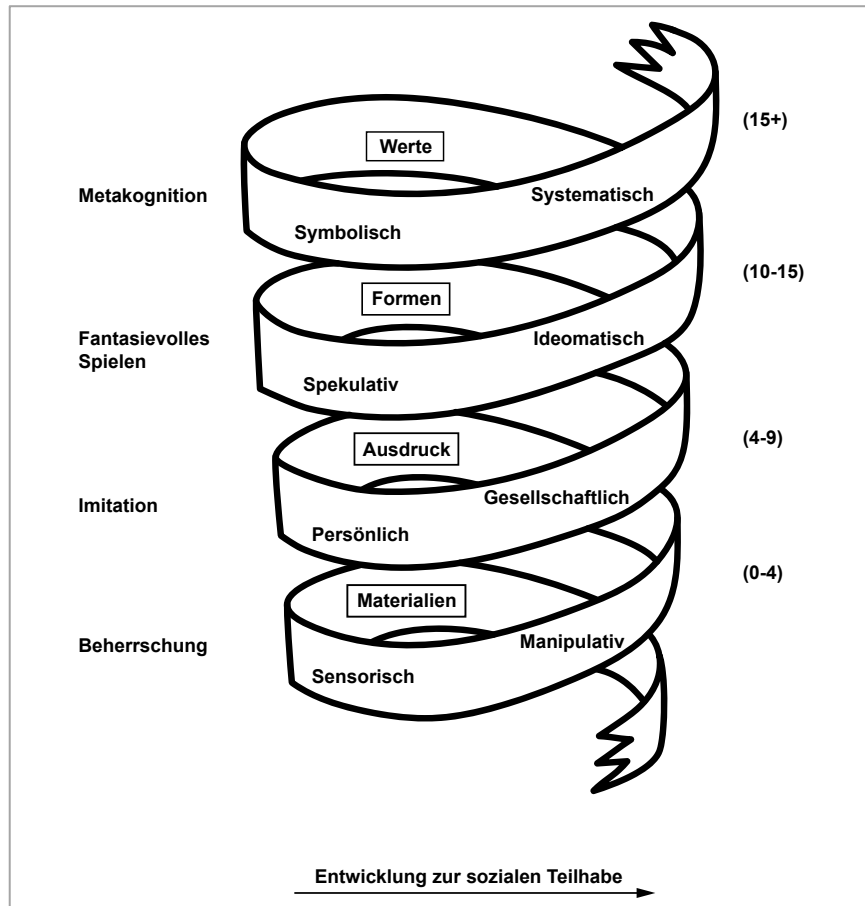
1.1.1 Entwicklungsphasen des Spiralmodells

Das Spiralmodell (Swanwick & Tillman, 1986) ist in drei Ebenen strukturiert. Die erste Strukturebene umfasst die vier aufeinander aufbauenden Phasen der Beherrschung (0 bis 4 Jahre), der Imitation (4 bis 9 Jahre), des fantasievollen Spiels (10 bis 15 Jahre) und der Metakognition (ab 15 Jahren). Diese sind in Abbildung 1 (Seite 4) als aufsteigende Schleifen dargestellt und links neben der Schleife

gekennzeichnet. Die Schleifen charakterisieren, wie sich Kinder mit Musik auseinandersetzen (Hargreaves & Lamont, 2017).

Abbildung 1

Spiralmodell nach Swanwick und Tillmann (1986)



Anmerkung. Die Abbildung des Spiralmodells zur Entwicklung musikalischer Fähigkeiten wurde in Anlehnung an die englische Version Swanwick und Tillman (1986), Seite 331, überarbeitet und ins Deutsche übersetzt. Links von der Spirale befindet sich die erste Strukturebene (sequentielle Entwicklungsphasen). Die zweite Strukturebene, visualisiert als Kästchen innerhalb der Spirale, enthält die musikalischen Schwerpunkte. In der dritten Strukturebene zeigt ein Pfeil die Richtung der Entwicklung zur sozialen Teilhabe, die an der Außenseite der Schleife sichtbar sind. Rechts neben dem Modell sind die Altersangaben der einzelnen Phasen in Jahren aufgeführt.

In der zweiten Strukturebene liegt der Schwerpunkt auf den musikalischen Inhalten (Materialien, Ausdruck, Formen und Werte), mit denen sich Kinder während ihrer musikalischen Entwicklung innerhalb der Entwicklungsphasen befassen. Diese musikalischen Inhalte sind in Kästen innerhalb der

Spirale Abbildung 1 dargestellt. Die dritte Strukturebene des Spiralmodells (Swanwick & Tillman, 1986) beschreibt, wie sich der Fokus bei der Auseinandersetzung mit den musikalischen Inhalten innerhalb jeder Phase verändert. Ausgehend von einem personenzentrierten Fokus findet in allen vier Phasen eine Entwicklung hin zur sozialen Teilhabe statt. Die Richtung dieser Veränderung ist in Abbildung 1 (Seite 4) unter der Spirale durch einen Pfeil gekennzeichnet.

Beherrschungsphase. Innerhalb der ersten Phase des Spiralmodells lässt sich die Entwicklung zur sozialen Teilhabe an musikalischen Prozessen wie folgt zusammenfassen: Kinder im Alter von 0 bis 4 Jahren erkunden in der Phase der Beherrschung zunächst rudimentär musikalisches Material (z.B. Klänge). Die sensorische Klangerkundung wird im Laufe der ersten Phase zunehmend kontrollierter, wodurch Klänge gezielter (manipulativ) produziert werden. Die Veränderung des Fokus (z.B. von der sensorischen zur manipulativen Erkundung) ermöglicht es den Kindern, Teil der sie umgebenden Musikkultur zu werden, mit ihr zu interagieren und sie aktiv mitzugestalten. Die erste Phase ist in Abbildung 1 (Seite 4) unten am Anfang der Schleife dargestellt.

Besonders hervorzuheben sind in Beherrschungsphase die Wahrnehmungsfähigkeiten von Säuglingen und Kleinkindern, die eine Reaktion auf musikalische Klänge ermöglichen. Beispielsweise wird bereits zu Beginn der Beherrschungsphase der Puls in rhythmischen Tonfolgen erkannt (Winkler et al., 2009). Darüber hinaus werden bereits Tonhöhen sowie Konsonanz und Dissonanz wahrgenommen (Trehub, 2003). Die zunehmende Kontrolle über das klangliche Material lässt sich daran erkennen, dass Kinder bspw. gegen Ende der ersten Phase ihr Trommeln mit steigender Regelmäßigkeit koordinieren (Rocha et al., 2021). Bei 4-jährigen Kindern deutet die Wahl von Akkordfolgen, die harmonisch zu einem Musikstück passen, darauf hin, dass Kinder nicht nur mehr Kontrolle über ihre musikalische Hörumgebung erlangen, sondern diese auch zunehmend aktiv mitgestalten (Corrigall & Trainor, 2010).

Imitationsphase. Die Imitationsphase ist als zweite Phase des Spiralmodells (Swanwick & Tillman, 1986) für die vorliegende Arbeit besonders relevant, da Kinder im Alter von 4 bis 9 Jahren ihre musikalischen Fähigkeiten zunehmend durch Nachahmung erwerben (Hargreaves & Lamont, 2017). Darüber hinaus finden während der Imitationsphase starke Veränderungen in komplexen musikalischen Fähigkeiten statt, die im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit stehen. Innerhalb der Imitationsphase findet im musikalischen Ausdruck durch Nachahmung (rhythmisch und melodisch) ein Wechsel von der persönlichen Zentrierung zu einer gesellschaftlichen Zentrierung statt. So werden zunehmend musikalische Konventionen und Regeln der umgebenden Musikkultur anstelle der eigenen zum Ausdruck gebracht (Hargreaves & Lamont, 2017). Dies ermöglicht es den Kindern, in ihre Musikkultur eingebunden zu werden, mit ihr zu interagieren und sie aktiv mitzugestalten.

Bisherige Untersuchungen während der Imitationsphase zeigen für zeitlich-rhythmische Fähigkeiten, dass Kinder mit zunehmendem Alter rhythmische Informationen (z.B. Geschwindigkeit und Zusammensetzung rhythmischer Figuren) genauer wahrnehmen (McAuley et al., 2006; Nave-Blodgett et al., 2021). Zudem können ältere Kinder Rhythmen präziser imitieren als jüngere (Kirschner & Tomasello, 2009; 2010). Bisherige Untersuchungen zur Entwicklung von Tonvorstellungsfähigkeiten verweisen darauf, dass Kinder in der Imitationsphase sowohl Tonalität (Maier-Karius & Schwarzer, 2011; Trehub et al., 1986) als auch Konsonanz (Valentine, 1962; Weiss et al., 2020) aus ihrer musikalischen Umwelt internalisieren und Präferenzen ausdrücken.

Phase des fantasievollen Spiels. In der dritten Phase wird die Musik von Kindern im Alter von 10 bis 15 Jahren kreativ gestaltet (Hargreaves & Lamont, 2017). Dieses kreative Gestalten kann sich bspw. in Kompositionen darin äußern, dass Kinder einzelne musikalische Phrasen und somit die musikalische Form eines Stückes verändern. Diese Veränderung führt, durch den Prozess der Assimilation zu einer Integration des neuen musikalischen Wissens in bereits vorhandene musikalische Erfahrungen (Swanwick & Tillman, 1986). In der Phase des fantasievollen Spiels findet die Entwicklung vom spekulativen zum idiomatischen Umgang mit musikalischen Formen statt (Swanwick & Tillman, 1986).

Konkret bedeutet dies, dass die musikalische Produktion zuerst spekulativ erfolgt, d.h. Kinder und Jugendliche suchen nach strukturell passenden Klängen und experimentieren mit verschiedenen Varianten (Swanwick & Tillman, 1986). Die Auswahl der passenden Klänge wird zunehmend durch bereits in der Hörumwelt bestehende musikalische Stile geprägt und damit idiomatisch (Swanwick & Tillman, 1986).

Diese beschriebene Veränderung innerhalb der Phase des fantasievollen Spiels hat einen engen kompositorischen Bezug, weshalb die Übertragbarkeit auf andere musikalische Fähigkeiten eingeschränkt sein könnte. Es ist jedoch denkbar, dass die Festlegung auf dieses späte Alter der methodischen Komplexität des Komponierens geschuldet ist. Bei Aufgaben, in denen Kinder Musik nicht neu erfinden, sondern z. B. nachspielen sollen, könnte die beschriebene Entwicklung früher einsetzen. Bereits bestehende Untersuchungen mit Kindern in diesem Zeitfenster verweisen darauf, dass die musikalische Entwicklung ab dieser Phase langsamer verläuft und stärker an musikalisches Training in Form von Instrumentalunterricht gebunden ist (Corrigall & Trainor, 2009, 2010; Halpern et al., 1998). Darüber hinaus tritt die Entwicklung musikalischer Fähigkeiten zunehmend in den Hintergrund, da das Finden einer musikalischen Identität an Relevanz gewinnt (Schwarzer & Degé, 2014).

Metakognitionsphase. Ab 15 Jahren postulieren Swanwick und Tillmann (1986) als Metakognitionsphase eine ergänzende letzte Phase der musikalischen Entwicklung, in der sich Jugendliche ihres eigenen musikalischen Denkens und ihrer musikalischen Erfahrungen bewusst werden (Hargreaves & Lamont, 2017). Darüber hinaus setzen sich Jugendliche zunehmend mit ihren musikalischen Erfahrungen auseinander und reflektieren diese (Gembris, 2009). Entscheidend für die letzte Phase ist laut Swanwick und Tillmann (1986), dass eine stetige und intensive Auseinandersetzung mit Musik stattfindet. Innerhalb der letzten Phase liegt der Schwerpunkt auf dem Ausdruck von musikalischen Werten (Swanwick & Tillman, 1986). Zu Beginn der Metakognitionsphase werden die eigenen musikalischen Werte und Präferenzen der Jugendlichen ausgedrückt (symbolisch). Im weiteren

Verlauf der Phase werden mit zunehmender Systematik immer mehr musikalische Stilmittel der umgebenden Musikkultur in diesen Ausdruck integriert (Hargreaves & Lamont, 2017).

Da Jugendliche das Ausmaß ihrer musikalischen Aktivität mitbestimmen können, kann dies in der Metakognitionsphase zu großen interpersonellen Unterschieden führen (Schwarzer & Degé, 2014). Aus diesem Grund ist es in der vorliegenden Arbeit nicht möglich, allgemeine musikalische Entwicklungsprozesse für die Metakognitionsphase anzunehmen und kohärent darzustellen. Die Entwicklung musikalischer Fähigkeiten scheint in der Metakognitionsphase, die auch das Erwachsenenalter umfasst, weitgehend abgeschlossen zu sein (Sloboda, 1985). In empirischen Studien zur Entwicklung musikalischer Fähigkeiten werden Erwachsene häufig als Kontrollgruppe gewählt. Auf diese Weise kann untersucht werden, wie sich musikalische Fähigkeiten durch Enkulturationsprozesse entwickeln und ab wann sie sich nicht mehr vom Niveau der Erwachsenen unterscheiden. Musikalisches Training ermöglicht auch im Erwachsenenalter die Weiterentwicklung musikalischer Fähigkeiten, die zunehmend spezialisierter und bewusster werden (Sloboda, 1985). Gleichzeitig erschweren Unterschiede im Umfang des musikalischen Trainings grundlegende Annahmen über die Entwicklung musikalischer Fähigkeiten in dieser Phase (Gembris, 2009).

1.1.2 Annahmen des Spiralmodells

Eine der Stärken des Spiralmodells (Swanwick & Tillman, 1986) besteht darin, dass es den musikalischen Entwicklungsprozess in sequentielle Phasen in Form einer Spirale darstellt. Die Spirale verdeutlicht die Annahme, dass die Phasen aufeinander aufbauen und miteinander verbunden sind. Kinder und Jugendliche erweitern in jeder Phase ihr musikalisches Wissen und ihre Fähigkeiten. Diese fügen sich ausgehend von basalen zu komplexen Fähigkeiten zusammen und ermöglichen ein wachsendes Verständnis musikalischer Zusammenhänge. Durch die Entwicklung zunehmend komplexerer musikalischer Fähigkeiten erlangen Kinder mehr soziale Teilhabe an ihrer Musikkultur. Swanwick und Tillmann (1986) gingen davon aus, dass Kinder im Alter von 7 oder 8 Jahren die musikalischen Konventionen zur sozialen Teilhabe an ihrer umgebenden Umwelt verinnerlicht haben. Im Fokus der

vorliegenden Arbeit steht daher, wie Kinder in frühen basalen musikalischen Fähigkeiten westliche musikalische Konventionen erlernen und ab wann diese sich im Ausdruck komplexer musikalischer Fähigkeiten zeigen.

Die Visualisierung der musikalischen Entwicklung in Form einer Spirale suggeriert jedoch, dass der Erwerb musikalischer Fähigkeiten einer linearen Entwicklung folgt. Demnach würden alle Jugendlichen die Metakognitionsphase erreichen. Es ist jedoch denkbar, dass nicht alle Kinder die letzte Phase erreichen. Ein möglicher Grund dafür könnte sein, dass die Auseinandersetzung mit musikalischen Werten eine sehr abstrakte und kognitiv anspruchsvolle Fähigkeit ist. Eine andere Erklärung könnte darin bestehen, dass nicht alle Jugendlichen ihre musikalischen Aktivitäten bis zur Metakognitionsphase fortsetzen (Schwarzer & Degé, 2014).

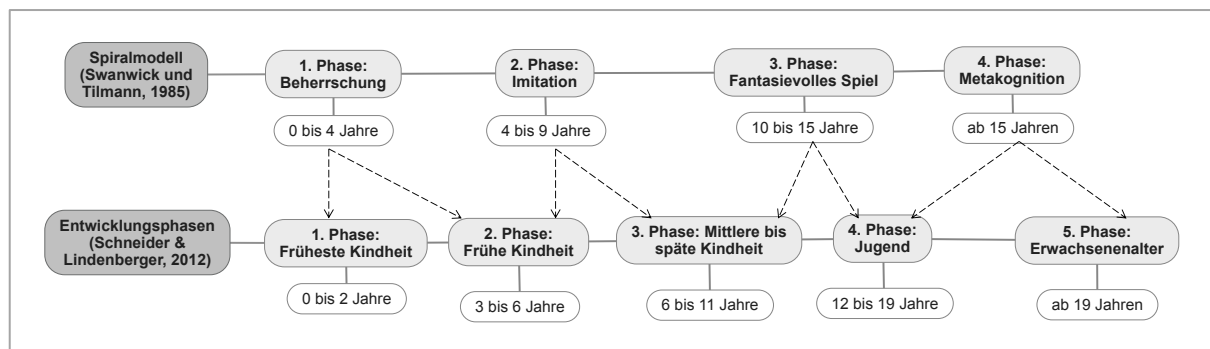
Swanwick und Tilmann (1985) sehen die kontinuierliche Fortführung als wichtige Voraussetzung für die Metakognitionsphase an. Allerdings umfasst dies nur eine kleine Gruppe von Erwachsenen, was zu einem Informationsverlust der allgemeinen Entwicklung musikalischer Fähigkeiten führen könnte. Daher wird die Metakognitionsphase in der vorliegenden Arbeit weiter gefasst, als die von Swanwick und Tilmann (1985) aufgestellten Kriterien. Bei der Darstellung des aktuellen Forschungsstandes sind für die vorliegende Arbeit sowohl Studien mit aktiv musizierenden Erwachsenen mit als auch ohne kontinuierliche musikalische Aktivitäten von Interesse.

Die Einteilung des aktuellen Forschungsstandes orientiert sich dabei an den Phasen des Spiralmodells von Swanwick und Tilmann (1985). Aus entwicklungspsychologischer Sicht wurden die Entwicklungsphasen bislang feiner unterteilt, weshalb in Abbildung 2 eine Zuordnung mittels gestrichelter Linien stattfindet. Die vier Phasen des Spiralmodells werden in Abbildung 2 (Seite 10) den fünf allgemeineren Entwicklungsphasen von Schneider und Lindenberger (2012) zugewiesen. Während Schneider und Lindenberger (2012) besonders für die ersten Phasen (früheste und frühe Kindheit) kürzere Zeitfenster annahmen, geben Swanwick und Tilmann (1985) im Spiralmodell ähnlich lange Zeitfenster für die ersten drei Phasen an. Für die Untersuchung allgemeiner Entwicklungsprozesse erscheint die kleinere Unterteilung sinnvoll, um die große Zahl feiner Veränderungen gerade in den

ersten Lebensjahren zu berücksichtigen. Das Spiralmodell orientiert sich stärker an der Entwicklungstheorie von Piaget (1975) und ist für die vorliegende Arbeit insgesamt passender auf die Entwicklung musikalischer Fähigkeiten zugeschnitten, weshalb die letzte Phase in Abbildung 2 zeitlich früher einsetzt.

Abbildung 2

Zuordnung der Entwicklungsphasen musikalischer Fähigkeiten



Anmerkung. Die Abbildung enthält von links nach rechts den Altersverlauf. Die gestrichelten Linien ordnen die Phasen des Spiralmodells den Entwicklungsphasen nach Schneider und Lindenberger (2012) zu.

Das Spiralmodell (Swanwick & Tillman, 1986) dient daher in der vorliegenden Arbeit als theoretische Grundlage, um die Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten zu untersuchen. Eine Stärke des Spiralmodells (Swanwick & Tillman, 1986) ist hierzu die Berücksichtigung des sozialen Kontextes, d.h. wie Kinder innerhalb der Phasen mehr soziale Teilhabe an ihrer musikalischen Umwelt erlangen. Denn musikalische Entwicklung findet nicht in Isolation, sondern in Interaktion mit der Umwelt statt (Kotz et al., 2018). Daher haben Swanwick und Tillmann (1986) die ursprünglichen Annahmen Piagets durch die Berücksichtigung des sozialen Kontextes um eine entscheidende Perspektive erweitert (Miller, 2016a). Durch die Annahme universeller Phasen für die Entwicklung verschiedener komplexer musikalischer Fähigkeiten bietet das Spiralmodell die Möglichkeit, sowohl den späten Erwerb komplexer zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten als auch komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten zu untersuchen.

1.2 Entwicklung von zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten

Die Entwicklung komplexer zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten wird in der vorliegenden Arbeit anhand der Fähigkeit zur Reproduktion und der Fähigkeit zur Synchronisation gemessen. Um vorgegebene Rhythmen korrekt wiedergeben zu können, ist es notwendig, die eigenen Bewegungen zur Wiedergabe von Rhythmen an die zuvor präsentierten Rhythmen anzupassen. Dabei unterscheiden sich die Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeit in ihren Anforderungen. Während der Reproduktion ist der vorgegebene Rhythmus nicht mehr hörbar und die Ausführung der eigenen, an den vorgegebenen Rhythmus angepassten Bewegungen erfolgt zeitversetzt. Im Gegensatz dazu erfordert die Synchronisation die Anpassung der eigenen Bewegungen (z.B. Trommeln) während der Darbietung der vorgegebenen Sequenz.

1.2.1 Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit

Definition der Reproduktionsfähigkeit. Die Fähigkeit zur Reproduktion bezieht sich in der vorliegenden Arbeit auf die Fähigkeit, vorgegebene Rhythmen nachzuahmen. Ein Rhythmus besteht aus einzelnen zeitlichen Ereignissen, die unterschiedlich lang sein können. Mehrere zeitliche Ereignisse hintereinander formen eine rhythmische Sequenz. Die Definition der Reproduktionsfähigkeit ist in vorliegende Arbeit an eine bestehende Definition von Cameron und Kolleg:innen (2015) angelehnt: Die Reproduktion stellt die genaue Imitation einer vorgegebenen rhythmischen Sequenz dar, nachdem diese nicht mehr hörbar ist. Daher beginnt die Reproduktion erst, wenn die Darbietung der vorgegebenen rhythmischen Sequenz beendet ist und es bestehen keine zeitlichen Überschneidungen.

Rhythmen werden nach der Darbietung intern repräsentiert und kognitiv aufrechterhalten, bevor diese zur Reproduktion abgerufen werden. In diesem Zusammenhang ist die Rolle der Rhythmuswahrnehmung als basale musikalische Fähigkeit bei der Entwicklung der komplexen Fähigkeit zur Reproduktion von Rhythmen von besonderem Interesse. Die Rhythmuswahrnehmung könnte bei Kindern mit noch nicht vollständig entwickelten rhythmischen Fähigkeiten Aufschluss darüber geben,

inwiefern Schwierigkeiten in der Rhythmusreproduktion auf basale Wahrnehmungsprozesse oder motorische Prozesse zurückzuführen sind (Snyder et al., 2024).

Neben der Rhythmuswahrnehmung sollte in zukünftigen Studien auch die Rolle der motorischen Fähigkeiten für den Erwerb der Reproduktionsfähigkeit als Kontrollvariable analysiert werden. In früheren Studien wurde wiederholt darauf hingewiesen, dass Ungenauigkeiten bei der Reproduktion von Rhythmen mit der motorischen Entwicklung zusammenhängen könnten (Miyamoto, 2007). Einerseits ist davon auszugehen, dass sich die Verbindungen zwischen auditiven und motorischen Arealen im Gehirn während der Entwicklung rhythmischer Fähigkeiten zunehmend verfestigen und präziser werden (Snyder et al., 2024). Andererseits verändern sich neben der Entwicklung auf neuronaler Ebene auch die Körpergröße und damit verbunden körperliche Proportionen. Dies könnte sich wiederum darauf auswirken, wie Kinder rhythmische Bewegungen ausführen. Erste Studien verweisen bereits auf Zusammenhänge zwischen der Körpergröße, Wahrnehmung von rhythmischen Strukturen (Phillips-Silver & Trainor, 2005) und der Genauigkeit von rhythmischen Bewegungen (Drake, Riess Jones, et al., 2000; Rocha et al., 2021). Dennoch fehlt es an empirischen Untersuchungen, in denen motorische Fähigkeiten für die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit systematisch berücksichtigt werden.

Reproduktionsfähigkeit in der Metakognitionsphase. Die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit ist bei Erwachsenen in der Metakognitionsphase am weitesten fortgeschritten und dient daher als Orientierung für den Entwicklungsverlauf. Erwachsenen gelingt es Rhythmen genauer zu reproduzieren als 5-jährigen Kindern (Drake, 1993a, 1993b). Die Reproduktionsfähigkeit entwickelt sich jedoch auch im Erwachsenenalter weiter, sofern Erwachsene musikalisches Training erhalten. In bisherigen Studien übertrifft die Reproduktionsfähigkeit von erwachsenen Musiker:innen die von nicht musikalisch ausgebildeten Erwachsenen (Drake, 1993a, 1993b, 1998; Drake et al., 1991). Keine Unterschiede bestehen hingegen in der Genauigkeit der Reproduktion zwischen nicht musikalisch ausgebildeten Erwachsenen und 7-jährigen Kindern (Drake, 1993b). Dies könnte darauf hindeuten, dass die

Entwicklung der rhythmischen Reproduktionsfähigkeit durch Enkulturation bereits mit 7 Jahren bereits abgeschlossen sein könnte, was mit Rhythmen in unterschiedlichen Schwierigkeiten weiter untersucht werden sollte.

Neben dem musikalischen Training begünstigen in der Metakognitionsphase musikalische Erfahrungen die Reproduktionsfähigkeit, welche im Rahmen der Enkulturation erworben wurden. In einer kulturvergleichenden Studie mit ostafrikanischen und nordamerikanischen Teilnehmenden sollten Rhythmen reproduziert werden, die auf afrikanischer oder westlicher Musik basieren (Cameron et al., 2015). Für beide Gruppen wird deutlich, dass die kulturelle Vertrautheit mit den Rhythmen einer Musikkultur die Reproduktionsgenauigkeit im Erwachsenenalter positiv begünstigt (Cameron et al., 2015). Allerdings sollte die Schwierigkeit der zu reproduzierenden Rhythmen zwischen den Musikkulturen verglichen berücksichtigt werden. So könnte die genauere Reproduktion ostafrikanischen Rhythmen beider Gruppen auch auf eine geringere Schwierigkeit im Vergleich zu westlichen Rhythmen hinweisen.

Neben der Schwierigkeit der Rhythmen kann auch die gewählte Antwortform der Reproduktion deren Genauigkeit beeinflussen. Die Antwortform des Sprechens hat im Vergleich zu perkussiven Antwortformen (z.B. Trommeln, Tippen, Klatschen) weniger präzise Ereignisanfänge (Marcus, 1981; Morton et al., 1976). Studien im Erwachsenenalter verweisen darauf, dass der Beginn einzelner Ereignisse innerhalb eines Rhythmus beim Sprechen weniger genau wahrgenommen wird (Danielsen et al., 2019). So nehmen Erwachsene in Sprache weniger rhythmische Regelmäßigkeit wahr (Yu et al., 2023). Dies zeigt sich auch bei der Reproduktion von Rhythmen, was von Erwachsenen durch Klatschen und Tippen als leichter empfunden wurde als durch Sprechen (Yu et al., 2023).

Erwachsene haben eine kulturspezifische Wahrnehmung von rhythmischen Veränderungen (Hannon & Trehub, 2005). Demnach nehmen sie rhythmische Veränderungen innerhalb ihrer umgebenden Musikkultur genauer wahr als in ihnen unbekanntem Musikkulturen. Bisherige Untersuchungen im Erwachsenenalter verwiesen auf Familiaritätseffekte in der rhythmischen Wahrnehmung

(Hannon et al., 2011; Trehub & Hannon, 2009). Bekanntere Rhythmen werden von Erwachsenen folglich schneller wahrgenommen und verarbeitet.

Neben der basalen Wahrnehmung von Rhythmen steht für die Entwicklung der Reproduktion als komplexe musikalische Fähigkeit auch die Entwicklung der motorischen Fähigkeiten im Fokus der vorliegenden Arbeit. Dazu sind im Anhang A (Seite 201) die Meilensteine der motorischen Entwicklung tabellarisch zusammengefasst. Erwachsene können komplexe motorische Bewegungsabläufe automatisiert ausführen (Geraedts, 2020). Die Koordinationsfähigkeit einzelner Bewegungen verbessert sich hierzu bis zum Alter von 35 Jahren (Geraedts, 2020).

Zusammenfassend ist für den Zielzustand der Reproduktionsfähigkeit festzuhalten, dass Erwachsene Rhythmen genauer reproduzieren als jüngere Kinder. Es bestehen erste empirische Hinweise darauf, dass sich diese entwicklungsbasierten Unterschiede der Reproduktionsfähigkeit spät in der Kindheit reduzieren und dem Niveau von Erwachsenen angleichen. Sowohl die komplexe Reproduktionsfähigkeit als auch die basale Rhythmuswahrnehmung werden im Erwachsenenalter von kulturspezifischen musikalischen Erfahrungen geprägt. Ebenfalls verfügen Erwachsene über umfangreiche motorische Erfahrungen, weshalb sie zu Beginn des Erwachsenenalters selbst komplexe motorische Bewegungen routiniert ausführen können. In den folgenden Abschnitten wird beschrieben, wie sich Kinder in ihrer Reproduktionsfähigkeit auf den geschilderten Zielzustand hin entwickeln.

Reproduktionsfähigkeit in der Beherrschungsphase. Die Anfänge der Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit sind bereits bei Säuglingen zu beobachten, die schon im ersten Lebensjahr eigene Rhythmen produzieren (Provasi et al., 2014). Allerdings handelt es sich hierbei um basale Fähigkeiten, da Säuglinge motorisch rudimentär auf die sie umgebende Musik reagieren und nicht mit gezielten motorischen Bewegungen (Fujii et al., 2014; Ilari, 2015; Zentner & Eerola, 2010). Es dauert noch einige Jahre über die Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) hinaus, bis Rhythmen auch nach äußeren Vorgaben reproduziert werden können (Snyder et al., 2024). Ein möglicher Grund könnte hierfür sein, dass Säuglinge und Kleinkinder noch nicht ausreichende feinmotorische Fähigkeiten erlernt haben. Denn in der

Beherrschungsphase erlernen Kinder zunächst Kontrolle über ihre eigene Körperhaltung, das Sitzen, Stehen und Gehen (Bukato & Deahler, 2012). Bei der motorischen Entwicklung, wie auch bei anderen Entwicklungsprozessen, treten interindividuelle Unterschiede auf. Die im Anhang A (Seite 201) tabellarisch aufgeführten Entwicklungsschritte sind daher als Meilensteine der motorischen Entwicklung zu verstehen, deren Zeitpunkt individuell unterschiedlich sein kann.

In der Beherrschungsphase konzentrieren sich bisherige empirische Untersuchungen zur Reproduktionsfähigkeit auf die Entwicklung der Rhythmuswahrnehmung als basale musikalische Fähigkeit. Säuglinge erkennen bereits ab dem Alter von 2 Monaten einfache rhythmische Muster (Chang & Trehub, 1977). Dabei diskriminieren sie zwischen regelmäßigen und unregelmäßigen Rhythmen (De-many et al., 1977). Jedoch haben Säuglinge im Alter von 2 Monaten noch Schwierigkeiten, längere Reihen von Einzelereignissen in langsamen Tempi zu einem Rhythmus zusammenzufassen (Baruch & Drake, 1997). Im weiteren Verlauf der Beherrschungsphase könne Säuglinge zunehmend komplexere Rhythmen voneinander unterscheiden (Hannon et al., 2011). Dabei beginnen sie ab der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahres Rhythmen anhand von metrischen Veränderungen zu kategorisieren (Hannon & Trehub, 2005a; Trehub & Thorpe, 1989).

Ab dem Alter von 6 Monaten erkennen Säuglinge rhythmische Veränderungen in konventionellen Rhythmen, die ihrer umgebenden Musikkultur entsprechen, besser als in unbekanntem Rhythmen (Trehub & Hannon, 2009). Dennoch reagieren sie während des bereits begonnenen Enkulturationsprozesses zunächst sowohl auf strukturerhaltende als auch auf strukturverletzende rhythmische Veränderungen aus verschiedenen Musikkulturen (Hannon & Trehub, 2005a, 2005b). Ab dem Alter von 12 Monaten zeigen Säuglinge ebenso wie Erwachsene kulturspezifische Reaktionen auf bekannte rhythmische Muster (Hannon & Trehub, 2005). Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen besteht darin, dass die Repräsentation rhythmischer Strukturen der umgebenden Musikkultur bei 12-monatigen Säuglingen weniger robust ist als bei Erwachsenen. Nach vorheriger Exposition mit unbekanntem rhythmischen Strukturen, können Säuglinge – aber nicht Erwachsene – Unterschiede in diesen unbekanntem Rhythmen erkennen (Hannon & Trehub, 2005a).

Insgesamt verdeutlichen die bisherigen Befunde zur Entwicklung der basalen musikalischen Fähigkeit der Rhythmuswahrnehmung, dass ein sehr großer Teil dieser Entwicklung bereits der Phase der Beherrschung stattfindet. In der basalen Rhythmuswahrnehmung beginnt eine zunehmende Spezialisierung durch frühe Enkulturationsprozesse auf die Rhythmen der umgebenden Musikkultur (Trehub & Hannon, 2009). Die bereits weit entwickelte basale Fähigkeit zur Rhythmuswahrnehmung spiegelt sich jedoch noch nicht in der Genauigkeit der Rhythmusreproduktion wider (Davidson & Colley, 1987). Es ist daher ist davon auszugehen, dass die unreif wirkenden Produktionsfähigkeiten in den Jahren nach der Phase der Beherrschung erst noch zu den Wahrnehmungsfähigkeiten aufschließen müssen (Snyder et al., 2024). In diesem Prozess bildet die weit entwickelte basale Rhythmuswahrnehmung die Grundlage für die Entwicklung der komplexen Reproduktionsfähigkeit (Frischen et al., 2022).

Reproduktionsfähigkeit in Imitationsphase. Im Verlauf der Imitationsphase (4 bis 9 Jahre) findet eine starke Verbesserung der Reproduktionsfähigkeit statt (Drake, 1993a, 1993b). Dies zeigt sich sowohl in Untersuchungen aus Laborstudien (Drake, 1993a, 1993b) als auch in Erhebungen im häuslichen Rahmen der teilnehmenden Kinder (Elkoshi, 2024). Gegen Mitte der Imitationsphase steigt der Anteil an Kindern, die einen vorgegebenen Rhythmus im ersten Versuch korrekt reproduzieren können (Elkoshi, 2024). Allerdings bestehen widersprüchliche Befunde, inwiefern die gewählte Antwortform einen Einfluss auf die Genauigkeit der Reproduktion hat.

Einerseits bestehen keine Unterschiede in der Genauigkeit zwischen den Antwortformen Trommeln und Klatschen, wenn die Reproduktionsaufgaben zuhause ausgeführt wurde (Elkoshi, 2024). Auf der anderen Seite zeigen Laborstudien, dass es Unterschiede in der Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit gibt, je nachdem mit welcher Bewegung Kinder Rhythmen reproduzieren (Derri et al., 2001). Sollten die teilnehmenden Kinder mit beiden Händen den Rhythmus reproduzieren so ist die Reproduktion genauer, wenn sie nicht gleichzeitig zusätzlich beide Füße zur Reproduktion nutzen (Derri et al., 2001). Inwiefern die unterschiedlichen Befunde auf den Ort der Erhebung in Verbindung mit unterschiedlichen Standardisierungen der Erhebungssituation oder auf die verschiedenen

Antwortformen zurückgehen, bedarf weiterer Untersuchung um die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit weder zu unter- noch zu überschätzen.

Davidson und Colley (1987) stellten in einer Längsschnittstudie eine Verbesserung der Reproduktionsfähigkeit bei 5- bis 7-jährigen Kindern fest. Während 5-jährige Kinder noch Schwierigkeiten haben, komplexerer Rhythmen zu reproduzieren, gelingt dies 7-jährigen Kindern problemlos (Davidson & Colley, 1987). Ausgehend von dieser Entwicklung wurde die Reproduktionsfähigkeit in Bezug auf einzelne rhythmische Merkmale in Querschnittstudien näher untersucht. Erstens zeigte sich in einer dieser Querschnittstudien in Bezug auf die Komplexität der zu reproduzierenden Rhythmen, dass 5- und 7-jährige Kinder einfache Rhythmen am genauesten reproduzieren, gefolgt von komplexeren und unrythmischen Rhythmen. Insgesamt nimmt die Genauigkeit der Reproduktion einfacher Rhythmen mit dem Alter zu (Drake & Gérard, 1989). Zweitens verändert sich neben der Genauigkeit auch die Betonung der reproduzierten Rhythmen. Kinder im Alter von 5 und 7 Jahren betonen den ersten Schlag und keine anderen strukturierenden Merkmale der Rhythmen (Drake, 1993a). Erwachsene heben durch Betonungen die rhythmische Struktur hervor (Drake, 1993a). Drittens wirkt sich die Betonung der vorgegebenen Rhythmen wiederum auf die Genauigkeit der Reproduktion aus. Sowohl bei Kindern im Alter von 5 bis 11 Jahren als auch bei Erwachsenen ist die Reproduktion am genauesten, wenn die Betonung (d.h. die Akzentuierungsstruktur) der Rhythmen mit dem Taktschwerpunkt übereinstimmt (Drake et al., 1991).

Während der Imitationsphase treten deutliche Unterschiede in der motorischen Entwicklung ein. Die Quantität motorischer Bewegungen nimmt zugunsten der Qualität ab. Dies bedeutet, dass es den Kindern mit zunehmender motorischer Kontrolle über die eigenen Bewegungen besser gelingt, diese zu koordinieren und auf vorgegebene Rhythmen abzustimmen (Miyamoto, 2007). Die verbesserte motorische Kontrolle führt zu einer erhöhten Koordination beider Hände (Bukato & Deahler, 2012). Die verbesserte Koordination beider Hände zeigt sich unter anderem auch darin, dass Kinder beginnen sich im Werfen und Fangen an das Niveau von Erwachsenen anzunähern. Gegen Ende der Imitationsphase verbessern sich besonders stark die feinmotorischen Fähigkeiten, wodurch Kinder

z.B. schreiben erlernen (Bukato & Deahler, 2012). Neben den feinmotorischen Fähigkeiten verändern sich auch die grobmotorischen Fähigkeiten, was durch das Körperwachstum noch verstärkt wird (Geraedts, 2020).

Sowohl für motorische Bewegungen (z.B. fangen und werfen) als auch für die Rhythmuswahrnehmung ist es erforderlich Abstände wahrzunehmen und einzuschätzen. Für motorische Bewegungen werden Abstände in Metern oder kleineren Maßeinheiten geschätzt, um den richtigen Zeitpunkt für den Zugriff zu bestimmen. Zeitliche Abstände in Rhythmen werden wahrgenommen und eingeschätzt, um den Zeitpunkt für die Ausführung einer Bewegung zur Rhythmusproduktion zu wählen. Die Abstände zwischen einzelnen rhythmischen Ereignissen können sich unterscheiden und verändern. Während der Imitationsphase spezialisiert sich weiter die Wahrnehmung von rhythmischen Ereignissen auf die umgebende Musikkultur, wobei diese Entwicklung weitere Jahre anhält (Davidson & Colley, 1987; Hannon et al., 2018). Entscheidend für die Spezialisierung ist die Exposition mit der umgebenden Musikkultur. Ab dem Alter von 7 Jahren hat die Exposition mit unbekanntem Rhythmen geringere Effekte auf die Rhythmuswahrnehmung als im Alter von 5 Jahren (Hannon et al., 2012). Daraus kann abgeleitet werden, dass die basale musikalische Fähigkeit der Rhythmuswahrnehmung zunehmend robuster für die umgebende Musikkultur wird (Hannon et al., 2012).

Bis zum Alter von 8 Jahren haben Kinder Schwierigkeiten rhythmische Muster zu erkennen, wenn sie anschließend metrisch uneindeutige Rhythmen hören (Nave et al., 2023). Schwierigkeiten reduzieren sich bis ins Erwachsenenalter. Es bestehen erste Hinweise darauf, dass Kinder zwar seit der Beherrschungsphase Rhythmen wahrnehmen können sich diese Fähigkeit jedoch noch grundlegend in der Imitationsphase verändert (Snyder et al., 2024). Ein Beispiel hierfür ist, dass Kinder zwischen 6 und 11 Jahren mit zunehmendem Alter besser Unterschiede zwischen den Rhythmen der sie umgebenden Musikkultur wahrnehmen, als dies bei kulturell ungewohnten Rhythmen der Fall ist (Nave et al., 2024).

Zusammengefasst finden in der Imitationsphase deutliche Fortschritte in der Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit statt, welche mit der sich verbessernden motorischen Kontrolle und

Koordinationsfähigkeit zusammenhängen könnten. Widersprüchliche Befunde zur Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit bestehen hinsichtlich der unterschiedlichen Reproduktionsgenauigkeit je nach Antwortform. Eindeutiger scheint die anhaltende Entwicklung der Rhythmuswahrnehmung zu sein, wobei nur wenige empirische Untersuchungen existieren, die den Entwicklungsverlauf in aufeinander folgenden Altersgruppen untersuchen und vergleichen. Insgesamt treten in der Imitationsphase starke Verbesserungen in der Genauigkeit der Reproduktionsfähigkeit auf. Daher steht die Entwicklungsphase besonders im Fokus der vorliegenden Arbeit. Allerdings fehlt es an Studien, die im anhaltenden Enkulturationsprozess der Rhythmusreproduktion und der Rhythmuswahrnehmung die Entwicklung motorischer Fähigkeiten berücksichtigen.

1.2.2 Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit

Definition der Synchronisationsfähigkeit. Unter Synchronisation wird in der vorliegenden Arbeit die Fähigkeit zur sensumotorischen Synchronisation verstanden. Sensumotorische Synchronisation ist nach Repp und Su (2013) definiert als die Koordination eigener rhythmischer Bewegungen zu einem vorgegebenen externen Rhythmus. In der vorliegenden Arbeit besteht der externe Rhythmus aus einer isochronen Sequenz. Innerhalb dieser Sequenz haben alle Ereignisse den gleichen Abstand zueinander und damit die gleiche zeitliche Dauer. Im musikalischen Alltag werden unterschiedliche Tempi von isochronen Sequenzen häufig durch ein Metronom vorgegeben. Die Synchronisation beruht auf der Fähigkeit aus komplexen und dynamischen periodischen Rhythmen (isochronen Sequenzen) einen regelmäßigen und stabilen Takt (Puls) zu extrahieren. Die Extraktion des Taktes ist entscheidend, um die nächsten Ereignisse innerhalb der isochronen Sequenz vorhersagen zu können (Proksch et al., 2020; Trainor & Hannon, 2013).

Die Vorhersage des nächsten Schlages ermöglicht das gemeinsame synchrone Trommeln mehrerer Personen. Dabei müssen die eigenen Bewegungen genau auf das von der Musik vorgegebene Tempo abgestimmt sein. Um das eigene Trommeln an die Zielgeschwindigkeit anzupassen, ist es wichtig, den nächsten Trommelschlag zu antizipieren. Ohne dieses prädiktive Verhalten wird der Einsatz

für den nächsten Schlag verpasst und es kommt zu Abweichungen von der Zielgeschwindigkeit. Abweichungen von der Zielgeschwindigkeit werden als Asynchronie bezeichnet.

Die zuvor als Asynchronie beschriebenen Abweichungen können entweder positiv oder negativ sein. Bei positiver Asynchronität erfolgt die ausgeführte Bewegung zu spät, d.h. als Reaktion nach dem Zielzeitpunkt der isochronen Sequenz. Dieses Verhalten ist vor allem bei jungen Kindern beobachtbar (Kirschner & Tomasello, 2009). Mit zunehmendem Alter findet ein Wechsel zur Synchronisation mit negativer Asynchronität statt (Kirschner & Tomasello, 2009). Die Synchronisation der eigenen Bewegung basiert auf der Antizipation des nächsten Ereignisses. Je genauer die Bewegung mit der vorgegebenen isochronen Sequenz übereinstimmt, desto geringer ist die Asynchronität.

Für die vorliegende Arbeit ist von besonderem Interesse, welche basalen musikalischen Fähigkeiten der Verbesserung in der Synchronisation als komplexe musikalische Fähigkeit zugrunde liegen. Hierzu wird die basale Fähigkeit der Tempowahrnehmung als Vorläuferfähigkeit für die Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit betrachtet. Die Tempowahrnehmung wird berücksichtigt, um herauszufinden inwiefern die Fähigkeit, tempobezogene Unterschiede wahrzunehmen, eine Rolle für die Genauigkeit der Synchronisation von Bewegungen spielt. Gleichzeitig ermöglicht die Untersuchung der Tempowahrnehmung im Kindesalter die Weiterentwicklung von basalen Wahrnehmungsfähigkeiten zu analysieren.

Ergänzend zur Tempowahrnehmung wird als Kontrollvariable die Entwicklung der Fähigkeit zur Beat-Produktion, d.h. inwiefern Kinder ein gleichbleibendes Tempo aufrechterhalten können, untersucht. Es ist denkbar, dass es Ähnlichkeiten zwischen der Beat-Produktion und der Synchronisation zu einem isochronen Rhythmus gibt. In beiden Fällen gilt es, zunächst den zugrundeliegenden Beat zu erkennen und dann die eigenen Bewegungen an die Vorgaben des Beats anzupassen. Jedoch erfolgt die Untersuchung der Synchronisation in der vorliegenden Arbeit während der Darbietung des Beats und die Beat-Produktion setzt sich auch anschließend daran noch fort. Es ist unklar, inwiefern eine Abhängigkeit in der Entwicklung beider Fähigkeiten besteht. Die Untersuchung der Beat-Produktion soll ein tieferes Verständnis der Gesamtfähigkeit zur Synchronisation ermöglichen. In diesem

Zusammenhang könnte die Beat-Produktion die Synchronisation unterstützen, welche die umfassendere Grundfähigkeit darstellt.

Synchronisationsfähigkeit in der Metakognitionsphase. Drewing und Kolleg:innen (2006) gingen basierend auf einer umfangreichen Studie mit 6- bis 88-jährigen Teilnehmenden davon aus, dass sich die Synchronisationsfähigkeit in der Kindheit bis zum Alter von 15 Jahren entwickelt. Danach bleibt die Synchronisationsfähigkeit bis ins hohe Erwachsenenalter stabil (Drewing et al., 2006). Eine für die Synchronisation erforderliche Fähigkeit ist die Kompetenz zur effizienten Fehlerkorrektur. Sie ermöglicht es, Abweichungen zwischen den ausgeführten Bewegungen und der Zielgeschwindigkeit zu erkennen und zu reduzieren. Bis zum Alter von 15 Jahren wird die Fehlerkorrektur zunehmend effizienter und stabilisiert sich anschließend (Drewing et al., 2006). Die Ergebnisse der Studie zeigen darüber hinaus, dass sich die Variabilität in der Synchronisation bis zum Alter von 15 Jahren reduziert (Drewing et al., 2006). Konkret bedeutet dies, dass die Abweichungen von der vorgegebenen Zielsequenz mit zunehmendem Alter geringer werden. Allerdings gelingt es selbst musikalisch professionell ausgebildeten Erwachsenen nicht, ihre Bewegungen ohne negative Synchronität zu synchronisieren (Thompson et al., 2015).

Erwachsene können ihre Bewegungen mit kleiner negativer Asynchronität an verschiedene Geschwindigkeiten anpassen, in dem sie mit ihrem Zeigefinger auf eine Unterlage tippen (Bouvet et al., 2020). Das Ausmaß der negativen Asynchronität und damit die Synchronisationsgenauigkeit scheint von der Art der Stimulusdarbietung abzuhängen (Drake, Penel, et al., 2000). Demnach ist die Synchronisationsgenauigkeit im Erwachsenenalter bei mechanisch generierten computerbasierten Stimuli höher als bei von Menschen präsentierten Stimuli (Cameron et al., 2019).

Neben der Art der Präsentation des Stimulus weisen bisherige Studien darauf hin, dass auch die Wahl der Antwortform (z.B. Tippen, Klatschen, Trommeln, o.ä.) einen Einfluss auf die Genauigkeit der Synchronisation hat. In einer Vergleichsstudie mit den Antwortformen „Tippen mit einem Finger, Tippen mit einem Zeh und Gehen auf der Stelle“ zeigt sich die beste Synchronisation mit den

geringsten Abweichungen beim Gehen auf der Stelle (Rose et al., 2021). Unterschiede zwischen den Antwortformen gibt es auch in der Fähigkeit der Beat-Produktion, wenn die Erwachsenen aufgefordert werden, sich im Takt der Musik zu bewegen und diese Bewegung auch nach Ende der Musik aufrechtzuerhalten (Tranchant et al., 2016). Hierbei stellte sich heraus, dass dies mit Klatschen besser gelang als mit Auf- und Abwippen des ganzen Körpers (Tranchant et al., 2016).

Im Erwachsenenalter ist die basale Fähigkeit zur Wahrnehmung von Tempounterschieden auf die interne kognitive Repräsentation der zu vergleichenden Tempi gestützt (Ivy & Hazeltine, 1995). Dabei nehmen Erwachsene mehrere metrische Ebenen eines Tempos hierarchisch wahr (Nave-Blodgett et al., 2021). Dies ermöglicht Erwachsenen, feinere tempobasierte Unterschiede im Vergleich zu Kindern wahrzunehmen (Nave-Blodgett et al., 2021). Die Tempowahrnehmung kann im Erwachsenenalter über den Prozess der musikalischen Enkulturation hinaus durch Musikunterricht weiter verbessert werden (Nave-Blodgett et al., 2021).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit bei Erwachsenen in der Metakognitionsphase bereits abgeschlossen zu sein scheint und nur durch weiteres Training verbessert werden kann. Die Genauigkeit der Synchronisation hängt in der Metakognitionsphase sowohl von der gewählten Stimulusdarbietung als auch vom Antwortform ab. In der Metakognitionsphase erfolgt eine genauere Synchronisation mit der computergestützten als mit der zwischenmenschlichen Stimulusdarbietung. Dies könnte an der größeren zeitlichen Präzision im computerbasierten Stimulusmaterial liegen (Cameron et al., 2019).

Synchronisationsfähigkeit in der Beherrschungsphase. Bereits in der Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) liefern empirische Untersuchungen Hinweise auf basale Vorläuferfähigkeiten für die rhythmische Produktion synchroner Bewegungen. Neugeborene zeigen mehr koordinierte und synchronisierte motorische Bewegungen, wenn sie rhythmische Sequenzen hören (Provasi et al., 2014). Dabei werden die synchronen Bewegungen zunehmend spezifischer für Musik. Während 3- bis 4-monatige Säuglinge sich nur vereinzelt rhythmisch synchron zum musikalischen Tempo bewegen (Fujii et al.,

2014), zeigen 5-monatige Säuglinge bereits signifikant mehr rhythmische Bewegungen zu Musik im Vergleich zu Sprache (Ilari, 2015; Zentner & Eerola, 2010).

Im Alter von 10 und 18 Monaten beobachteten Rocha und Mareschal (2017) einen starken Entwicklungsfortschritt bei der Synchronisation von Bewegungen zu Musik. Im Gegensatz zu 10-monatigen Säuglingen können 18-monatige Säuglinge ihre Bewegungsgeschwindigkeit verändern und an die Geschwindigkeit der Musik anpassen (Rocha & Mareschal, 2017). Ebenfalls gelingt es Säuglingen ab 18 Monaten ihre eigenen Bewegungen (d.h. Trommeln mit einem Stab) an eine Geschwindigkeit von 400 ms IOI (Inter-Onset-Interval = Zeitspanne zwischen zwei Trommelschlägen in Zielsequenz) anzugleichen (Yu & Myowa, 2021). Die Synchronisation zu einem langsameren Tempo (600 ms IOI) scheint jedoch erst im Alter von 30 Monaten möglich (Yu & Myowa, 2021).

Hervorzuheben ist, dass Säuglinge und Kinder zwischen 18 und 42 Monaten ihre Bewegungen mit höherer Genauigkeit synchronisierten, wenn sie die Zielsequenz gemeinsam mit ihrer Mutter statt mit einem Roboter trommeln (Yu & Myowa, 2021). Es besteht ein Kontexteffekt zugunsten der Mutter im Vergleich zum Roboter zu geben trotz der geringeren Synchronität der Mutter. Somit scheinen Kinder anders als Erwachsene während des Erwerbs der komplexen Synchronisationsfähigkeit von einer Darbietung durch einen Menschen zu profitieren. Gegen Mitte der Beherrschungsphase unterscheidet sich die Synchronisationsfähigkeit noch deutlich von Erwachsenen. Es ist jedoch eine starke Zunahme der Fähigkeit zu beobachten, synchronisierte Bewegungen auszuführen. Während dieses Zuwachses sind die Bewegungen noch rudimentär und variieren in der Präzision der Ausführung (Gooding & Standley, 2011). Wie in der frühesten Kindheit führen Kinder zwischen 2,5 und 4 Jahren synchrone Bewegungen bei 400 ms IOI signifikant präziser als bei langsameren Tempi (Provasi & Bobin-Bègue, 2003).

Vor dem Alter von 4 Jahren bestehen bisher nur vereinzelte Hinweise darauf, dass Kinder in der Lage sind, ein gleichbleibendes Tempo aufrechtzuerhalten und ihre eigenen Bewegungen angemessen zu synchronisieren (Trainor & Hannon, 2013). Zwar zeigt sich zwischen dem Alter von 2 bis 4 Jahren eine Entwicklungstendenz hin zu mehr periodisch ausgeführten Bewegungen (d.h.

gleichbleibende zeitliche Abstände zwischen den Bewegungen). Diese Bewegungen entsprechen aber noch nicht dem Tempo der dargebotenen Musik (Eerola et al., 2006). Auch Sims (1985) stellte fest, dass die Bewegungen von 3-jährigen Kindern signifikant weniger mit dem Tempo der Musik übereinstimmen als Bewegungen älterer Kinder.

Je nach Alter variiert während der frühen Kindheit der Zeitpunkt, zu dem Kinder eigene Bewegungen (z.B. Tippen mit dem Zeigefinger) ausführen. Kinder im Alter von 2 bis 4 Jahren beginnen antizipierendes Tippen für langsamere Tempi (600 ms IOI und 800 ms IOI) zu zeigen, d.h. sie tippen zunehmend vor statt nach dem Zielzeitpunkt (Provasi & Bobin-Bègue, 2003). Auch die Fähigkeit, eigene Bewegungen an die Geschwindigkeit eines gleichaltrigen Kindes anzupassen, verbessert sich im Alter von 2 bis 4 Jahren (Endedijk et al., 2015).

Im weiteren Verlauf der Beherrschungsphase besteht ein Kontexteffekt für die Synchronisationsfähigkeit bei Kindern zwischen 2,5 und 4,5 Jahren (Kirschner & Tomasello, 2009). Sie synchronisieren ihr eigenes Trommeln genauer, wenn sie mit einem menschlichen Partner trommeln (Versuchsleitung, audio-visuell) als mit einer Trommelmaschine (auditiv und visuell) oder einer Aufnahme (nur auditiv). Zwischen dem Trommeln mit der Trommelmaschine und der Aufnahme besteht kein signifikanter Unterschied in der Varianz der Synchronisation (Kirschner & Tomasello, 2009). Daraus kann abgeleitet werden, dass die zusätzliche Darbietung visueller Informationen durch eine Maschine keinen signifikanten Vorteil für die Synchronisation von 2,5- bis 4,5-jährige Kinder bringt. Kirschner und Tomasello (2009) untersuchten die Tempi 400ms IOI und 600ms IOI. Im langsamen Tempo (600ms IOI) gelingt den 2,5-jährige Kindern die Synchronisation nur in der sozialen Bedingung (Trommeln mit der Versuchsleitung). Diese Ergebnisse sind hervorzuheben, da frühere Studien mit gleichaltrigen Kindern (vgl. Provasi & Bobin-Bègue, 2003) nur eine Synchronisation auf das schnellere Tempo (400 ms IOI) zeigen. Interessant ist auch, dass Kinder ab dem Alter von 3,5 Jahren mit negativer Asynchronität trommeln (Kirschner & Tomasello, 2009). Dies deutet darauf hin, dass sie das Tempo antizipieren, den nächsten Schlag vorhersehen und diesen in negativer Asynchronie ausführen.

Insgesamt besteht in der Beherrschungsphase eine Diskrepanz zwischen basalen perzeptuellen und komplexen produktiven rhythmischen Fähigkeiten (Trehub, 2003), wobei die Wahrnehmung der Produktion vorausgeht (Snyder et al., 2024). Neugeborene verfügen noch nicht über die motorischen Fähigkeiten zur Synchronisation ihrer Bewegungen. Dennoch können sie bereits verschiedene Tempi wahrnehmen und es bestehen Hinweise auf eine Sensitivität für regelmäßige Rhythmen (Honig et al., 2009; Winkler et al., 2009). Ab dem Alter von 2 Monaten erkennen Säuglinge Tempoveränderungen (Baruch & Drake, 1997).

Bahrick und Kolleg:innen (2002) verweisen darauf, dass Säuglinge ab dem Alter von 3 Monaten tempobezogene Veränderungen besser wahrnehmen können, wenn diese multisensorisch (auditiv und visuell) dargeboten werden. Im Alter von 5 Monaten nehmen Säuglinge rhythmische Veränderungen nach multisensorischer Habituation wahr, nicht jedoch bei monosensorischer (auditiver oder visueller) Darbietung (Bahrick & Lickliter, 2000). Dieses Phänomen wird als intersensorische Erleichterung beschrieben und gehört zur Hypothese der intersensorischen Redundanz (Bahrick & Lickliter, 2000, 2002, 2014). Diese intersensorische Erleichterung hat zur Folge, dass multisensorisch (auditiv und visuell) dargebotene Informationen zu einer erhöhten selektiven Aufmerksamkeit für amodale Eigenschaften innerhalb dieser Informationen führen. Amodale Eigenschaften sind Informationen (z.B. Tempo und Rhythmus), die über mehr als nur eine Sinnesmodalität dargeboten werden können (Bahrick & Lickliter, 2000, 2002, 2014). Die selektive Aufmerksamkeit auf amodale Eigenschaften ermöglicht wiederum eine leichtere Wahrnehmung in der Kindheit und ein effektiveres wahrnehmungsgesteuertes Lernen (Bahrick et al., 2002). Allerdings müssen die multisensorisch dargebotenen Informationen in ihrer Präsentation zeitlich synchronisiert sein (Bahrick & Lickliter, 2002).

Die Hypothese der intersensorischen Redundanz stellt für die vorliegende Arbeit einen Untersuchungsansatz dar, um die Rolle von Kontexteffekte bei der Stimulusdarbietung (multisensorisch oder monosensorisch) in der Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten zu untersuchen. Inwieweit sich auch mit zunehmendem Alter Verarbeitungsvorteile bei multisensorischer Darbietung zeigen, bedarf weiterer Untersuchungen. Erste Studien zeigen, dass sowohl in der Kindheit (Bahrick et

al., 2011) als auch im Erwachsenenalter (Bahrick et al., 2004) Verarbeitungsvorteile durch intersensorische Erleichterung bestehen bleiben, wenn es sich um neuartige Stimulationen oder schwierige Aufgaben handelt.

Zusammengefasst können in der Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) bereits Vorläufer für die Fähigkeit zur Synchronisation und ein beginnender Entwicklungsverlauf beobachtet werden. Allerdings scheint die Genauigkeit der Synchronisation sowohl von der Geschwindigkeit als auch von dem Kontext abzuhängen. Kontexteffekte treten ebenfalls in der basalen Fähigkeit der Tempowahrnehmung auf. Werden Tempoveränderungen synchron auditiv und visuell dargeboten, so führt dies zu einer intersensorischen Erleichterung und somit zu einer besseren Wahrnehmung. Demnach profitieren Säuglinge in der Entwicklung der Tempowahrnehmung von der Darbietung intersensorisch redundanter Informationen. Im Verlauf der Beherrschungsphase spezialisiert sich die Tempowahrnehmung von Säuglingen zunehmend auf die sie umgebende Musikkultur (Hannon & Trehub, 2005; Soley & Hannon, 2010). Dieser Enkulturationsprozess beginnt bereits in der frühesten Kindheit, wird jedoch noch viele Jahre andauern (Trainor & Hannon, 2013).

Synchronisationsfähigkeit in der Imitationsphase. Ab einem Alter von 4 Jahren konnten Drake und Kolleg:innen (2000) feststellen, dass Kinder ihr eigenes Tippen zu einer gleichbleibenden Zielsequenz synchronisieren. Die Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit ist jedoch im Alter von 4 Jahren noch nicht abgeschlossen und verbessert sich mit zunehmendem Alter weiter (Drake, Penel, et al., 2000; Gooding & Standley, 2011). Beispielsweise wird das Tippen von 5- bis 7-jährigen Kindern zunehmend regelmäßiger (Monier & Droit-Volet, 2019). Ilari und Kolleg:innen (2018) führten die bereits für die Beherrschungsphase vorgestellte Studie von Kirschner und Tomasello (2009) im Längsschnittdesign mit 6-jährigen Kindern und drei Jahre später mit 9-jährigen Kindern durch. In der Zwischenzeit erhielt ein Teil der Stichprobe ein musikbezogenes Training (Erlernen eines Streichinstruments und Notenlesen) und zwei weitere Teile ein sportbezogenes Training (Fußball oder Schwimmen). Während dieser drei Jahre tritt eine altersbasierte Verbesserung der Synchronisation in allen

Gruppen ein und es bestehen zum zweiten Messzeitpunkt keine signifikanten Gruppenunterschiede (Ilari et al., 2018). In einer ergänzenden Bedingung wurde untersucht, ob die alleinige Anwesenheit der Versuchsleitung ohne gemeinsames Trommeln ebenfalls zu einer Steigerung der Synchronisationsgenauigkeit führt. Allerdings trat dies nicht ein, weshalb Ilari und Kolleg:innen (2018) annahmen, dass die Interaktion zwischen Kind und Versuchsleitung für den Anstieg in der Synchronisationsfähigkeit verantwortlich sei.

Auch Studien ohne zwischenzeitliche Interventionen weisen auf signifikante Verbesserungen in der Synchronisation in Imitationsphase hin (Carrer et al., 2023; Drake, 1997; Ireland et al., 2018; Phillips-Silver et al., 2024). Für diese Entwicklung gewinnt die musikalische Vorerfahrung stärker an Relevanz. Kinder, die bereits Musikunterricht erhalten und ein Instrument lernen, können ihr eigenes Tippen zwischen 7 und 13 Jahren signifikant genauer synchronisieren als Kinder ohne musikalische Vorerfahrung (Ireland et al., 2018). Dabei scheint sich die Fähigkeit zur Synchronisation auch nach der mittleren bis späten Kindheit noch zu verbessern (Phillips-Silver et al., 2024; Thompson et al., 2015).

Die Beat-Produktion, welche in der vorliegenden Arbeit als musikalische Vorläuferfähigkeit für die Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit analysiert wird, verbessert sich ebenfalls in der Imitationsphase (Wolff & Hurwitz, 1976). Auf Grundlage einer Zusammenfassung bisheriger Untersuchungen kann davon ausgegangen werden, dass 40– 60 % der 4-jährigen Kinder in der Lage sind, einen gleichbleibenden Takt aufrechtzuerhalten (Reifinger, 2006). Ab dem Alter von 7 Jahren können Kinder das Anfangstempo beibehalten, auch wenn sich dies während der Darbietung verändert (Wolff & Hurwitz, 1976). Sowohl für das simultane Tippen zu einem gleichbleibenden Tempo als auch für das anschließende Fortsetzen und Beibehalten der Zielsequenz nahmen die Abweichungen von der Zielgeschwindigkeit bis zum Alter von 12 Jahren kontinuierlich ab (Wolff & Hurwitz, 1976).

Neben den geschilderten Verbesserungen der Synchronisationsfähigkeit und der Beat-Produktion entwickelt sich auch die Fähigkeit der Tempowahrnehmung weiter. Im Alter von 3 bis 5 Jahren besteht ein Zusammenhang zwischen der Entwicklung der basalen Wahrnehmungsfähigkeit von Tempoveränderungen und der Entwicklung der komplexen Synchronisationsfähigkeit (Bonacina et al.,

2021). Kinder, die ihre eigenen Bewegungen genauer mit einer isochronen Sequenz synchronisieren, erkennen genauer die Unterschiede zwischen einer originalen und einer veränderten rhythmischen Sequenz (Bonacina et al., 2021). Allmähliche Verbesserung der Tempowahrnehmung ermöglicht es Kindern bereits in der frühen Kindheit graduelle Tempoveränderungen zu erkennen (Ellis, 1992). Gleichzeitig wird die Diskriminationsfähigkeit zwischen verschiedenen Tempi der umgebenden Musikkultur durch anhaltende Enkulturationsprozesse präziser (Nave-Blodgett et al., 2021). Gegen Mitte der Imitationsphase verbessert sich die Wahrnehmung von graduellen Tempounterschieden (Nave-Blodgett et al., 2021). In Annäherung an die Wahrnehmungsfähigkeiten von Erwachsenen beginnen Kinder mehrere Ebenen von Takten und Metren wahrzunehmen und zu unterscheiden (Nave-Blodgett et al., 2021). Allerdings lassen bisherige Untersuchungen offen, ab wann keine Unterschiede mehr zwischen der Tempowahrnehmung von Kindern und Erwachsenen bestehen.

Zusammengenommen weisen bisherige Studien im Verlauf der Imitationsphase erstmals auf eine Synchronisation mit negativer Asynchronität hin. Allerdings scheint damit weder die Entwicklung der komplexen Synchronisationsfähigkeit noch die der basalen Fähigkeiten der Tempowahrnehmung oder Beat-Produktion abgeschlossen zu sein. Es fehlt jedoch an empirischen Studien, die Überschneidungen in den Entwicklungsverläufen der drei Fähigkeiten systematisch berücksichtigen und untersuchen. Dies könnte dabei helfen herauszufinden, wie lange sich Entwicklung fortsetzt und ab welchem Zeitpunkt der Fähigkeitserwerb durch Enkulturation abgeschlossen und auf Erwachseneniveau angekommen ist.

1.3 Entwicklung von Tonvorstellungsfähigkeiten

Im Verlauf der Kindheit erlernen Kinder nicht nur, sich in ihren zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten an die sie umgebende Musikkultur anzupassen. Auch der Erwerb komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten ermöglicht Kindern mehr soziale Teilhabe an ihrer umgebenden Musikkultur. Als Tonvorstellungsfähigkeiten werden in der vorliegenden Arbeit die Tonalitätspräferenz und die Konsonanzpräferenz untersucht. Laut Hargreaves und Lamont (2017) umfassen Tonvorstellungsfähigkeiten drei

Bereiche: Den Bereich der Klangfarbe (einzelner Töne), den Bereich der Kontur (hohe oder tiefe Muster einer Tonfolge) und den Bereich der melodischen und harmonischen Beziehungen zwischen Tönen (Tonartzugehörigkeit und ein Gefühl für harmonische Zusammenhänge oder Tonalität). In bisherigen Studien wurden verschiedenen Aspekte von Tonvorstellungsfähigkeiten oftmals miteinander vermischt und zusammen untersucht. Da dies die Interpretation der Befunde einschränken könnte, fokussiert sich die vorliegende Arbeit auf die komplexeste Fähigkeit, d.h. die melodischen und harmonischen Beziehungen zwischen den Tönen.

Eine Präferenz wird in dieser Arbeit als Ausdruck der Fähigkeit verstanden, musikalische Vorlieben erfolgreich zu beurteilen. Die Präferenz ist also die Fähigkeit, Tonalität und Konsonanz auf der Grundlage des erfahrenen Enkulturationsprozesses zu beurteilen. Sowohl die Tonalitäts- als auch die Konsonanzpräferenz sind im Enkulturationsprozess auftretende Spezialisierungsprozesse für die westliche Musikkultur. Die Betrachtung beider Spezialisierungsprozesse bietet die Möglichkeit herauszufinden, ob deren Entwicklung in einem gemeinsamen zeitlichen Rahmen stattfindet. Denkbar wäre, dass die Entwicklung der Konsonanzpräferenz der Entwicklung der Tonalitätspräferenz vorausgeht. Möglicherweise ist die Konsonanzpräferenz die intuitivere Präferenz gegenüber der Tonalitätspräferenz, die den Kindern über eine frühe Grundeinstellung leichter und früher zugänglich wird.

Um den zeitlichen Zusammenhang zwischen der Entwicklung beider Präferenzen zu untersuchen, konzentriert sich die vorliegende Arbeit auf die Frage, ob beide komplexen Fähigkeiten eine gemeinsame musikalische Grundfähigkeit wie die Wahrnehmung von Unterschieden und die daraus resultierende Kategorisierungsfähigkeit als Vorläuferfähigkeit teilen. Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt dabei auf der Wahrnehmung und Bewertung von Tonalität und Konsonanz zur Vertiefung vorhandener Erkenntnisse aus früheren Studien und zur Vorbereitung der Untersuchung in Produktionsaufgaben.

1.3.1 Entwicklung der Tonalitätspräferenz

Definition der Tonalitätspräferenz. Tonalität ist ein charakteristisches Merkmal innerhalb von Musikkulturen, wobei eine Folge von Tönen auf ein kulturell definiertes gemeinsames Zentrum bezogen ist (z.B. die Tonika in der westlichen tonalen Musik). Dies unterscheidet die Tonalität von der Atonalität, bei der kein tonales Zentrum vorliegt und die 12 Töne der chromatischen Tonleiter unabhängig von einem tonalen Zentrum verwendet werden (Whittall, 2011).

Die Wahrnehmung von Abweichungen bspw. einzelner Töne innerhalb einer Melodie vom tonalen Rahmen beruht auf implizitem oder explizitem Wissen über die Beziehungen zwischen den Tönen. Nach Schönberg (1977) ist die Tonalität „ein elementares und wirksames Mittel zur Herstellung von Einheit“ (Schönberg, 1977, S. 21). Je nach Musikkultur bestehen unterschiedliche Definitionen und formale Möglichkeiten, Tonalität musikalisch zu gestalten. Die obige Definition von Tonalität basiert auf dem Verständnis von Tonalität in der westlichen Musikkultur.

Es ist wahrscheinlich, dass sich die Fähigkeit Tonalität und Abweichungen von dieser wahrzunehmen mit zunehmendem Alter und musikalischer Exposition verbessert. Welche Rolle die Wahrnehmung von Unterschieden in Melodien bei der Entwicklung einer Tonalitätspräferenz spielt, ist noch nicht umfassend untersucht. Möglich wäre, dass die basale Fähigkeit zwischen tonalen und atonalen Melodien zu unterscheiden (d.h. diese als unterschiedlich wahrzunehmen und zu kategorisieren), ein wichtiger Bestandteil für die Entwicklung der Tonalitätspräferenz ist. Im Fokus der vorliegenden Arbeit steht daher, wie sich der Ausdruck der Wahrnehmung von Unterschieden zwischen Tonalität und Atonalität als Kategorisierungsfähigkeit entwickelt und welche Relevanz die Entwicklung dieser basalen Fähigkeit für die Entwicklung der komplexen Fähigkeit der Tonalitätspräferenz hat.

Tonalitätspräferenz in der Metakognitionsphase. Erwachsene, deren musikalischer Fähigkeitserwerb durch Enkulturation weitgehend abgeschlossen ist (Sloboda, 1985), verfügen über ein umfangreiches implizites Wissen über die westliche Tonalität (z.B. Corrigan & Trainor, 2009; Tillmann et al., 2000; Trainor & Trehub, 1994). Dieses Wissen zeigt sich darin, dass Erwachsenen am Ende von

tonalen Melodien den Grundton präferieren (Krumhansl & Keil, 1982; Schwarzer et al., 1993). Folglich wählen Erwachsene in bisherigen Untersuchungen bei Melodien einen Schlusston, der kategorial der Tonalität zugehörig ist.

Damit Erwachsene diese Wahl als Ausdruck ihrer Präferenz treffen können, ist es wichtig, dass sie Veränderungen in der Tonalität wahrnehmen und diese kategorisieren (z.B. gleiche oder unterschiedliche Melodien). Eine frühere Studie mit erwachsenen Teilnehmenden zeigt, dass Töne schneller verarbeitet und als passender wahrgenommen, wenn sie in den tonalen Kontext der Melodie passen (Marmel et al., 2008). Gembris (2009) nimmt an, dass sich die Genauigkeit der Wahrnehmungsleistung von tonalen Änderungen (z.B. in Melodien) im Erwachsenenalter nur noch durch musikalisches Training verbessern lässt. Halpern und Kolleg:innen (1998) weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass musikalisch ausgebildete Erwachsene Unterschiede in Melodien besser wahrnehmen als Erwachsene ohne musikalisches Training.

Insbesondere in der Metakognitionsphase zeigen sich für die Tonalitätswahrnehmung Effekte der Familiarität, da Erwachsene Veränderungen in Melodien anderer Kulturen nur zufällig wahrnehmen (Lynch et al., 1990). Die Wahrnehmung von Veränderungen in Melodien wird bei Erwachsenen stark von den Regeln des kulturell erlernten Tonsystems beeinflusst (McDermott & Oxenham, 2008). Wenn die Veränderungen einer Melodie zu einem Verstoß gegen die erlernten Regeln führt, sind diese auffällig und werden von Erwachsenen leichter erkannt (Trainor & Trehub, 1992, 1994). Häufiger unerkannt bleiben hingegen Veränderungen innerhalb der Regeln, da sie weniger auffällig sind (Morrongio et al., 1985; Trehub et al., 1987). Diese Ergebnisse zeigen, dass eine Verarbeitung mit niedriger Aufmerksamkeit stattfindet, wenn der Melodieverlauf den Erwartungen der Erwachsenen entspricht (Marmel et al., 2008; Pearce & Wiggins, 2012; Tillmann & Lebrun-Guillaud, 2006).

Es ist festzuhalten, dass Erwachsene durch ihre jahrelange Erfahrung mit dem westlichen Musiksystem das Konzept der westlichen Tonalität verinnerlicht haben. Dies zeigt sich nicht nur in der komplexen Fähigkeit der Tonalitätspräferenz, sondern auch in Untersuchungen zur basalen Wahrnehmungsfähigkeit von Unterschieden in tonalen Melodien. Allerdings ist unklar, ab wann Kinder ein

Verständnis für die Wahrnehmung kategorialer Unterschiede zwischen Tonalität und Atonalität erlangen und wie spät sie die komplexe musikalische Fähigkeit der Tonalitätspräferenz entwickeln.

Tonalitätspräferenz in der Beherrschungsphase. Die Tonalitätspräferenz wird in bisherigen Untersuchungen mit Säuglingen meist anhand von Blickzeitmessungen in Wahrnehmungsparadigmen exploriert. Daher sind die komplexe Präferenz und die basale Wahrnehmung der Tonalität in diesen Untersuchungen eng miteinander verwoben und können kaum voneinander differenziert werden. Untersuchungen in der Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) bieten umfangreiche Hinweise darauf, dass basale Fähigkeiten wie Wahrnehmung von tonalen Regeln bereits im Säuglingsalter beginnen. Im Alter von 7 Monaten nehmen Säuglinge Tonveränderungen in Melodien wahr, wenn diese auf einem Durdreiklang statt auf einem übermäßigen Dreiklang basieren (Cohen et al., 1987). Melodische Veränderungen, die sowohl innerhalb der Tonart bleiben als auch diese verlassen, werden von 8-monatigen Säuglingen gleichermaßen wahrgenommen (Trainor & Trehub, 1992). Dabei sind sie Erwachsenen überlegen, die besser Veränderungen außerhalb der Tonart identifizieren (Trainor & Trehub, 1992).

Der Unterschied zwischen Säuglingen und Erwachsenen zeigt an dieser Stelle, dass sich die früh auftretende basale Wahrnehmungsfähigkeit von Tonalität verändert. Zum einen entdecken Säuglinge ab 9 Monaten auch melodische Veränderungen in transponierten Melodien und erkennen die Melodien wieder (Trehub, 1987). Zum anderen spezialisiert sich Fähigkeit melodische Veränderungen wahrzunehmen immer weiter auf die umgebende Musikkultur (Lynch & Eilers, 1992). Im Alter von einem Jahr erkennen Kinder durch diesen Prozess bereits besser Veränderungen in tonalen statt in atonalen Melodien (Lynch & Eilers, 1992).

Zusammengefasst bestehen bereits in der Beherrschungsphase basale Wahrnehmungsfähigkeiten für Tonalität, welche Vorläuferfähigkeiten für die spätere Entwicklung der komplexen musikalischen Fähigkeit bilden. Es stellt sich jedoch die Frage, wie und über welchen Entwicklungszeitraum sich diese intuitive basale Wahrnehmung hin zu einer stabilen komplexen Tonalitätspräferenz entwickelt.

Tonalitätspräferenz in der Imitationsphase. Ab Mitte der Imitationsphase bestehen erste Befunde für die komplexe musikalische Fähigkeit der Tonalitätspräferenz. Während 5- bis 6-jährige Kinder noch keine Präferenz für die Tonika als Schlussston einer tonalen Melodie äußern, wird die Tonika von 6- bis 10-jährigen Kindern bevorzugt (Maier-Karius & Schwarzer, 2011). Hervorzuheben ist an dieser Studie, dass die teilnehmenden Kinder ihre Präferenz mithilfe einer Skala verbalisierten. Dies ermöglicht bereits in Imitationsphase die Tonalitätspräferenz explizit zu messen. Gleichzeitig stellt dieser methodische Ansatz eine wertvolle Erweiterung der Blickzeitmessungen bei jüngeren Kindern dar, um die Entwicklung der Tonalitätspräferenz zu untersuchen.

In der Imitationsphase stehen die Veränderungen in der Wahrnehmung der Tonalität im Mittelpunkt der bisherigen Untersuchungen. Die umfangreichen Veränderungen dieser basalen musikalischen Fähigkeit scheinen der Tonalitätspräferenz voranzugehen. Während der Imitationsphase beginnen Kinder zu erlernen, welche Töne zu einer Tonart gehören (Trainor & Hannon, 2013). Dieses Lernen findet besonders durch alltägliche musikalische Exposition statt (Trainor & Hannon, 2013). Währenddessen setzt sich der Verarbeitungsvorteil für tonale Melodien fort (Trehub et al., 1986). Dies bedeutet, dass Veränderungen in tonalen Melodien von 4- und 5-jährigen Kindern besser erkannt werden als Veränderungen in atonalen Melodien (Trehub et al., 1986).

Im gleichen Alter können Kinder, ähnlich wie Erwachsene, Veränderungen von Melodien, die aus der Tonart herausführen, besser wahrnehmen als solche, die in der Tonart bleiben (Corrigall & Trainor, 2009). Hervorzuheben ist, dass diese Wahrnehmung von Tonalität bereits im Alter von 3 bis 6 Jahren durch musikalisches Training positiv beeinflusst wird (Corrigall & Trainor, 2010). Gegen Mitte der Imitationsphase können abweichende neuronale Reaktionen für harmonisch passende oder unpassende Akkordfolgen festgestellt werden (Koelsch et al., 2003). Dies legt nahe, dass ab 5 Jahren kognitive Repräsentationen von Tonalität existieren (Jentschke et al., 2005).

Hintergrund hierzu könnte sein, dass innerhalb der Imitationsphase tonale Regeln der westlichen Musik zunehmend verinnerlicht werden (Schwarzer et al., 1993). In Bezug auf die Wahrnehmung von Tonalität verbessert sich gegen Mitte der Imitationsphase die Differenzierung von melodischen

Veränderungen (Miyamoto, 2007). Hervorzuheben ist, dass nach den Regeln der Tonalität passende Schlusstöne besser erkannt werden, wenn die präsentierten Melodien mit Harmonien unterlegt werden (Serafine, 1988). Allerdings ist zu beachten, dass an dieser Stelle die Tonalitätswahrnehmung mit der Wahrnehmung der harmonischen Zugehörigkeit vermischt wird. Möglicherweise führt diese Konfundierung zu einem erleichterten Erkennen, was nicht nur auf tonalen Regeln basiert.

Zusammengefasst setzt sich die Spezialisierung der Wahrnehmung von Tonalität als basalen musikalische Fähigkeit in der Imitationsphase fort und es bestehen erste Hinweise für eine Tonalitätspräferenz. Jedoch basieren diese Hinweise auf der Präferenz für die Tonika als Schlussston von tonalen Melodien. Bisher fehlt es an Untersuchungen, die sowohl die Veränderungen in der Wahrnehmung von Tonalität als auch den möglichen Beginn der Tonalitätspräferenz in der Imitationsphase überprüfen.

1.3.2 Entwicklung der Konsonanzpräferenz

Definition der Konsonanzpräferenz. Ein grundlegendes Organisationsprinzip für Tonvorstellungsfähigkeiten sind Konsonanz und Dissonanz (Trainor & Unrau, 2012). Nach bisherigen empirischen Untersuchungen wird Konsonanz in der westlichen Musik mit Wohlklang und Dissonanz mit Rauheit assoziiert (Helmholtz, 1863). Hörende, die in der westlichen Musikkultur sozialisiert sind, bevorzugen die Auflösung von Rauheit in angenehm klingende Konsonanz (Kennedy et al., 2012). Die Idee eines Kontinuums zwischen Konsonanz und Dissonanz kann kompositorisch dazu genutzt werden, um Spannung (Dissonanz) und Spannungsauflösung (Konsonanz) zu erzeugen (Smith & Cuddy, 2003). Innerhalb des Kontinuums nimmt das Ausmaß an Konsonanz mit zunehmender Komplexität der Frequenzverhältnisse in Richtung Dissonanz ab. Frequenzverhältnisse charakterisieren das psychoakustische Schwingungsverhältnis, in dem die Teiltöne eines Intervalls zueinanderstehen. Komplexe Schwingungen zwischen Teiltönen verursachen einen rauen und reibungsvollen Klang, was bei dissonanten Intervallen mit komplexen Frequenzverhältnissen auftritt (Plomp & Levelt, 1965). Ein Beispiel für ein stark dissonant klingendes Intervall ist der Tritonus (Frequenzverhältnis 45:32). Je einfacher die

Frequenzverhältnisse sind, desto mehr Übereinstimmungen gibt es zwischen den Teiltönen (z.B. Quinte 3:2 und Oktave 2:1). Dies führt zu einem ruhigen und reinen Gleichklang in konsonanten Intervallen (Helmholtz, 1863).

Konsonanz kann in sensorische und musikalische Konsonanz unterteilt werden. Sensorische Konsonanz beschreibt das gleichzeitige Erklingen von Tönen in isolierten Akkorden oder Intervallen, ohne dass diese von weiteren Tönen begleitet werden (Trainor & Hannon, 2013). Dies spiegelt jedoch weniger die reale Hörumgebung wider als die musikalische Konsonanz, da Konsonanz im Alltag häufiger als Teil größerer Musikstücke vorkommt. Wenn Intervalle oder Melodien in Musikstücken in einem harmonischen Zusammenhang dargeboten, also begleitet werden, wird die musikalische Konsonanz untersucht. Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung der Präferenz für musikalische Konsonanz, um die Entwicklung der Konsonanzpräferenz als komplexe musikalischen Fähigkeit näher an der realen Hörumgebung von Kindern untersuchen zu können. Im Vergleich zur sensorischen Konsonanzpräferenz wurde die musikalische Konsonanzpräferenz im Kindesalter bisher nur wenig untersucht, was bei der Interpretation der bisherigen Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

Um ein tieferes Verständnis für die Entwicklung der Konsonanzpräferenz als komplexe musikalische Fähigkeit zu erlangen, wird die basale Wahrnehmung von kategorialen Unterschieden zwischen Konsonanz und Dissonanz als Vorläuferfähigkeit analysiert. Dies soll auch Aufschluss darüber geben, inwiefern die Kategorisierungsfähigkeit Ausdruck einer gemeinsamen basale Wahrnehmungsfähigkeit zwischen der zuvor beschriebenen Tonalitätspräferenz und der Konsonanzpräferenz ist.

Konsonanzpräferenz in der Metakognitionsphase. Im Erwachsenenalter gibt es starke Hinweise auf eine Konsonanzpräferenz, wenn die Erwachsenen im Rahmen ihrer musikalischen Entwicklung mit dem westlichen Musiksystem aufwuchsen (McDermott et al., 2010, 2016; Weiss et al., 2020). Allerdings werden in bisherigen Studien übermäßig viele weiße und gebildete Teilnehmende aus industrialisierten, reichen und demokratischen Kulturen untersucht (Henrich et al., 2010). Ihre Wahrnehmung und Präferenzen können sich jedoch erheblich von denen der übrigen Bevölkerung

unterscheiden. Nicht westlich sozialisierte Erwachsene wie die Tsimane – eine indigene Gesellschaft im Amazonasgebiet, die kaum Kontakt zur westlichen Musikkultur hat und in ihrer eigenen Musikkultur keine Akkorde verwenden – bewerten Konsonanz und Dissonanz in Akkorden und Gesängen als gleich angenehm (McDermott et al., 2016). Außerdem zeigen indische Erwachsene aus Pune eine größere Toleranz gegenüber Dissonanzen als kanadische Erwachsene aus Toronto (Maher, 1976). Dies könnte daran liegen, dass Intervalle in der indischen Musik eine andere Funktion haben und Dissonanzen positiver bzw. angenehmer konnotiert sind (Maher, 1976). Die kulturell unterschiedliche Verwendung von Einstellung zu Intervallen könnte wiederum zu kulturell unterschiedlich entwickelten Konsonanzpräferenz im Erwachsenenalter durch Sozialisation und Exposition führen.

Die basale musikalische Fähigkeit zur Wahrnehmung von Konsonanz und Dissonanz ist in der westlichen Musikkultur bei Erwachsenen in der Metakognitionsphase zugunsten der Konsonanz verzerrt. Demnach verarbeiten westliche Erwachsene einfache Frequenzverhältnisse (d.h. Konsonanz) schneller als dissonante komplexe Frequenzverhältnisse (Schellenberg & Trehub, 1994). Die schnellere Verarbeitung spiegelt sich auch in der schnelleren Wahrnehmung kleinere Veränderungen hin zu einem dissonanten Klang wider, da diese Veränderungen eine stärkere Abweichung von der sensorischen Konsonanz darstellen (Schellenberg & Trainor, 1996). Hinsichtlich der musikalischen Konsonanz zeigt sich, dass bei der Fortsetzung einer Reihe von konsonanten Intervallen zusätzliche konsonante Intervalle als ähnlicher wahrgenommen werden als dissonante Intervalle (Schellenberg & Trainor, 2002). Dies scheint unabhängig von der Größe (Abstand zwischen den Teiltönen des Intervalls) des neuen Intervalls zu sein (Schellenberg & Trainor, 2002).

Kurz zusammengefasst, zeigen Erwachsene am Ziel der musikalischen Entwicklung, die in der westlichen Musikkultur sozialisiert wurden, eine Konsonanzpräferenz und einen Verarbeitungsvorteil für Konsonanz. Für die vorliegende Arbeit ist es daher bedeutsam die Entwicklung dieser Präferenz zu untersuchen, um ein tieferes Verständnis für die Entstehung dieser komplexen musikalischen Fähigkeit zu erlangen.

Konsonanzpräferenz in der Beherrschungsphase. Einige Studien weisen darauf hin, dass die Entwicklung der Konsonanzpräferenz in der Beherrschungsphase zwischen 0 und 4 Jahre beginnt (siehe z.B. Masataka, 2006). Andere Studien weisen auf früh entwickelte basale Wahrnehmungsfähigkeiten hin, wodurch Säuglinge bereits in der Beherrschungsphase unterschiedlich auf Konsonanz und Dissonanz reagieren (Zentner & Kagan, 1996, 1998). Im Alter von 4 Monaten zeigen Säuglinge während des Hörens von konsonanten Akkorden weniger motorische Aktivität (z.B. Arm- und Beinbewegungen) und geringeres Vermeidungsverhalten (z.B. Abwenden von der Musikquelle) als bei dissonanten Akkorden (Zentner & Kagan, 1996, 1998). Im Alter von 6 Monaten betrachten Säuglinge die Musikquelle während der Darbietung von Konsonanz länger als bei Dissonanz, was zu der Schlussfolgerung führte, dass Konsonanz in der Beherrschungsphase hochgradig salient ist (Trainor & Heinmiller, 1998).

Allerdings basieren die meisten bisherigen Studien allein auf Blickzeitmessungen, wodurch eine längere Betrachtung der Musikquelle mit einer Präferenz gleichgesetzt wird. Dementsprechend wurde nicht klar zwischen basalen Wahrnehmungsfähigkeiten, wie z.B. der Kategorisierung von Konsonanz und Dissonanz als unterschiedliche musikalische Stimuli, und komplexen Präferenzen unterschieden. Laut Trehub (2012) führen Schlussfolgerungen über Präferenzen, die ausschließlich auf Blickzeitmessungen basieren, zu ungenauen oder falschen Annahmen über die Musikverarbeitung.

Frühere Befunde, die eine Konsonanzpräferenz bei 6-monatigen Säuglingen anhand von Blickzeitmessungen zeigen (Trainor & Heinmiller, 1998; Zentner & Kagan, 1996), sind bislang nicht replizierbar (Plantinga & Trehub, 2014). Daher entwickelten Plantinga und Trehub (2014) neue musikalische Stimuli, um mehr Überschneidung mit der alltäglichen musikalischen Umgebung der Säuglinge herzustellen und die Entwicklung der Präferenz für musikalische Konsonanz zu untersuchen. Allerdings besteht auch für die neu entwickelten Stimuli keine Konsonanzpräferenz im Alter von 6 Monaten. Stattdessen präferieren 6-monatige Säuglinge vertraute Stimuli, unabhängig davon ob vorab eine Exposition mit Konsonanz oder Dissonanz stattfindet (Plantinga & Trehub, 2014).

Ein möglicher Grund für diese widersprüchlichen Befunde in der Beherrschungsphase könnte die Veränderung der musikalischen Exposition zwischen den Erhebungszeitpunkten sein. Einen weiteren Erklärungsansatz könnte die kulturell unterschiedliche Zusammensetzung der Stichproben sein, weshalb teilnehmenden Säuglinge möglicherweise noch an genügend Erfahrung mit westlicher Musik fehlt (Plantinga & Trehub, 2014).

Studien zur Wahrnehmung von Konsonanz verweisen auf vergleichbare basale Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozesse von Konsonanz bei Säuglingen wie bei Erwachsenen (siehe z.B. Masataka, 2006). Ab dem 6. Lebensmonat können Säuglinge kleine Intervallveränderungen, die zu einer erhöhten Dissonanz führen, besser erkennen (Schellenberg & Trainor, 1996, 2002). Schellenberg und Trainor (2002) vermuten, dass die frühe Sensitivität für Konsonanz Säuglingen eine größere kognitive Kapazität verleiht, musikalische Veränderungen wahrzunehmen und darauf zu reagieren. Daher kann in der Beherrschungsphase eine Sensitivität für Konsonanz und Dissonanz gemessen werden, bevor Säuglinge über explizites Wissen über westliche Musikstrukturen verfügen (Trainor et al., 2002). Es wäre denkbar, dass die leichtere Verarbeitung von Konsonanz die Entwicklung einer komplexeren musikalischen Fähigkeit wie die Konsonanzpräferenz während der Enkulturation in die westliche Musikkultur begünstigt.

Im weiteren Verlauf der Beherrschungsphase zeigen Kinder zwischen 1,5 und 3,3 Jahren Konsonanz und Dissonanz unterschiedliche Aufmerksamkeit (Di Stefano et al., 2017). In einem neuen methodischen Ansatz konnten die Kinder mit einem musikalischen Spielzeug selbstständig eine konsonante oder dissonante Position einnehmen, wodurch sie entweder konsonante oder dissonante Stimuli hörten. Aus der unterschiedlich langen Hördauer schlossen Di Stefano und Kolleg:innen (2017), dass untersuchten Kinder Konsonanz und Dissonanz als unterschiedlich kategorisieren.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass Säuglinge bereits in der Beherrschungsphase Konsonanz wahrnehmen und darauf reagieren. Inwieweit es sich dabei um eine Präferenz handelt, ist jedoch unklar (Harrison & Pearce, 2020). Denn durch die mangelnde Differenzierung zwischen Wahrnehmung und Präferenz ist die Interpretation bisheriger Befunde erschwert. Derzeit fehlt es an methodischen

Ansätzen, die die frühen Wahrnehmungsfähigkeiten getrennt von der Konsonanzpräferenz untersuchen.

Konsonanzpräferenz in der Imitationsphase. Über die Entwicklung der Konsonanzpräferenz in der Imitationsphase (4 bis 9 Jahre) liegen nur begrenzte empirische Erkenntnisse vor, die im Wesentlichen auf zwei Studien basieren. Bestehende Erkenntnisse über die Präferenzentwicklung im Kindesalter stützen sich lange Zeit auf eine Studie von Valentine (1962) aus der Mitte des 20. Jahrhunderts: Im Alter von 11 Jahren geben Kinder auf einer Skala ihre Abneigung gegen Dissonanz an. Musikalisch geschulte Kinder, die bereits Instrumentalunterricht erhalten, bevorzugen Konsonanz jedoch bereits ab 9 Jahren in gleichem Maße wie Erwachsene (Valentine, 1962). Weiss und Kolleg:innen (2020) zeigen daran anknüpfend, dass sich das Ausmaß der Konsonanzpräferenz in Abhängigkeit vom Alter und der musikalischen Aktivität zwischen 6 und 10 Jahren verändert. Genauer gesagt nimmt die Konsonanzpräferenz mit dem Alter zu und wird durch musikalisches Training verstärkt (Weiss et al., 2020).

Bei der Interpretation beider Studien ist zu beachten, dass bei den teilnehmenden Kindern womöglich durch das halbe Jahrhundert zwischen den Erhebungen Unterschiede in der Musikexposition bestehen. Im Laufe der Kindheit sind Kinder im Alltag einem hohen Maß von Musik ausgesetzt (Mendoza & Fausey, 2021). Weiss und Kolleg:innen (2020) nehmen an, dass sich die Konsonanzpräferenz während der Kindheit auf Grundlage dieser Exposition entwickelt. Entwicklungsunterschiede in der Konsonanzpräferenz sind demnach auf Unterschiede im impliziten Wissen über Musik, begrenzte musikalische Exposition oder Unterschiede in der Verarbeitung der gewählten Stimuli zurückzuführen (Weiss et al., 2020).

Inwieweit die basale Fähigkeit, Konsonanz und Dissonanz als unterschiedliche Kategorien wahrzunehmen, von der Erfahrung mit Musik abhängt, ist noch unklar (Mendoza & Fausey, 2021). De Barbaro und Fausey (2022) vermuten, dass musikalische Erfahrungen und musikalische Exposition sich während der Kindheit verändern. Dies steht im Einklang mit der Annahme, dass die musikalische

Enkulturation, bei der sich Kinder zunehmend auf die sie umgebende Musikkultur spezialisieren, vor allem in dieser Zeitspanne stattfindet (Lynch et al., 1990). Es bestehen unterschiedliche Hinweise aus bisherigen Untersuchungen zum Zeitpunkt, ab wann Kinder die wahrgenommenen Unterschiede zwischen Konsonanz und Dissonanz als explizite Kategorisierung zeigen. Neben ersten Hinweisen in der Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) bestehen in der Imitationsphase hingegen Hinweise darauf, dass sich die basale Fähigkeit zwischen Konsonanz und Dissonanz zu unterscheiden erst ab dem Alter von 9 Jahren verbessert (Valentine, 1962).

Zusammenfassend ist für die Entwicklung der Konsonanzpräferenz festzuhalten, dass Erwachsene, die in der westlichen Musikkultur aufgewachsen sind, eine ausgeprägte Konsonanzpräferenz zeigen. Tatsächlich wird Konsonanz bereits in der Beherrschungsphase von Säuglingen wahrgenommen. Es wäre jedoch ein Trugschluss, daraus bereits in der Beherrschungsphase einer Konsonanzpräferenz als komplexe musikalische Fähigkeit abzuleiten. Wahrscheinlicher ist, dass die basale Wahrnehmung von Konsonanz in der Beherrschungsphase eine expositionsabhängige Vorläuferfähigkeit für die Entwicklung der Konsonanzpräferenz darstellt. Dabei entwickelt sich die frühe Sensitivität für Konsonanz, welche Säuglingen die Wahrnehmung von Konsonanz ermöglicht, in Abhängigkeit von der musikalischen Exposition später zu einer Konsonanzpräferenz. Trotz erster Hinweise auf früh entwickelte basale Fähigkeiten zur Wahrnehmung scheint sich die Entwicklung der Konsonanzpräferenz bis in die späte Imitationsphase hinein zu verändern, bevor sie einer gegenüber Exposition robusten Konsonanzpräferenz im Erwachsenenalter gleicht.

1.4 Ziele

Insgesamt deuten bisherige Studien darauf hin, dass sich basale musikalische Fähigkeiten bereits in der Beherrschungsphase entwickeln, und zwar sowohl für zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten als auch für Tonvorstellungsfähigkeiten. Genauer gesagt können Säuglinge bereits Veränderungen von Rhythmen entdecken, Synchronizität wahrnehmen, und Veränderungen in Tonalität und Konsonanz erkennen. Es dauert jedoch mehrere Jahre, bis Kinder Rhythmen genau reproduzieren, ihre eigenen

Bewegungen synchronisieren oder eine Tonalitäts- oder Konsonanzpräferenz klar äußern. Bislang ist unklar, ob die frühen basalen Wahrnehmungsfähigkeiten die langanhaltende Entwicklung von komplexen musikalischen Ausführungen (Reproduktion und Synchronisation) bzw. Äußerungen (Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz) unterstützen.

Diese Unklarheit könnte darauf zurückzuführen sein, dass es nur eine geringe Anzahl an empirischen Untersuchungen in der Mitte der Imitationsphase (4 bis 9 Jahre) gibt, in denen die Entwicklung über mehrere aufeinander folgenden Altersgruppen untersucht wird. Besonders deutlich wird dies daran, dass der Fokus bisheriger Untersuchungen auf der Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) und sowie auf Erwachsenen in der Metakognitionsphase lag. Dabei ist es unwahrscheinlich, dass in der frühesten Kindheit und der späten Kindheit allein entscheidende Erkenntnisse gewonnen werden können, welche die gesamte Kindheit überdauern. Studien mit teilnehmenden Kindern in der Imitationsphase könnten in dieser Hinsicht vielversprechend sein, um die Enkulturation als Erklärungsansatz für die Entwicklung von zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten und von Tonvorstellungsfähigkeiten genauer zu untersuchen (Miyamoto, 2007).

Ein weiterer Grund für die Unklarheiten zur späten Entwicklung von komplexen zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten und von Tonvorstellungsfähigkeiten liegt darin, dass die Rolle basaler musikalischer Fähigkeiten in bisherigen Studien kaum untersucht wurde. Dies ist jedoch notwendig, um die Verbindungen zwischen früh messbaren basalen Fähigkeiten und sich später entwickelnden komplexen musikalischen Fähigkeiten analysieren zu können. Die aus dieser Analyse gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen für die vorliegende Arbeit ein vertieftes theoretisches Verständnis der musikalischen Entwicklung und gezieltere Förderansätze.

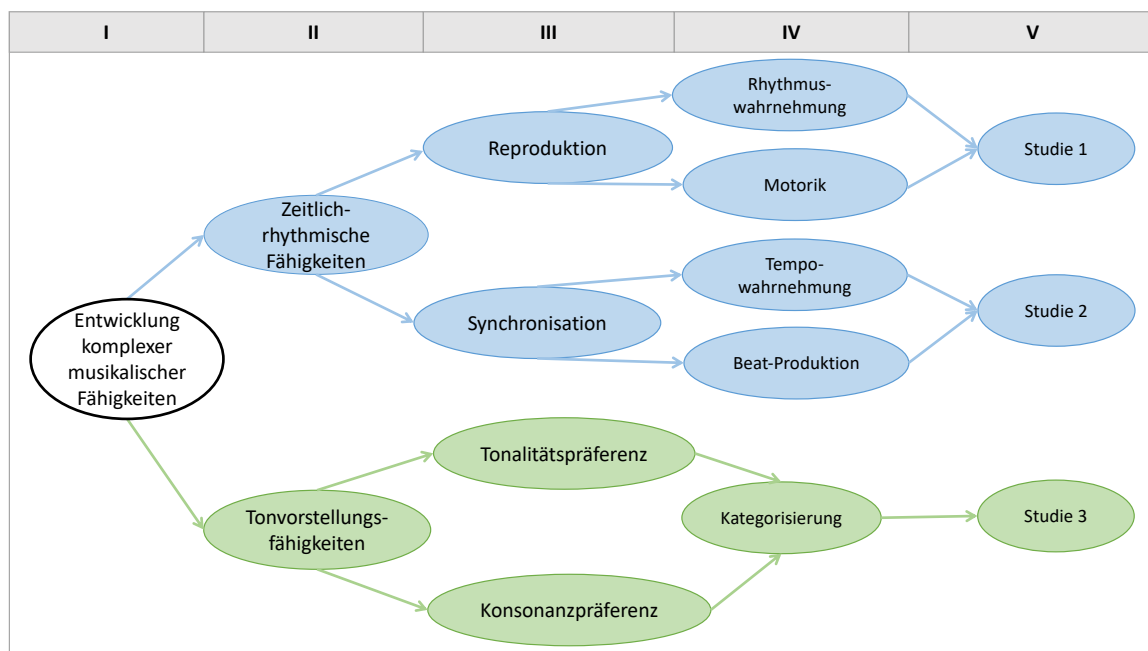
Um den beschriebenen Unklarheiten zu begegnen, wurden in der vorliegenden Arbeit querschnittliche Untersuchungen mit aufeinander folgenden Altersgruppen aus der Imitationsphase des Spiralmodells gewählt. Das Querschnittsdesign ermöglicht es, auf der Grundlage des Spiralmodells Unterschiede und Gemeinsamkeiten in vier komplexen musikalischen Fähigkeiten (Reproduktion, Synchronisation, Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz) zwischen den Altersgruppen zu identifizieren. In

der vorliegenden Arbeit wurde die Altersgruppe der 4- bis 8-jährigen Kinder untersucht, da sich die vier musikalischen Fähigkeiten in der Imitationsphase besonders stark verändern. Durch die Wahl dieser Altersgruppe wird eine Brücke zwischen der frühen basalen Wahrnehmungsentwicklung in der Beherrschungsphase und den Fähigkeiten von Erwachsenen in der Metakognitionsphase geschlagen.

Insgesamt soll die vorliegende Arbeit neue Erkenntnisse auf die Frage liefern, wie sich komplexe zeitlich-rhythmische Fähigkeiten und komplexe Tonvorstellungsfähigkeiten in der Imitationsphase entwickeln und in welcher Beziehung sie zu basalen Fähigkeiten stehen. Das Pfaddiagramm in Abbildung 3 zeigt auf fünf Ebenen wie die methodische Annäherung an die Fragestellung erfolgt. Die Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten (Ebene I) wird anhand der Entwicklung zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten und Tonvorstellungsfähigkeiten (Ebene II) durch drei Studien (Ebene V) unabhängig voneinander untersucht.

Abbildung 3

Pfade zur methodischen Annäherung an die Ziele der Dissertation



Anmerkung. Die Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten wird auf Ebene II in zeitlich-rhythmische Fähigkeiten (blau) und Tonvorstellungsfähigkeiten (grün) aufgeteilt. In Ebene III sind die untersuchten komplexen musikalischen Fähigkeiten dargestellt. Die Ebene IV enthält die jeweils untersuchten basalen Fähigkeiten und die zusätzlich analysierten Kontrollvariablen (Motorik und Beat-Produktion). In Ebene V sind die vorherigen Pfade den drei durchgeführten Studien zugeordnet.

Das Ziel für die Untersuchung zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten besteht darin zu prüfen, wie sich die komplexen Fähigkeiten der Reproduktion (Studie 1) und der Synchronisation (Studie 2) entwickeln. Zu diesem Zweck bauen beide Studien auf bestehenden methodischen Ansätzen früherer Studien auf und sollen diese um Erkenntnisse mit älteren teilnehmenden Kindern und Erwachsenen erweitern. Die Wahrnehmung rhythmischer Unterschiede wird als basale Fähigkeit für die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit und die Entwicklung motorischer Fähigkeiten als weitere Kontrollvariable untersucht. Anschließend wird in Studie 2 die Entwicklung der Synchronisation als komplexe musikalische Fähigkeit analysiert, wozu die Wahrnehmung von Tempounterschieden als basale musikalische Fähigkeit und die Beat-Produktion als Kontrollvariable ausgewählt werden. In Abbildung 3 (Seite 42) ist das Ziel für zeitlich-rhythmische Fähigkeiten durch die blauen Kreise nachzuverfolgen.

Im Rahmen des Ziels der Entwicklung komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten wird untersucht, wie sich die Tonalitäts- und die Konsonanzpräferenz entwickeln. Zur Annäherung an dieses Ziels liegt in Studie 3 der Schwerpunkt auf der Entwicklung und Erprobung eines neuen methodischen Ansatzes. Dieser methodische Ansatz ermöglicht es, Präferenzen und Wahrnehmungsprozesse getrennt voneinander zu erfassen. Auf diese Weise können Veränderungen in der basalen Fähigkeit zur Wahrnehmung von kategorialen Unterschieden (zwischen tonal und atonal bzw. konsonant und dissonant) analysiert und deren Stellenwert für die Präferenzentwicklung überprüft werden.

Zusammenfassend ist das Ziel dieser Arbeit die Vertiefung des Verständnisses von komplexen musikalischen Fähigkeiten, die sich in der späten Enkulturation entwickeln. Hierzu bietet die vorliegende Arbeit die Möglichkeit sowohl einen Einblick in die Entwicklung komplexer zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten als auch in die Entwicklung komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten. Zu diesem Zweck werden in den folgenden Kapiteln drei Studien vorgestellt, die die Entwicklung der Reproduktion, der Synchronisation, der Tonalitäts- und der Konsonanzpräferenz anhand von umfangreichen Stichproben darstellen. Ein großer Nutzen der vorliegenden Arbeit besteht darin, dass darüber hinaus für alle vier komplexen musikalischen Fähigkeiten basale Fähigkeiten untersucht werden, die für die Veränderungen während der Entwicklung relevant sein könnten.

2 Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit (Studie 1)

Eine ähnliche Version dieses Kapitels wird zur Veröffentlichung vorbereitet.

Will, J. K., Frieler, K., Polak, R. & Degé, F. (in Vorbereitung) The Development of Rhythm Reproduction in 5- to 8-year-old Children: Exploring the Aspects of Rhythm Perception and Motor Skills.

2.1 Hintergrund

Wie bereits in der Einleitung dargestellt, verbessert sich die komplexe musikalische Fähigkeit zur Reproduktion von Rhythmen in der Imitationsphase erheblich (Davidson & Colley, 1987; Drake & Gérard, 1989; Miyamoto, 2007). Dabei ist jedoch zu beachten, dass in den bisherigen Untersuchungen unterschiedliche Antwortformen, wie z.B. Trommeln oder Tippen, zur Reproduktion verwendet wurden. Gooding und Standley (2011) weisen darauf hin, dass die Genauigkeit der Reproduktionsfähigkeit mit der gewählten Antwortform zusammenhängt. Aus bisherigen Studien mit Erwachsenen lässt sich ableiten, dass unabhängig von Alter und Familiarität perkussive Antwortformen (z.B. Klatschen oder Trommeln) eine genauere Reproduktion ermöglichen als Verhaltensformen mit weniger präzisen Ereignisanfängen wie Sprechen (Danielsen et al., 2019; Marcus, 1981; Morton et al., 1976; Yu et al., 2023). Ein systematischer Vergleich mehrerer Antwortformen zwischen aufeinander folgenden Altersgruppen in der Kindheit und im Erwachsenenalter fehlt jedoch bislang, um diese Hypothese während der Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit zu überprüfen.

Die im vorherigen Absatz beschriebenen Antwortformen stellen besonders im Kindesalter unterschiedliche motorische Herausforderungen dar. Die Sprachmotorik ist bei Kindern bereits weit entwickelt (Coplan, 1995). Dies könnte zu der Annahme führen, dass Kinder aufgrund der geringeren motorischen Herausforderung, Rhythmen durch Nachsprechen genauer reproduzieren können als bei anderen Antwortformen. Aufgrund der oben beschriebenen unpräzisen Ereignisanfänge in der aufgezeichneten Rhythmuswiedergabe könnte dies jedoch bei der Auswertung verzerrt werden. Während Kinder die Sprachmotorik bereits beherrschen und anwenden (d.h. sprechen), dauert die Entwicklung

feinmotorischer Fähigkeiten noch länger an (Bukato & Deahler, 2012). Das Tippen mit dem Zeigefinger auf eine Trommel erfordert jedoch eine gewisse Feinmotorik und Handgeschicklichkeit, um mit dem Zeigefinger in kleinen Bewegungen rechtzeitig die Trommel zu treffen. Daher könnte die Reproduktion in der Antwortform des Tippens eine größere motorische Herausforderung darstellen. Der enge Zusammenhang zwischen rhythmischer und motorischer Entwicklung wird in bisherigen Studien immer wieder vermutet (Drake, 1997; McAuley et al., 2006; Trainor & Hannon, 2013). Dennoch mangelt es in bisherigen Studien zur Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit an einer Berücksichtigung der motorischen Fähigkeiten als Kontrollvariable. Es ist vorstellbar, dass allgemeine Entwicklungsprozesse wie die der motorischen Fähigkeiten die Genauigkeit der Rhythmusreproduktion beeinflussen oder gar vorhersagen könnten.

Bisherige Studien in der Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) zeigen, dass Säuglinge durch frühe Enkulturation bereits im ersten Lebensjahr Rhythmen wahrnehmen (Trehub & Hannon, 2009) und Unterschiede in rhythmischen Sequenzen kategorisieren können (Hannon & Johnson, 2005; Trehub & Thorpe, 1989). Im weiteren Verlauf der Kindheit verbessert sich die Wahrnehmung von rhythmischen Unterschieden (Ellis, 1992). Dabei wird die Rhythmuswahrnehmung durch den anhaltenden Enkulturationsprozess zunehmend feiner für gewohnte Rhythmen aus der umgebenden Musikkultur (Miyamoto, 2007; Nave-Blodgett et al., 2021b; Reifinger, 2006). Es ist jedoch unklar, welche Rolle die bereits früh entwickelte basale Fähigkeit der Rhythmuswahrnehmung für die komplexere musikalische Reproduktionsfähigkeit spielt, die sich später in der Imitationsphase (4 bis 9 Jahre) entwickelt. Da die Rhythmuswahrnehmung als Grundlage für die Reproduktion von Rhythmen notwendig ist, könnte eine verbesserte Rhythmuswahrnehmung auch mit einer genaueren Reproduktion von Rhythmen einhergehen.

2.2 Ziele

Zuerst soll Studie 1 dazu dienen herauszufinden, wie sich durch anhaltende Enkulturation die komplexe musikalische Fähigkeit zur Reproduktion entwickelt. Zur Annäherung an dieses erste Ziel

wird die Genauigkeit der Reproduktion von 5- bis 8-jährige Kinder untersucht, um entwicklungsbedingte Veränderungen zu identifizieren und diese mit einer Kontrollgruppe aus Erwachsenen zu vergleichen.

Das zweite Studienziel besteht darin, aufzuzeigen, welche Rolle die früh entwickelte basale Fähigkeit zur Rhythmuswahrnehmung für die Entwicklung der komplexen Reproduktionsfähigkeit spielt. Neben dieser basalen musikalischen Fähigkeit werden motorische Fähigkeiten als Kontrollvariablen berücksichtigt. Dies soll dazu dienen Veränderungen zwischen den Altersgruppen zu analysieren und deren Zusammenhang mit der Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit zu überprüfen. Durch beide Schritte wird überprüft, ob die späte Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit auf der Rhythmuswahrnehmung und bzw. oder den motorischen Fähigkeiten beruht.

Es mangelt bisher an einem systematischen Vergleich von Antwortformen, in denen Rhythmen reproduziert werden. Als drittes Studienziel soll daran angesetzt werden, weshalb für Studie 1 fünf Antwortformen ausgewählt und miteinander verglichen werden. Die Antwortformen umfassen Klatschen, Tippen, Sprechen, Trommeln in einem akustischen Setting (auditive Vorgabe) und Trommeln in einem sozialen Setting (auditive und visuelle Vorgabe).

Als letztes Studienziel werden Kontexteffekte zwischen akustischer (auditive Vorgabe) und sozialer Darbietung (auditive und visuelle Vorgabe) untersucht. In Studie 1 soll diesbezüglich analysiert werden, inwiefern sich für die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit eine intersensorische Erleichterung durch die gepaarte auditive und visuelle Darbietung zeigt.

2.3 Methode

Vor der Studiendurchführung wurde für die Stichprobe der Kinder von der Ethikkommission der Max-Planck-Gesellschaft eine Genehmigung eingeholt (Antrag: 2019_25). Für die Stichprobe der Erwachsenen lag bereits die Rahmengenemigung des Max-Planck-Instituts für Empirische Ästhetik ein positives Votum vor, weshalb kein gesonderter Antrag für Studie 1 erforderlich war. Die Datenerhebung wurde über eine Dauer von 10 Monaten von Oktober 2021 bis Juli 2022 durchgeführt.

2.3.1 Stichprobe

Familien mit 5- bis 8-jährigen Kindern im Raum Frankfurt und Gießen in Deutschland erhielten über ihren Kindergarten, Nachmittagsbetreuung oder ihre Grundschule Einladungsbriefe zur Teilnahme an Studie 1. Die Einrichtungen wurden gebeten, die Briefe ohne vorherige Selektion an alle Familien in der Zielaltersgruppe zu verteilen. Einzige Ausschlusskriterien waren Einschränkungen in der Hörfähigkeit und motorische Beeinträchtigungen. Tabelle 1 zeigt die Charakteristika der Teilnehmenden.

Tabelle 1

Charakteristika der Stichprobe Studie 1

	5-Jährige	6-Jährige	7-Jährige	8-Jährige	Erwachsene
Alter (in Monaten)	$M = 65.41$ ($SD = 3.51$)	$M = 77.31$ ($SD = 3.01$)	$M = 89.34$ ($SD = 3.80$)	$M = 100.69$ ($SD = 3.35$)	$M = 270.76$ ($SD = 56.13$)
Geschlecht	23 w/ 6 m/ 0 d	19 w/ 10 m/ 0 d	28 w/ 19 m/ 0 d	20 w/ 16 m/ 0 d	26 w/ 32 m/ 1 d
Musikunterricht (in Monaten)	$M = 1.61$ ($SD = 4.22$)	$M = 2.57$ ($SD = 9.44$)	$M = 2.66$ ($SD = 6.37$)	$M = 2.50$ ($SD = 8.38$)	$M = 55.27$ ($SD = 63.14$)
Musikhören (in Stunden/ Woche)	$M = 3.72$ ($SD = 0.79$)	$M = 3.28$ ($SD = 0.98$)	$M = 3.47$ ($SD = 0.55$)	$M = 3.58$ ($SD = 0.65$)	$M = 3.44$ ($SD = 0.89$)
Musizieren	62 %	62 %	37 %	40 %	55 %
Freizeitaktivitäten (in Monaten)	$M = 14.82$ ($SD = 13.35$)	$M = 24.91$ ($SD = 21.65$)	$M = 32.84$ ($SD = 27.14$)	$M = 38.33$ ($SD = 32.47$)	$M = 139.98$ ($SD = 89.44$)
Elterliche Bildung: Universitätsabschluss	38 % keine(r) 21 % eine(r) 14 % beide	25 % keine(r) 21 % eine(r) 54 % beide	52 % keine(r) 20 % eine(r) 28 % beide	43 % keine(r) 37 % eine(r) 20 % beide	46 % keine(r) 17 % eine(r) 37 % beide
Familieneinkommen (pro Monat)	0 % A 5 % B 18 % C 18 % D 18 % E 41 % F	0 % A 0 % B 13 % C 25 % D 8 % E 54 % F	3 % A 3 % B 23 % C 28 % D 25 % E 18 % F	0 % A 3 % B 12 % C 24 % D 24 % E 37 % F	0 % A 13 % B 15 % C 18 % D 31 % E 23 % F
Geburt Deutschland	100 %	97 %	94 %	97 %	92 %
Muttersprache	72 % Deutsch	81 % Deutsch	81 % Deutsch	87 % Deutsch	92 % Deutsch

Anmerkung. Abkürzung Geschlecht: w= weiblich, m = männlich, d = divers. Abkürzungen Familieneinkommen pro Monat: A = unter 1000€, B = 1000 – 2000€, C = 2000 – 3000€, D = 3000 – 4000€, E = 4000 – 5000€, F = über 5000€.

Die analysierte Stichprobe beinhaltet $N = 200$ (116 weibliche) Teilnehmende, die in 5-jährige Kinder ($n = 29$), 6-jährige Kinder ($n = 29$), 7-jährige Kinder ($n = 47$) und 8-jährige Kinder ($n = 36$) sowie Erwachsene ($n = 59$) aufgeteilt sind.

Die Studie fand für die teilnehmenden Kinder in ihren Kindergärten, Nachmittagsbetreuungen oder Grundschulen statt. Dazu wurde ein ruhiger Raum an einem ihnen vertrauten Ort gewählt, um die Auswirkungen ungewohnter Testsituationen zu verringern. Die Kontrollgruppe, bestehend aus erwachsenen Teilnehmenden zwischen 18 und 30 Jahren, wurde über Mailinglisten von Universitäten in Süd- und Mitteldeutschland eingeladen. Die Datenerhebung fand an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg am Standort in Erlangen und am Max-Planck-Institut für Empirische Ästhetik in Frankfurt am Main statt.

2.3.2 Materialien

Reproduktion. Um die Rhythmusreproduktionsfähigkeit zu erfassen, wurde ein unveröffentlichtes Testverfahren namens *Rhythmusnachspiel* verwendet, das Bestandteil des Musik-Screening-Verfahrens Teil 1 von Jungbluth und Hafen (2005) ist. Der Originaltest umfasst zehn Rhythmen, die mit der Klangfarbe eines Klaviers präsentiert wurden. Aufgabe der Teilnehmenden war es, die einzelnen Rhythmen so genau wie möglich wiederzugeben. Jeder Rhythmus dauert einen Viervierteltakt (69 bpm) und besteht aus Viertelnoten, Achtelnoten, Sechzehntelnoten, punktierten Noten, Synkopen oder einer Kombination dieser Noten. Die Rhythmen aus dem Musik-Screening-Verfahren (Jungbluth & Hafen, 2005) sind im Anhang B (Seite 203) zusammengetragen.

Da das Musik-Screening-Verfahren (Jungbluth & Hafen, 2005) nur eine Version von zehn Rhythmen enthält, wurden weitere Versionen zur Messung der verschiedenen Antwortformen benötigt. Zu diesem Zweck wurden für die bestehenden Rhythmen jeweils drei parallele Versionen pro Rhythmus erstellt. Abbildung 4 (Seite 49) zeigt exemplarisch alle Parallelversionen des vierten Rhythmus. Jeder parallele Rhythmus besteht aus denselben Noten wie der Originalrhythmus, nur die Reihenfolge der einzelnen Noten ist unterschiedlich. Markante Muster wurden als rhythmische Figuren

(z. B. zwei Sechzehntelnoten im vierten Rhythmus) dabei auf verschiedene Zählzeiten verschoben, um die Parallelversionen vergleichbar zu halten.

Die genaue Betrachtung von Rhythmus 1 und Rhythmus 4 aus dem Musik-Screening-Verfahren (Jungbluth & Hafen, 2005) in Anhang B (Seite 203) zeigt, dass sich die beiden Rhythmen bei der Erstellung von Parallelversionen entsprechen würden. Aus diesem Grund wurde der vierte Rhythmus um eine Viertelnote verlängert und ausgehend von diesem verlängerten Rhythmus die neuen Versionen erstellt (Abbildung 4). Durch die Verlängerung des vierten Rhythmus zwecks Diskrimination vom ersten Rhythmus wäre noch eine fünfte Version möglich gewesen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit im Design, wurde jedoch auf die Erstellung verzichtet.

Abbildung 4

Erstellung der neuen rhythmischen Versionen

Anmerkung. Notenbeispiel zur Erstellung der neuen rhythmischen Versionen für den vierten Rhythmus, welcher aus vier Viertelnoten und zwei Achtelnoten besteht. Durch die Verlängerung des Rhythmus um eine Viertelnote, um diesen vom ersten Rhythmus der Aufgabe abzugrenzen, ergibt sich ein dreiviertel Takt. Den restlichen neun Rhythmen und deren Versionen liegt ein viertel Takt zugrunde.

Die verbleibenden 9 Originalrhythmen wurden in ihrer Länge nicht verändert und den Teilnehmenden in der Reihenfolge von 1 bis 10 präsentiert, wie im dem Musik-Screening-Verfahren (Jungbluth & Hafen, 2005). Da der fünfte Rhythmus aus vier Viertelnoten und der neunte Rhythmus aus acht Achtelnoten bestand, konnten für diese Rhythmen keine Parallelversionen wie zuvor beschrieben erstellt werden. Sowohl der fünfte als auch der neunte Rhythmus wurden in allen Antwortformen unverändert gegenüber der Originalversion in Anhang B (Seite 203) präsentiert. Für die Reproduktionsaufgabe liegen keine Gütekriterien vor.

Rhythmuswahrnehmung. Zur Überprüfung der Rhythmuswahrnehmung wurde auf die Diskriminationsaufgabe „Rhythmische Figuren vergleichen“ aus der ersten Version des Musik-Screening-Verfahren von Jungbluth und Hafen (2005) zurückgegriffen. Innerhalb von 10 Aufgaben wurden jeweils zwei rhythmische Trommelsequenzen miteinander verglichen. Dabei wurden die Trommelsequenzen von einer blauen, einer roten und einer gelben Trommel mit jeweils unterschiedlichen Klängen vorgelesen. Einen Höreindruck dieser unterschiedlichen Klänge konnten die Teilnehmenden in zwei Übungsaufgaben gewinnen. Die Teilnehmenden wurden gebeten sich die ersten Töne zu merken und nach der zweiten Trommelsequenz potentielle Unterschiede anzugeben. Unterstützt durch die Versuchsleitung wurden die Entscheidungen auf einem Antwortbogen notiert. Dazu wurde angekreuzt, ob beide Trommelsequenzen identisch waren oder es Unterschiede gab. Wenn die Teilnehmenden Unterschiede zwischen den Rhythmen wahrnahmen, dann wurde anschließend notiert bei welcher der drei Trommeln eine Veränderung stattfand. Für die Aufgabe zur Rhythmuswahrnehmung bestehen keine Angaben zu Gütekriterien.

Motorik. Die motorischen Fähigkeiten wurden mit der Movement Assessment Battery for Children - 2 (M-ABC-2, Petermann, 2009) gemessen. Der M-ABC-2 ermöglicht einen Einblick in drei verschiedene motorische Bereiche: Handgeschicklichkeit, Ballfertigkeiten und Gleichgewichtsfähigkeiten. Da die Stichprobe eine Altersspanne von 5- bis 8-jährigen Kindern und Erwachsenen umfasst, wurden gemäß dem Manual drei verschiedenen Versionen des M-ABC-2 durchgeführt. Dazu wurden die motorischen Fähigkeiten der 5- bis 6-jährigen Kinder mit der ersten Version getestet und die 7- bis 8-jährigen Kinder mit der zweiten Version. Die Kontrollgruppe aus Erwachsenen wurde mithilfe der dritten Version untersucht. Die Untertests der drei motorischen Bereiche (Handgeschicklichkeit, Ballfertigkeiten und Gleichgewichtsfähigkeiten) unterscheiden sich zwischen den Versionen. Diese Unterschiede gehen auf eine Erhöhung des Schwierigkeitsgrades zurück, um jüngere Teilnehmende nicht zu überfordern und ältere Teilnehmende nicht zu unterfordern. Da der M-ABC-2 im Vergleich zu Musik-Screening-Verfahren bereits publiziert und normiert wurde, liegt für den Gesamttestwert des M-ABC-2 eine Retest-Reliabilität von $r = .80$ vor. Überprüfungen der Kriteriumsvalidität bei Kindern, bei denen

zuvor eine umschriebene Entwicklungsstörung der motorischen Funktionen diagnostiziert worden war, ergaben einen mittleren Gesamtwert von 5.56 Standardpunkten und damit eine Einstufung als behandlungsbedürftig.

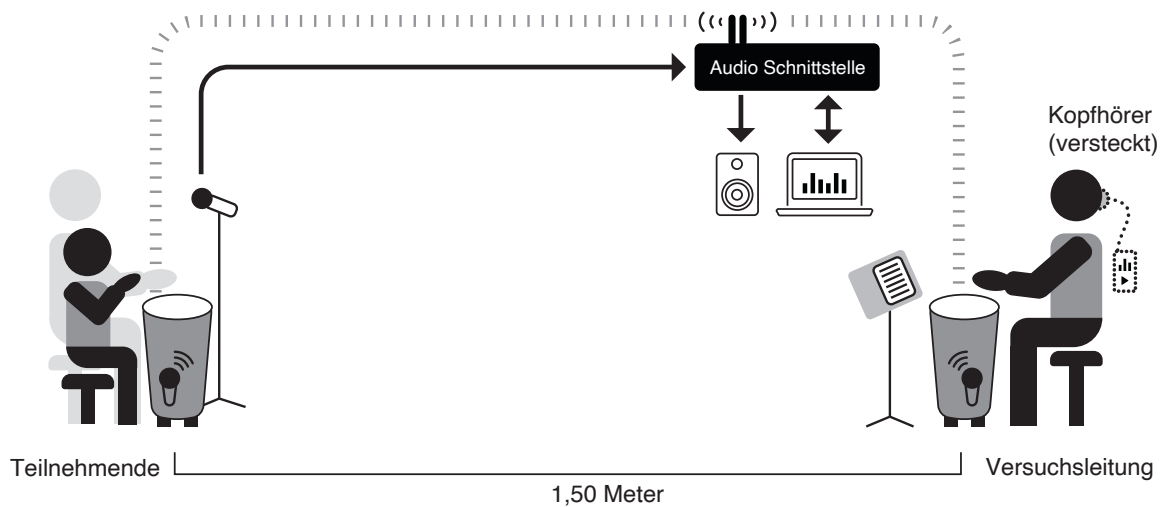
Weitere Kontrollvariablen. Alle Kontrollvariablen wurden mit einem Fragebogen erhoben. Dieser Fragebogen wurde von den Eltern der teilnehmenden Kinder entweder vorab zuhause ausgefüllt oder von den Erwachsenen Teilnehmenden am Ende der Testung. Für den Fragebogen zur Erhebung der Kontrollvariablen (musikalische Vorerfahrung, der sozioökonomische Status und der kulturelle Hintergrund) bestehen keine Angaben zu den Gütekriterien. Die musikalische Erfahrung wurde anhand des Musikunterrichts (Dauer in Monaten), des Musikhörens (Stunden pro Woche) und des gemeinsamen Musizierens zu Hause (Tage pro Woche) gemessen. Der Umfang der nicht-musikalischen außerschulischen Aktivitäten wurde für alle Teilnehmenden als Dauer in Monaten erfasst. Der sozioökonomische Status aller Teilnehmenden wurde als monatliches Familieneinkommen in 1000€-Schritten gemessen, das von unter 1000€ bis zu mehr als 5000€ reichte. Darüber hinaus wurden die Eltern der teilnehmenden Kinder nach ihrem Bildungsstand befragt (d. h. kein Hochschulabschluss, ein Abschluss von einem Elternteil, beide Elternteile mit Hochschulabschluss). In der Erwachsenenstichprobe wurden die Teilnehmenden zusätzlich gebeten, ihr eigenes Einkommen und ihr Bildungsniveau anzugeben. Der kulturelle Hintergrund wurde anhand des Geburtslandes und der Muttersprache ermittelt.

2.3.3 Versuchsaufbau

Zur Messung der Reproduktionsfähigkeit saßen die Versuchsleitung und die Teilnehmenden mit einem Abstand von 1.50 Metern hinter zwei identischen Trommeln. Abbildung 5 (Seite 52) zeigt den Versuchsaufbau von Studie 1. Die Datenerhebung fand jeweils als Einzeltestungen statt. Jede Trommel (Höhe 56.00 cm, Durchmesser 25.40 cm) war im Innenraum mit einem Mikrofon ausgestattet, welches das Signal als separate Tonspuren über eine Audio Schnittstelle an einen Computer sendete.

Abbildung 5

Versuchsaufbau zur Messung der Reproduktionsfähigkeit



Anmerkung. Die Zielrhythmen wurden für 5 verschiedenen Antwortformen präsentiert und anschließend durch die Teilnehmenden reproduziert. In der Antwortform Trommel – Sozial trug die Versuchsleitung einen versteckten Kopfhörer um die Zielrhythmen vor der Präsentation anzuhören. Während der Präsentation konnte die Versuchsleitung die Rhythmen auf einem Notenständer betrachten, der jedoch nicht für die Teilnehmenden einsehbar war. In allen anderen Antwortformen wurden die Rhythmen durch das Radio (versteckter Lautsprecher) vorgegeben. Die erzeugten Antworten wurden in den Antwortformen Trommeln – Akustisch, Trommel – Sozial und Tippen über latenzfreie drahtlose Funkverbindungen (gestrichelte Linien) und in den restlichen Antwortformen über eine Kabelverbindung von dem Standmikrofon an die Audio Schnittstelle übertragen.

Die Tonspur aus der Trommel der Versuchsleitung wurde für die Auswertung der Antwortform *Trommeln - Sozial* verwendet. In dieser Antwortform wurden die Rhythmen von der Versuchsleitung durch Trommeln präsentiert und anschließend durch die Teilnehmenden reproduziert. In den Antwortformen *Trommeln – Akustisch* und *Tippen* wurden hingegen die Tonspuren aus der Trommel der teilnehmenden Person mit der durch das Radio präsentierten Aufnahme verglichen. Bei den verbleibenden Antwortformen *Klatschen* und *Sprechen* wurde die Reproduktion der Rhythmen durch ein Standmikrofon, welches direkt neben der Trommel der Teilnehmenden stand, aufgezeichnet und wie die vorherigen Antwortformen mit den durch das Radio abgespielten Originalrhythmen abgeglichen.

Alle Tonspuren wurden mithilfe des Programms REAPER (Cockos Inc., 2021) aufgenommen und die Lautstärke während der Datenerhebung durch das Programm Focusrite Control (Expressive, 2021) zwischen den Teilnehmenden einheitlich gehalten. Die Erhebung der motorischen Fähigkeiten fand in einem separat aufgebauten Parkour statt. Zur Messung der Rhythmuswahrnehmung saßen die Versuchsleitung und die teilnehmende Person an einem Tisch außerhalb des in Abbildung 5 (Seite 52) dargestellten Versuchsaufbaus.

2.3.4 Versuchsdurchführung

Die Daten wurden in zwei separaten Teilen erhoben. Für die erwachsenen Teilnehmenden fanden beide Teile am selben Tag statt. Dazwischen lag eine kurze Pause. Für die 5- bis 8-jährigen Kinder erfolgte die Datenerhebung beider Teile an zwei verschiedenen Tagen. Jeder Teil dauerte 30 Minuten. Im ersten Teil wurden die motorischen Fähigkeiten und im zweiten Teil die rhythmischen Fähigkeiten (Wahrnehmung und Reproduktion) untersucht. Vor Beginn der ersten Sitzung wurden die Eltern mit ihren Kindern und die erwachsenen Teilnehmenden über das Studienverfahren informiert und gaben ihre Zustimmung zur Teilnahme.

Im ersten Teil wurden die motorischen Fähigkeiten mit der Movement Assessment Battery for Children - 2 (M-ABC-2, Petermann, 2009) getestet. Es wurde mit der Messung der Handgeschicklichkeit begonnen, gefolgt von der Erhebung der Ballfertigkeiten. Der erste Teil endete mit der Untersuchung der Gleichgewichtsfähigkeiten. Für die Kinder war die Teilnahme an dieser Stelle beendet und sie kehrten für den Rest des Tages in ihre Gruppen oder Klassen zurück. Die Erwachsenen pausierten für fünf Minuten.

Die Untersuchung der rhythmischen Fähigkeiten im zweiten Teil begann mit der Aufgabe zur Rhythmusreproduktion. Die Teilnehmenden hörten eine voraufgezeichnete Erklärung, die über das Radio präsentiert wurde: „*Du hörst nun den Ton a auf einem Keyboard gespielt.*“ Nach dem Anhören des Beispieltones wurde die Instruktion fortgesetzt. „*Mache diesen Ton selbst nach.*“ Je nach Antwortform variierte sich nun anschließende Instruktion zur Reproduktion des Tones: Tippen: „*Verwende*

dazu deinen Zeigefinger und tippe fest auf die Trommel.“; Klatschen: „Klatsche dazu mit beiden Händen.“; Sprechen: „Spreche dazu jeden Ton auf ‚ta‘.“; Trommeln – Akustisch und Trommeln – Sozial: „Verwende dazu beim Trommeln deine ganze flache Hand.“

Fortgesetzt wurde die Reproduktionsaufgabe mit einer Übung, welche wie folgt erläutert wurde: *„Unser Ton wird nun mehrere Male gespielt. Merke dir die Töne und spiele sie genau nach.“* Im Anschluss an zwei Übungsrhythmen wurde die Hauptaufgabe erklärt: *„Du hörst nun zehn Aufgaben. Es kommt darauf an, die Töne so genau wie möglich nachzuspielen.“* Die Versuchsleitung kündigte die Nummer jedes Rhythmus an und zeigte mit der flachen Hand auf das Radio, während der Rhythmus präsentiert wurde. Nach der Präsentation signalisierte die Versuchsleitung den Teilnehmenden mit einer einladenden Handbewegung ihren Einsatz, um den Rhythmus nachzuspielen. Dieser Vorgang wurde für jeden Rhythmus wiederholt. Nach dem zehnten Rhythmus begann die Instruktion für die nächste Antwortform, der wiederum zwei Übungsrhythmen umfasste.

Die Instruktionen für die Antwortform Trommeln - Sozial unterschied sich von denen der restlichen vier Antwortformen. Die Teilnehmenden wurden darüber informiert, dass alle Rhythmen von der Versuchsleitung präsentiert würden. Somit leitete die Versuchsleitung die Teilnehmenden verbal an, anstatt eine vorher aufgezeichnete Instruktion zu verwenden. Außerdem wurden alle Rhythmen in der Antwortform Trommeln - Sozial von Versuchsleitung auf einer Trommel präsentiert. Wie in der Antwortform Trommeln - Akustisch wurden die Teilnehmenden gebeten, mit der flachen Hand zu trommeln. Die Aufgabe zur Rhythmusreproduktion war nach fünf Durchgängen und insgesamt 50 Rhythmen beendet.

Im Anschluss an die Reproduktion wurde die Rhythmuswahrnehmung gemessen. Dazu wurden den Teilnehmenden in einer Unterscheidungsaufgabe Rhythmen zum Vergleich von Trommeln vorgelesen. Nach der korrekten Zuordnung zweier Trainingsrhythmen, folgte die Hauptaufgabe aus 10 Rhythmen.

Abschließend wurden in der Erwachsenenstichprobe die Kontrollvariablen mit Fragebögen als Selbstauskunft abgefragt. Die Eltern der teilnehmenden Kinder füllten die Fragebögen als Fremdauskunft bereits im Vorfeld der Teilnahme aus, da sie während der Datenerhebung nicht anwesend waren.

Zum Abschluss erhielten die 5- bis 8-jährigen Kinder ein Geschenk sowie eine Urkunde und die erwachsenen Teilnehmenden eine Aufwandsentschädigung.

2.3.5 Design

Studie 1 basiert auf einem 5 x 5 gemischtes Design, mit dem Alter (5 Jahre, 6 Jahre, 7 Jahre, 8 Jahre und Erwachsene) als Zwischensubjektfaktor und der Antwortform als Innersubjektfaktor (Tippen, Klatschen, Sprechen, Trommeln - Akustisch und Trommeln - Sozial). Zu Beginn der Testung wurde die Versuchsleitung über die Reihenfolge der Antwortformen durch eine Liste informiert, auf der jede teilnehmende Person zufällig einer Startbedingung zugeordnet wurde. Die Teilnehmenden wurden über die Reihenfolge der Antwortformen nicht informiert und wurden zwischen den einzelnen Antwortformen von der Versuchsleitung durch Übungsaufgaben auf die nächste Antwortform vorbereitet.

Durch die Kürze der Originalrhythmen aus dem Musik-Screening-Verfahren (Jungbluth & Hafen, 2005) war es nur möglich vier Versionen zu erstellen. Daher wurde eine der erstellten Versionen für die fünfte Antwortform wiederholt. Die wiederholte Version wurde über die Teilnehmenden ausbalanciert. Die Reihenfolge der Antwortformen wurde zwischen den Teilnehmenden randomisiert.

2.3.6 Aufbereitung der Daten

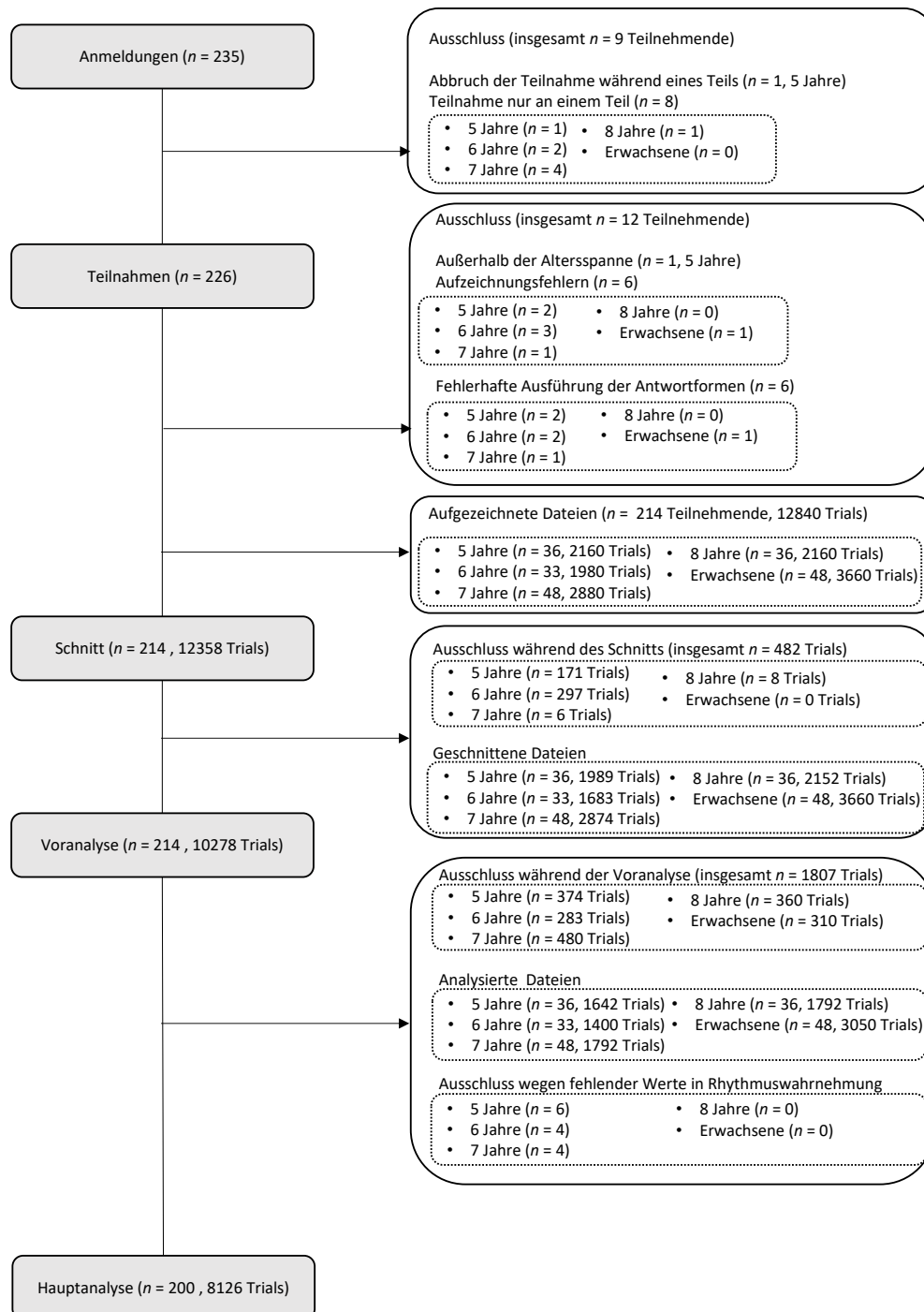
Da die Audioaufzeichnungen den gesamten zweiten Teil der Datenerhebung beinhalteten, begann die Aufbereitung der Daten mit dem Schnitt dieser Aufzeichnungen in einzelne Trials. Durchgeführt wurde der Schnitt mithilfe des Programms Audacity (Audacity Team, 2021). Alle Teilnehmenden absolvierten 10 Rhythmen pro Antwortform, woraus 50 Trials resultierten. Zusätzlich wurden für alle Teilnehmenden die Vorgaben durch die Versuchsleitung in der Antwortform Trommel - Sozial geschnitten.

In Abbildung 6 wird die Verteilung der Teilnehmenden von der Rekrutierung bis zur Hauptanalyse dargestellt. Von ursprünglich $N = 235$ angemeldeten Teilnehmenden nahmen $N = 226$ an beiden Testungsteilen teil. Zwölf weitere Teilnehmende mussten vor dem Schnitt der aufgezeichneten

Audiodateien von der Studie ausgeschlossen werden, wodurch die Stichprobe vor dem Schnitt noch $N = 214$ Teilnehmende umfasste. Insgesamt ergaben sich aus den aufgezeichneten Gesamtaudiodateien für 214 Teilnehmende 12 358 einzelne Trials, wovon 10278 Trials in die Voranalyse eingingen.

Abbildung 6

Verteilung der Teilnehmenden im Verlauf der Studie 1



In der Voranalyse wurden aus den einzelnen Trials durch die Konsolenanwendung Sonic Annotator (Cannam et al., 2010) mit dem Note Onset Detector Vamp Plugin der Queen Mary University (Duxbury et al., 2003) die Zeitpunkte jedes einzelnen Onsets transkribiert. Dieses Vorgehen umfasste alle Antwortformen außer das Sprechen. Es stellte sich heraus, dass der Note Onset Detector (Duxbury et al., 2003) zu sensitiv für die Transkription der nachgesprochenen Rhythmen war und durch zu viele kodierte Onsets (z.B. auch bei Atemgeräuschen) kein Rhythmus auswertbar war. Aus diesem Grund wurde die Transkription der nachgesprochenen Rhythmen mit Tony (Mauch et al., 2015) durchgeführt.

Die transkribierten Audiodateien wurden im Anschluss für die Hauptanalyse in RStudio Version 2022.07.2 (R Studio Team, 2022) eingelesen. In die Hauptanalyse gingen 8126 Trials von insgesamt $N = 200$ Teilnehmenden ein. Zwischen der Vor- und der Hauptanalyse mussten somit 14 Teilnehmende ausgeschlossen werden, da in der Rhythmuswahrnehmung fehlende Werte vorlagen und unvollständige Datensätze bei der Analyse mithilfe von Linear gemischten Modellen nicht berücksichtigt werden konnten. In den weißen Kästen auf der rechten Seite von Abbildung 6 (Seite 56) sind die Ausschlussgründe nach den einzelnen Analysephasen und den fünf untersuchten Altersgruppen aufgeschlüsselt.

Im nächsten Schritt wurden die vorgegebenen Rhythmen mit den reproduzierten Rhythmen verglichen. Dazu wurden die mithilfe der Methode des Dynamic Time Warping und des entsprechenden dtw R-Paketes (Giorgino, 2009) Distanzen zwischen der vorgegeben und der reproduzierten Version berechnet. Eine höhere normalisierte Distanz entspricht einer größeren Abweichung zwischen beiden Versionen und somit einer ungenaueren Reproduktion. Ein Vorteil der Methode des Dynamic Time Warping besteht darin, dass Abweichung in der Reproduktion von metronomischen und timingvariablen Vorgaben gleichermaßen zuverlässig berücksichtigt werden. Dies ermöglicht den Vergleich der fünf Antwortformen, bei denen die Teilnehmenden verschiedenartige Vorgaben (Versuchsleitung in *Trommeln-Sozial* = timing-variabel, Radio in allen anderen Antwortformen = metronomisch) reproduzieren.

Für die Antwortform Trommeln - Sozial konnte einerseits ein Vergleich zwischen den von der Versuchsleitung vorgespielten Rhythmen und den von den Teilnehmenden reproduzierten Rhythmen vorgenommen werden. Zum anderen war ein Vergleich zwischen den Rhythmen, die die

Versuchsleitung vor der Präsentation über Kopfhörer hörte, und den von den Teilnehmenden nachgespielten Rhythmen möglich. Über den Kopfhörer wurden die der teilnehmenden Person zugewiesenen Parallelversionen als Klavieraufnahme abgespielt. In allen anderen Antwortformen wurden die einzelnen rhythmischen Versionen direkt über das Radio abgespielt und als Referenz verwendet.

Allerdings hörte eben diese Rhythmen in der Antwortform Trommeln – Sozial nur die Versuchsleitung, bevor diese durch Trommeln präsentiert wurden. Die Teilnehmenden erhielten aus Konsistenzgründen die Instruktion, die Rhythmen, welche die Versuchsleitung vorspielt, zu reproduzieren. In allen anderen Antwortformen wurden die Teilnehmenden ebenfalls aufgefordert das zu reproduzieren, was sie zuvor gehört hatten. Dies spricht für die durch die Versuchsleitung vorgegeben Rhythmen als Referenz.

Ein Vergleich beider Auswertungsvarianten ist in Anhang C (Seite 204) visuell aufgearbeitet. Daraus wird deutlich, dass die Reproduktion der Teilnehmenden mit Bezug auf die durch die Versuchsleitung präsentierten Rhythmen über alle Altersgruppen hinweg genauer war. Dies wird aus der geringeren normalisierten Distanz in der Antwortform Trommeln – Sozial (Versuchsleitung) ersichtlich. Daher wurde für die weitere Analyse die durch die Versuchsleitung vorgegeben Rhythmen als Referenz gewählt. Neben dieser Erkenntnis ergaben sich aus der Voranalyse Hinweise auf eine linksschiefe Verteilung der normalisierten Distanz, welche bislang als Maß für die Reproduktionsgenauigkeit eingesetzt wurde. Aus diesem Grund wurde in der Hauptanalyse auf die logarithmierte normalisierte Distanz zur Messung der Reproduktionsgenauigkeit zurückgegriffen.

2.3.7 Analysestrategie

Die Analyse begann mit zwei einfaktoriellen ANOVAs, um die Entwicklung der zugrundeliegenden Mechanismen zu erfassen. Dazu wurde eine einfaktorielle ANOVA zur Messung von Veränderungen zwischen den Altersgruppen (unabhängige Variable) in der Rhythmuswahrnehmung (abhängige Variable) und eine weitere zur Messung von Veränderungen in den drei motorischen Skalen (Handgeschicklichkeit, Ballfertigkeiten und Gleichgewichtsfähigkeiten als abhängige Variablen) durchgeführt.

Zur Analyse der Reproduktionsfähigkeit wurde ein linear gemischtes Modell aufgestellt, um Schwankungen der Teilnehmenden als zufällige Effekte berücksichtigen zu können. Als weitere zufällige Effekte wurden die Rhythmusversionen aufgenommen. Danach wurden mehrere linear gemischte Modelle in aufeinander aufbauenden Schritten mithilfe der Pakete lmer (Kuznetsova et al., 2017) und lme4 (Bates et al., 2015) in RStudio (R Studio Team, 2022) miteinander verglichen. Die Kennwerte der einzelnen Modelle sind Anhang D (Seite 205) aufgeführt. Basierend auf früheren Studien (z.B. Nave et al., 2023) bestand die Vermutung, dass sich die Rhythmuswahrnehmung mit zunehmendem Alter verbessert. Daher wurde die Modellierung mit alterszentrierten Werten für Rhythmuswahrnehmung durchgeführt, um den Beitrag der Rhythmuswahrnehmung zur Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit über die altersbedingte Verbesserung der Rhythmuswahrnehmung hinaus zu ermitteln.

Die Ergänzung der Rhythmuswahrnehmung führte während der Modellierung der Genauigkeit der Reproduktion zu einer signifikanten Verbesserung der Vorhersage. Die Hinzunahme der motorischen Fähigkeiten erbrachte hingegen keinen bedeutsamen Erklärungswert für die Reproduktionsfähigkeit. Daher wurde für die weitere Analyse ein Modell gewählt, das die Genauigkeit der Reproduktion durch den festen Effekt der alterszentrierten Rhythmuswahrnehmung und eine Interaktion zwischen Alter und Antwortform sowie zufällige Effekte für die Teilnehmenden und Rhythmusversionen vorhersagt.

Im Anschluss wurde die Reproduktionsgenauigkeit zwischen den Altersgruppen durch einen Tukey-HSD-Test (multcomp-Paket; Hothorn et al., 2008) verglichen. Darüber hinaus wurde die Reproduktionsgenauigkeit zwischen den Antwortformen mithilfe des R-Paketes emmeans (Lenth, 2023) analysiert. Darauf aufbauend erfolgte mittels einfaktorieller ANOVA die Analyse der Entwicklung der Gesamtproduktionsgenauigkeit. Hierzu wurde zunächst die Reproduktionsgenauigkeit der Teilnehmenden über alle Antwortformen hinweg gemittelt. Danach wurde die Gesamtproduktionsgenauigkeit mithilfe eines post-hoc Vergleichs unter Bonferroni-Korrektur zwischen den Altersgruppen verglichen.

Um die Anteile der stattfindenden Entwicklung genauer vorherzusagen, wurde eine Random Forest Regression mithilfe des R-Paketes randomForest (Liaw & Wiener, 2002) durchgeführt. Dieser

Schritt ermöglicht es herauszufinden, welche Anteile die Rhythmuswahrnehmung, Gesamtreproduktionsfähigkeit und die Motorik an der Veränderung mit zunehmendem Alter haben.

Abschließend wurden als korrelative post-hoc Analyse Zusammenhänge zwischen der Rhythmuswahrnehmung und der Gesamtreproduktionsgenauigkeit innerhalb der Altersgruppen ausgewertet. Am Ende der Analyse wurden korrelative Zusammenhänge zwischen motorischen Fähigkeiten und der Gesamtreproduktionsfähigkeit überprüft. Hierzu wurden die Untertests pro Skala betrachtet, um die Entwicklung innerhalb der drei Skalen (Handgeschicklichkeit, Ballfertigkeiten und Gleichgewichtsfähigkeiten) vor der durch den Test vorgesehenen Altersnormierung auswerten zu können.

2.4 Ergebnisse

Aus der a-priori Poweranalyse mit G*Power Version 3.1.9.4 (Faul et al., 2007, 2009) ergab sich ein Mindeststichprobenumfang von $N = 25$ Teilnehmenden. Hierzu wurde ein Signifikanzkriterium von $\alpha = .05$ und einer Power von $(1-\beta) = .95$ angenommen. Da in früheren Studien (Drake, 1993b, 1993a), die ebenfalls die Reproduktionsfähigkeit von Kindern untersuchten, keine Effektstärken berichtet wurden, basiert die Poweranalyse auf der Annahme mittlerer Effekte von Cohens $d = 0.6$. Die in dieser Studie untersuchte Stichprobe von $N = 200$ ist mehr als ausreichend um bestehende Effekte aufzuzeigen und übersteigt auch in jeder untersuchten Altersgruppe den Mindeststichprobenumfang.

2.4.1 Entwicklung der Rhythmuswahrnehmung

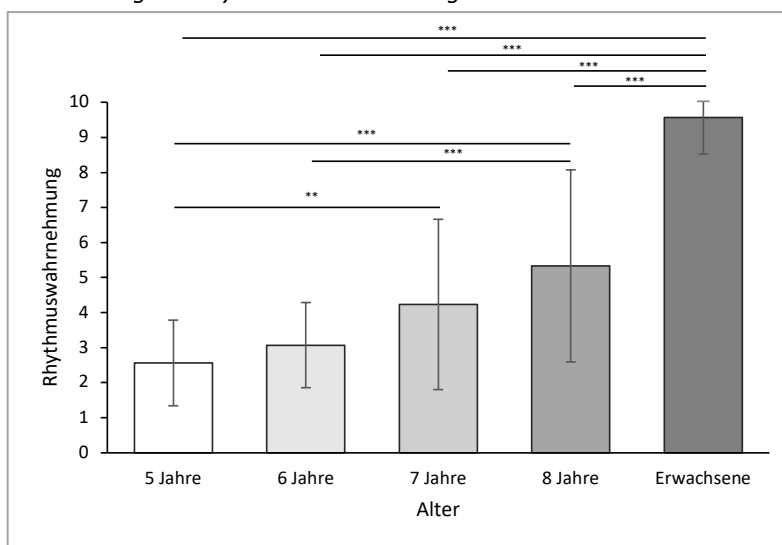
Die Berechnung einer einfaktoriellen ANOVA ergab für die abhängige Variable der Rhythmuswahrnehmung signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Altersgruppen, $F(1, 201) = 297.62, p < .001, \eta^2 = .60$. Die post-hoc Analyse zeigt in Abbildung 7 (Seite 61) für den Vergleich zwischen den Altersgruppen unter Bonferroni-Korrektur, dass die Rhythmuswahrnehmung von Erwachsenen ($M = 9.57, SD = 1.04$) die aller Kinder signifikant übertraf.

Darüber hinaus zeigten 8-jährige Kinder ($M = 5.33, SD = 2.74$) signifikante bessere Unterscheidungsfähigkeiten zwischen Rhythmen als 5-jährige ($M = 2.56, SD = 1.22$) und 6-jährige Kinder

($M = 3.07$, $SD = 1.21$). Zuletzt war auch die Rhythmuswahrnehmung von 7-jährigen Kindern ($M = 4.23$, $SD = 2.43$) signifikant besser als die der teilnehmenden 5-jährigen Kinder ($M = 2.56$, $SD = 1.22$). Zusammenfassend ist festzuhalten, dass in der untersuchten Altersspanne eine Veränderung der Rhythmuswahrnehmung stattfindet, wobei 5- bis 8-jährige Kinder noch nicht das Wahrnehmungsniveau für Rhythmusunterschiede von Erwachsenen erreichen.

Abbildung 7

Veränderung der Rhythmuswahrnehmung mit zunehmendem Alter



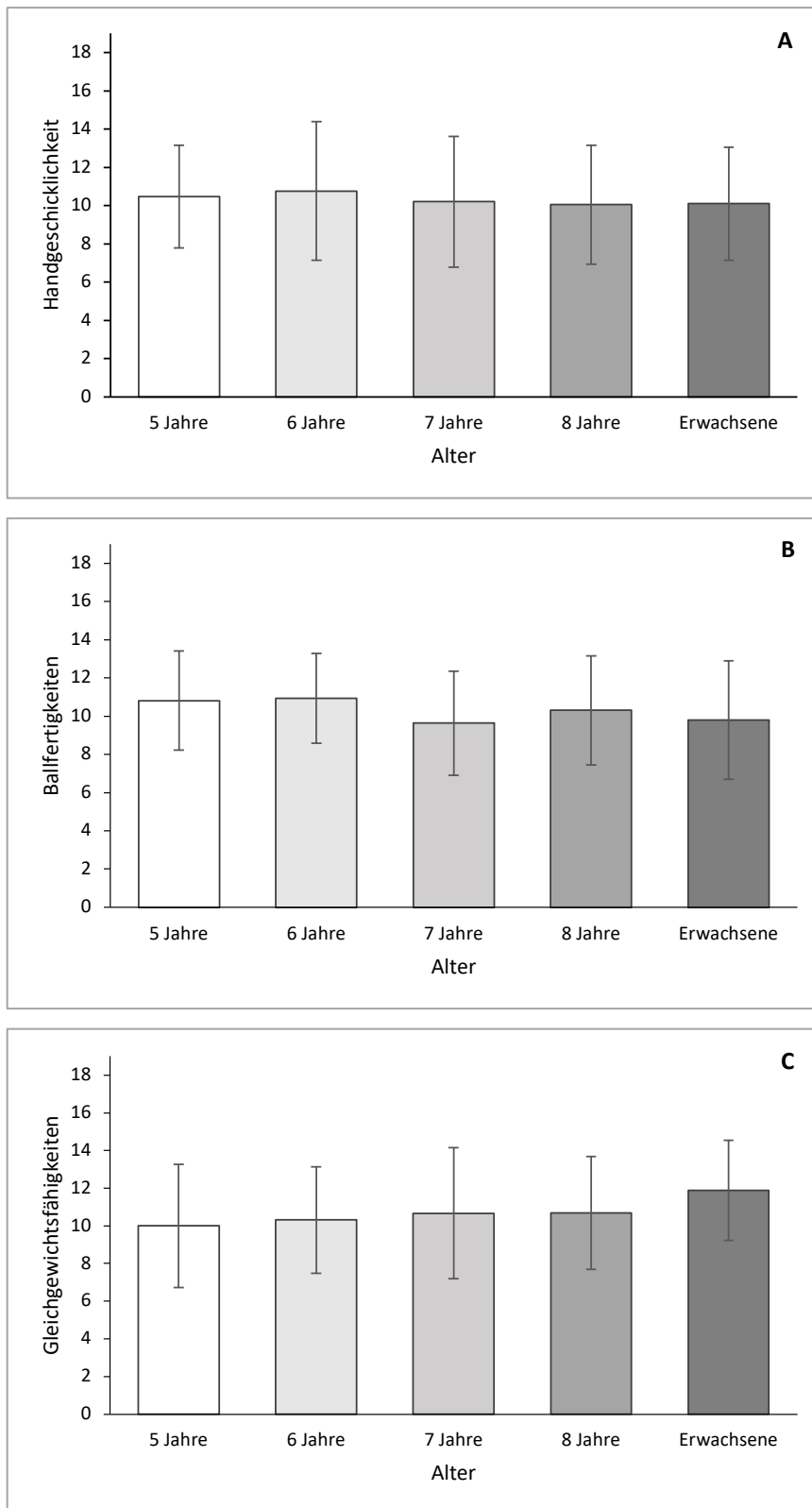
Anmerkung. ** $p < .01$, *** $p < .001$.

2.4.2 Entwicklung der Motorik

Die Voranalyse der Entwicklung motorischen Fähigkeiten (abhängige Variablen) ergab mittels einfaktorieller ANOVA keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen für die Handgeschicklichkeit in den Standartwerten, $F(1, 206) = 0.67$, $p = .669$, $\eta^2 = .003$. Ebenfalls unterschieden sich die Ballfertigkeiten nicht signifikant, $F(1, 206) = 3.24$, $p = .073$, $\eta^2 = .020$. Einzig in den Gleichgewichtsfähigkeiten bestanden signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Altersgruppen, $F(1, 206) = 9.21$, $p = .003$, $\eta^2 = .040$. Die post-hoc Analyse unter Bonferroni-Korrektur verwies darauf, dass Erwachsene ($M = 11.89$, $SD = 2.66$) marginal signifikant bessere Gleichgewichtsfähigkeiten zeigten als 5-jährige Kinder ($M = 10.00$, $SD = 3.27$). Dieser Trend ist auch in Abbildung 8 im Feld C anhand des leichten Anstiegs zwischen 5-jährigen Kindern und Erwachsenen erkennbar.

Abbildung 8

Post-hoc Vergleiche der mittleren Standardwerte zur Messung der Motorik



Anmerkung. Verteilung der Standardwerte über alle Altersgruppen. A enthält die mittleren Standardwerte für die Handgeschicklichkeit und B die der Ballfertigkeiten. In C sind die mittleren Standardwerte für die Gleichgewichtsfähigkeit veranschaulicht.

2.4.3 Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit

Das linear gemischte Modell mit den besten Vorhersagewerten zur Schätzung der Reproduktionsfähigkeit, enthält als feste Effekte die alterszentrierte Rhythmuswahrnehmung und eine Interaktion zwischen Alter und Antwortform sowie zufällige Effekte für die Teilnehmenden und Rhythmusversionen. Die Varianzaufklärung durch das Gesamtmodell (konditionales R^2) beträgt .51, wobei das marginale R^2 der festen Effekte .28 liegt. Die Verteilungsannahmen wurden mithilfe des performance Paket in R (Lüdecke et al., 2021) überprüft und zeigten keine signifikanten Auffälligkeiten. Der in Tabelle 2 aufgeführte negative Effekt für die Rhythmuswahrnehmung ($b = -0.05$, $p = .002$, 95% KI [-2.28, -0.02]) impliziert, dass eine genauere Wahrnehmung von rhythmusbasierten Unterschieden eine genauere Rhythmusreproduktion vorhersagt. Darüber hinaus enthält Tabelle 2 diverse Vorhersagen für die Interaktionen zwischen Alter und den 5 Antwortformen.

Tabelle 2

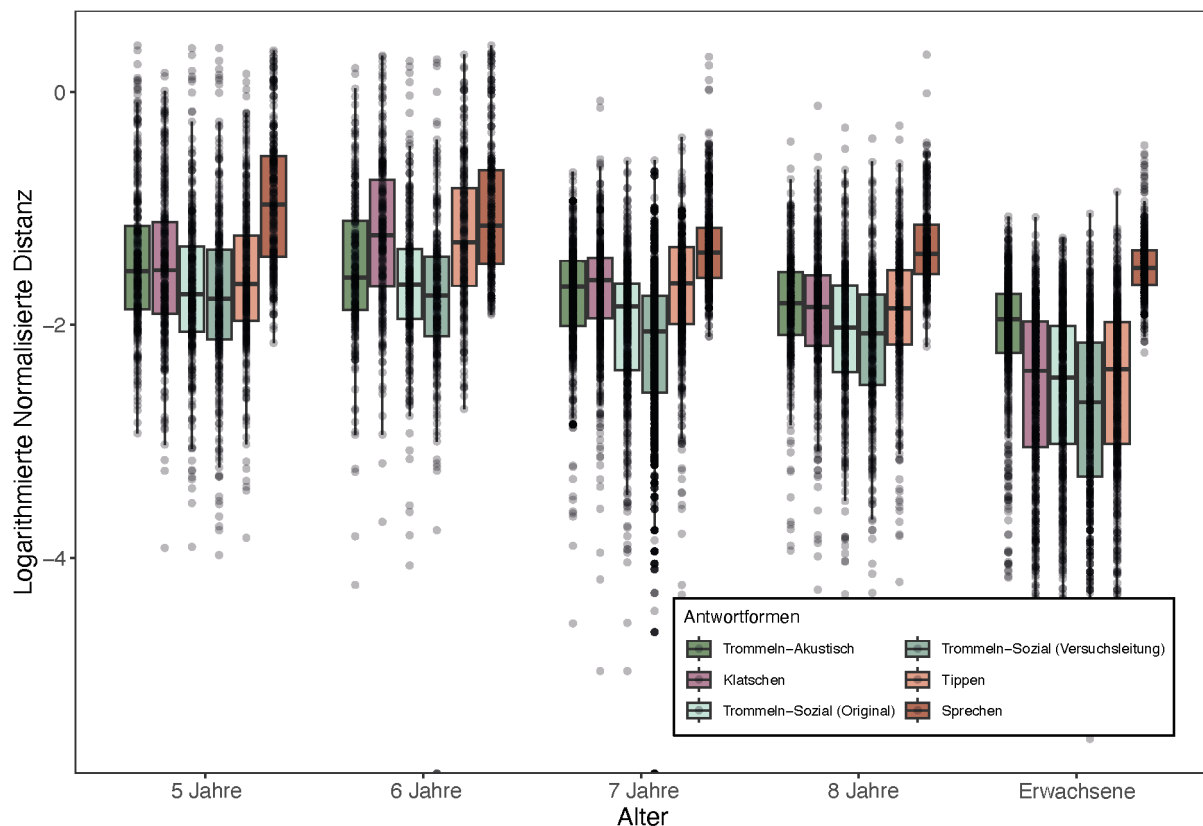
Lineares gemischtes Modell für Reproduktionsfähigkeit (logarithmierte normalisierte Distanz)

Parameter	Schätzwerte	Konfidenzintervall	p
Erwachsene (Referenz)	-2.06	-2.16 – -1.96	<.001
5 Jahre	0.46	0.33 – 0.58	<.001
6 Jahre	0.44	0.31 – 0.57	<.001
7 Jahre	0.24	0.14 – 0.35	<.001
8 Jahre	0.25	0.14 – 0.37	<.001
Antwortform: Klatschen	-0.51	-0.57 – -0.46	<.001
Antwortform: Trommel-Sozial	-0.48	-0.53 – -0.42	<.001
Antwortform: Tippen	-0.43	-0.49 – -0.38	<.001
Antwortform: Sprechen	0.59	0.53 – 0.64	<.001
Rhythmuswahrnehmung	-0.05	-0.08 – -0.02	.002
5 Jahre × Klatschen	0.46	0.35 – 0.57	<.001
6 Jahre × Klatschen	0.62	0.50 – 0.74	<.001
7 Jahre × Klatschen	0.51	0.44 – 0.59	<.001
8 Jahre × Klatschen	0.40	0.31 – 0.49	<.001
5 Jahre × Trommel-Sozial	0.34	0.23 – 0.44	<.001
6 Jahre × Trommel-Sozial	0.37	0.25 – 0.48	<.001
7 Jahre × Trommel-Sozial	0.20	0.13 – 0.28	<.001
8 Jahre × Trommel-Sozial	0.18	0.09 – 0.27	<.001
5 Jahre × Tippen	0.37	0.26 – 0.47	<.001
6 Jahre × Tippen	0.65	0.53 – 0.77	<.001
7 Jahre × Tippen	0.54	0.46 – 0.61	<.001
8 Jahre × Tippen	0.36	0.27 – 0.45	<.001
5 Jahre × Sprechen	-0.24	-0.37 – -0.11	<.001
6 Jahre × Sprechen	-0.24	-0.36 – -0.12	<.001
7 Jahre × Sprechen	-0.18	-0.26 – -0.11	<.001
8 Jahre × Sprechen	-0.13	-0.23 – -0.04	.006

Vergleich der Antwortformen. Der visuell aufbereitete Vergleich der Antwortformen in Abbildung 9 verdeutlicht, dass die Reproduktion der Rhythmen über alle Altersgruppen hinweg in der Antwortform Trommeln-Sozial am genauesten (d.h. die logarithmierte normalisierte Distanz am geringsten) war. Ab dem Alter von 8 Jahren scheint sich die Reihenfolge Reproduktionsgenauigkeit in den Antwortformen wie folgt zu stabilisieren: Trommeln-Sozial, Klatschen, Tippen, Trommeln-Akustisch und zuletzt Sprechen. Darüber hinaus besteht bei 6- und 7-jährigen Kindern eine gemeinsame Reihenfolge (Trommeln-Sozial, Trommeln-Akustisch, Klatschen, Tippen und zuletzt Sprechen). Dabei bezieht sich die Interpretation der Reihenfolge auf die Auswertung der Antwortform Trommeln – Sozial mit der Versuchsleitung als Referenz. Der Vollständigkeit halber ist die Auswertung der Antwortform Trommeln - Sozial mit den Originalrhythmen als Referenz in Abbildung 9 ebenfalls in der Farbe türkis enthalten. Diese wurde aber aus methodischen Gründen zugunsten der Versuchsleitung als Referenz (mintgrün) nicht weiter berücksichtigt.

Abbildung 9

Vergleich der Antwortformen



Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Antwortformen Trommeln-Sozial am Anfang (genaueste Reproduktion) und Sprechen am Ende (ungenaueste Reproduktion) der Reihenfolge in allen untersuchten Altersgruppen stehen. Dies steht im Einklang mit den Kennwerten der geschätzten mittleren Reproduktionsgenauigkeit und Standardfehler je Antwortform, welche in Anhang E (Seite 206) enthalten sind.

Post-hoc Altersvergleiche. Der anschließende Vergleich der Reproduktionsgenauigkeit zwischen den untersuchten Altersgruppen mittels Tukey-HSD-Tests zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Erwachsenen und allen Kindern. Die Reproduktionsgenauigkeit unterschied sich darüber hinaus signifikant zwischen den Kindern im Alter von 5 und 7 Jahren, 5 und 8 Jahren, 6 und 7 Jahren, sowie im Alter von 6 und 8 Jahren. Keine signifikanten Unterschiede lagen hingegen zwischen 5- und 6-jährigen Kindern ($z = -0.29, p = .999$) sowie zwischen 7- und 8-jährigen Kindern ($z = 0.16, p = .999$) vor. In Tabelle 3 sind darüber hinaus auch die nicht signifikanten Unterschiede zwischen den restlichen Altersgruppen (z.B. 5 Jahre gegenüber 6 Jahre) enthalten.

Tabelle 3

Post-hoc Vergleiche der Reproduktionsgenauigkeit zwischen den Altersgruppen

Altersvergleich	Schätzwerte	Std. Fehler	<i>z</i>	<i>p</i>
5 Jahre vs. 6 Jahre	-0.02	0.08	-0.29	.999
5 Jahre vs. 7 Jahre	-0.21	0.07	-3.19	.012
5 Jahre vs. 8 Jahre	-0.20	0.07	-2.88	.032
5 Jahre vs. Erwachsene	-0.45	0.06	-7.17	< .001
6 Jahre vs. 7 Jahre	-0.19	0.07	-2.77	.043
6 Jahre vs. 8 Jahre	-0.19	0.07	-2.50	.088
6 Jahre vs. Erwachsene	-0.44	0.07	-6.01	< .001
7 Jahre vs. 8 Jahre	0.01	0.06	0.16	.999
7 Jahre vs. Erwachsene	-0.24	0.05	-4.58	< .001
8 Jahre vs. Erwachsene	-0.24	0.06	-4.39	< .001

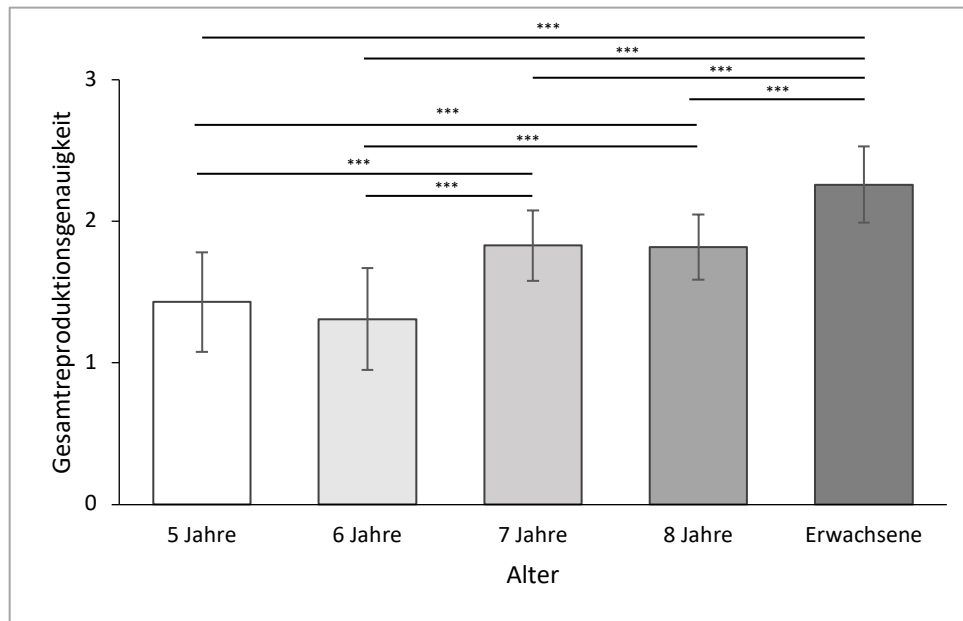
2.4.4 Entwicklungsmechanismen der Reproduktionsfähigkeit

Entwicklung der Gesamtproduktion. Das Alter stellte sich im vorherigen Analyseschritt als einflussreichster Faktor für die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit heraus. Die zur Überprüfung durchgeführte einfaktorielle ANOVA ergab signifikante Abweichungen zwischen den Altersgruppen,

$F(1, 219) = 222.80, p < .001, \eta^2 = .50$. Daher wurden post-hoc Altersgruppenvergleiche mit Bonferroni-Korrektur berechnet. In Abbildung 10 sind die Veränderungen der Gesamtreproduktionsgenauigkeit zwischen den Altersgruppen veranschaulicht.

Abbildung 10

Veränderung der Gesamtreproduktionsgenauigkeit



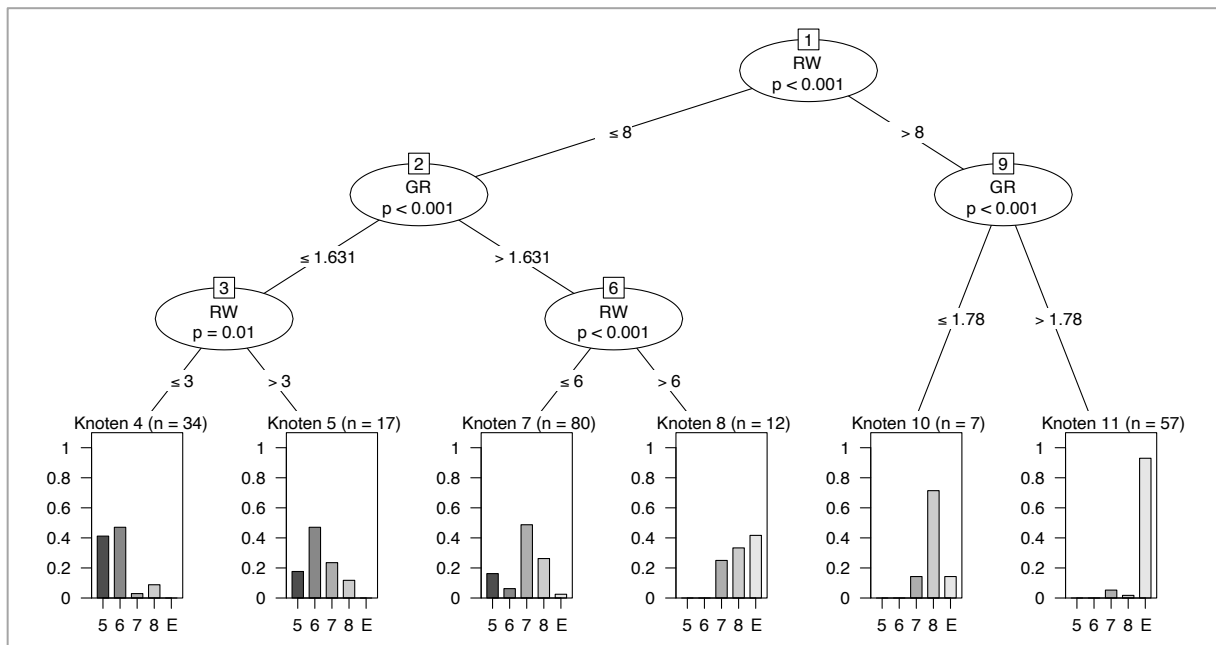
Anmerkung. *** $p < .001$.

Die Gesamtreproduktionsgenauigkeit der Erwachsenen ($M = 2.26, SD = 0.27$) war signifikant höher als die der 5- bis 8-jährigen Kinder. Somit bestehen entwicklungsbedingte Veränderungen in der Gesamtreproduktionsgenauigkeit, wobei die untersuchten Kinder noch nicht das Genauigkeitsniveau von Erwachsenen erreichten. Ebenfalls veränderte sich die Gesamtreproduktionsgenauigkeit im Alter von 5 bis 8 Jahren. Dabei unterschieden sich alle in der Kindheit untersuchten Altersgruppen signifikant voneinander, ausgenommen jedoch die 5-jährigen ($M = 1.43, SD = 0.35$) und 6-jährigen Kinder ($M = 1.31, SD = 0.36$) sowie die 7-jährigen ($M = 1.83, SD = 0.25$) bis 8-jährigen Kinder ($M = 1.82, SD = 0.23$). Dies deutet darauf hin, dass es in der Entwicklung der Gesamtreproduktionsgenauigkeit drei Stufen gibt (5 bis 6 Jahre, 7 bis 8 Jahre, Erwachsene), welche auch in Abbildung 10 erkennbar sind.

Anteile der Entwicklung. Die Analyse der Gesamtreproduktionsgenauigkeit zeigte eine Verbesserung mit zunehmendem Alter. Die Untersuchung der Anteile dieser stattfindenden Entwicklung ergab die in Abbildung 11 als Pfaddiagramm dargestellte Verteilung. Das Alter der Teilnehmenden wird an erster Stelle durch die Rhythmuswahrnehmung (RW) vorhergesagt. An zweiter Stelle folgt die Gesamtreproduktionsfähigkeit (GR). Die motorischen Fähigkeiten (Handgeschicklichkeit, Ballfertigkeiten und Gleichgewichtsfähigkeiten) scheinen hingegen keine entscheidende Rolle zu spielen und sind daher in Abbildung 11 nicht enthalten.

Abbildung 11

Vorhersage des Alters aus Rhythmuswahrnehmung, Gesamtreproduktionsfähigkeit und Motorik



Anmerkung. RW = Rhythmuswahrnehmung. GR = Gesamtreproduktionsgenauigkeit. 5 = 5-jährige Kinder. 6 = 6-jährige Kinder. 7 = 7-jährige Kinder. 8 = 8-jährige Kinder. E = Erwachsene.

Ein Summenscore von größer 8 in der Rhythmuswahrnehmung (d.h. mindestens 8 aus 10 rhythmischen Unterschieden wurden korrekt erkannt) und eine Gesamtreproduktionsfähigkeit von größer 1.78 charakterisiert insgesamt 57 Teilnehmende, wovon der größte Anteil aus Erwachsenen besteht (Knoten 11). Ist die Gesamtreproduktionsfähigkeit jedoch kleiner oder gleich 1.78, so werden zumeist 8-jährige Kinder beschrieben (Knoten 10). Die größte Anzahl an Teilnehmenden ($N = 80$) weist

in der Rhythmuswahrnehmung einen Score von kleiner gleich 8 und in der Gesamtreproduktionsfähigkeit einen Wert von größer 1.631 auf. Bei weiterer Differenzierung der Rhythmuswahrnehmung (kleiner gleich 6) werden in Knoten 7 hauptsächlich 7-jährige Kinder, gefolgt von einigen 8-, 5- und 6-jährigen Kindern charakterisiert. Die entsprechende Zuordnung der Altersgruppen für Knoten 7 ist in Abbildung 11 (Seite 67) in der untersten Zeile des dritten Diagramms von links dargestellt.

Tabelle 4 enthält die zur Abbildung 11 gehörende Konfusionsmatrix. Die Genauigkeit der Zuordnung lag bei 0.61. und $\kappa = 0.49$. Es wird deutlich, dass die Kombination aus Gesamtreproduktionsgenauigkeit, Rhythmuswahrnehmung, Handgeschicklichkeit, Ballfertigkeiten und Gleichgewichtsfähigkeiten besonders dazu geeignet ist, um zwischen Kindern und Erwachsenen zu unterscheiden. Aus 61 teilnehmenden Erwachsenen wurden 58 der Erwachsenen Gruppe korrekt zugeordnet. Allerdings entsprach das zugewiesene Alter knapp der Hälfte aller 5-jährigen Kinder dem von 6-jährigen Kindern. Darüber hinaus wurden die meisten 8-jährigen Kinder anhand der untersuchten Merkmale (Rhythmuswahrnehmung und Gesamtreproduktionsgenauigkeit) für 7-jährige Kinder angesehen.

Tabelle 4

Konfusionsmatrix Altersgruppenzuordnung nach Gesamtproduktion, Rhythmuswahrnehmung und Motorik

	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	Erwachsene
5 Jahre	0	17	13	0	0
6 Jahre	0	24	5	0	0
7 Jahre	0	5	39	1	6
8 Jahre	0	5	21	5	5
Erwachsene	0	0	2	1	58

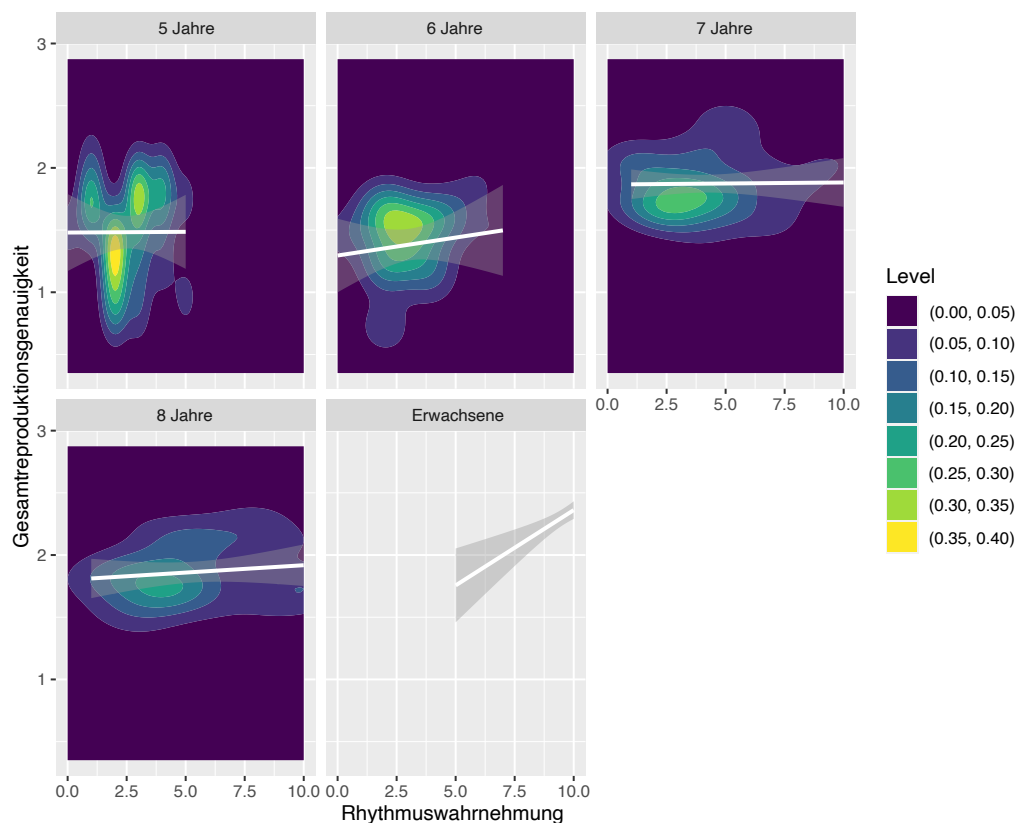
Zusammengefasst verdeutlichen die Ergebnisse den bereits aus vorherigen Analyseschritten gewonnenen Eindruck, dass es in der Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit Hinweise auf drei Stufen gibt (5 bis 6 Jahre, 7 bis 8 Jahre, Erwachsene).

Korrelative post-hoc Analyse Rhythmuswahrnehmung. Die Rhythmuswahrnehmung stellte sich zur Vorhersage der Entwicklung als bester Prädiktor heraus. Aus diesem Grund wurden in einer korrelativen post-hoc Analyse die Zusammenhänge zwischen der Rhythmuswahrnehmung und der

Gesamtreproduktionsgenauigkeit untersucht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 12 nach den einzelnen Altersgruppen aufgeteilt. Die Betrachtung der Gesamtstichprobe zeigte eine signifikant positive Korrelation zwischen der Rhythmuswahrnehmung und der Gesamtreproduktionsgenauigkeit, $r(196) = .638, p < .001$ (zweiseitig). Die genauere Betrachtung der einzelnen Altersgruppen verwies jedoch darauf, dass dieser Zusammenhang nur im Erwachsenenalter bestand, $r(59) = .47, p < .001$ (zweiseitig). Im Alter von 5 bis 8 Jahren waren hingegen keine signifikanten Zusammenhänge messbar, was auch in Abbildung 12 anhand der weißen Trendlinie zu erkennen ist.

Abbildung 12

Korrelation der Gesamtreproduktionsgenauigkeit und der Rhythmuswahrnehmung nach Alter



Anmerkung. Auf der x-Achse sind die richtig erkannten rhythmischen Unterschiede aus der Aufgabe zur Rhythmuswahrnehmung abgetragen. Die Gesamtreproduktionsgenauigkeit ist auf der y-Achse abgebildet. Die weiße Linie zeigt den korrelativen Trend zwischen Rhythmuswahrnehmung und Gesamtreproduktionsgenauigkeit. Farblich ist jeweils die prozentuale Dichte an Beobachtungen pro Altersgruppe visualisiert. Je heller die Farbe, desto höher ist die geschätzte Wahrscheinlichkeit, dass ein Messwertpaar vorhanden ist. Da bei der Aufgabe zur Rhythmuswahrnehmung im Erwachsenenalter bereits Deckeneffekte eintraten und die Teilnehmenden nahezu alle Aufgaben korrekt lösten, war es nicht möglich die Dichte farblich darzustellen.

Korrelative post-hoc Analyse Motorik. Aus der bisherigen Analyse wurde bereits deutlich, dass die Motorik basierend auf den ausgewerteten Standardwerten keine entscheidende Rolle für die Entwicklung der Reproduktionsgenauigkeit zwischen den Altersgruppen zu spielen scheint. Im Rahmen der post-hoc Analyse wurden daher die Zusammenhänge zwischen den Rohwerten der einzelnen Aufgaben innerhalb der Altersgruppen und der Gesamtproduktionsgenauigkeit analysiert, um die Rolle der motorischen Fähigkeiten für die Gesamtproduktionsfähigkeit abschließend zu erörtern. Tabelle 5 enthält die Ergebnisse der korrelativen Analyse für jede Altersgruppe.

Tabelle 5

Korrelation der motorischen Fähigkeiten und Gesamtproduktionsgenauigkeit

	Gesamtproduktionsgenauigkeit				
	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	Erwachsene
Handgeschicklichkeit					
Einstecken dominante Hand	- 0.12	- 0.13	0.08	- 0.45**	- 0.11
Einstecken nichtdominante Hand	0.19	- 0.15	- 0.14	- 0.26	- 0.10
Fädeln / Bauen	0.19	- 0.41*	0.32*	- 0.31	- 0.30*
Spur nachziehen	- 0.41*	- 0.32	- 0.24	- 0.16	- 0.19
Ballfertigkeiten					
Fangen dominante Hand	- 0.02	0.63**	- 0.05	- 0.00	- 0.06
Fangen nichtdominante Hand	–	–	–	–	- 0.07
Werfen	0.10	- 0.19	0.08	0.09	0.22
Gleichgewichtsfähigkeiten					
Stehen dominantes Bein	0.11	0.34*	0.07	0.37*	0.07
Stehen nichtdominantes Bein	0.13	0.36	- 0.03	- 0.01	–
Laufen	0.07	0.21	0.11	0.05	0.22
Hüpfen beide Beine	0.11	0.33	–	–	–
Hüpfen dominantes Bein	–	–	0.03	0.09	konstant
Hüpfen nichtdominantes Bein	–	–	0.16	0.20	0.13

Anmerkung. Einzelne Aufgaben waren je nach Altersgruppe nicht vorgesehen (–). Die Korrelation in der Altersgruppe der Erwachsenen zwischen dem Hüpfen auf dem dominanten Bein und der Reproduktionsgenauigkeit konnte nicht berechnet werden, da die Werte konstant sind. * $p < .05$, ** $p < .01$.

Im Alter von 5 Jahren gab es eine signifikante negative Korrelation zwischen der Reproduktionsgenauigkeit und der Fehlerhäufigkeit beim Nachzeichnen einer Spur (Skala Handgeschicklichkeit), $r(26) = -.41$, $p = .032$ (zweiseitig), d.h. eine geringere Fehlerhäufigkeit beim Nachzeichnen einer Spur

war mit einer genaueren Rhythmusreproduktion verbunden. Es bestanden keine weiteren signifikanten Zusammenhänge zwischen Aufgaben anderer Skalen und der Reproduktionsgenauigkeit im Alter von 5 Jahren (Tabelle 5, Seite 70).

Je schneller 6-jährige Kinder die Schnur auffädelten (Skala Handgeschicklichkeit), desto genauer reproduzierten sie die vorgegeben Rhythmen, $r(27) = -.41, p = .027$ (zweiseitig). Die Gesamtproduktionsgenauigkeit war ebenfalls genauer, je mehr Bohnensäckchen (Skala der Ballfertigkeiten) erfolgreich gefangen wurden, $r(27) = .63, p < .001$ (zweiseitig). Zuletzt war die Gesamtproduktionsfähigkeit von 6-jährigen Kindern genauer, je länger sie auf ihrem dominanten Bein das Gleichgewicht halten konnten $r(27) = .39, p = .035$ (zweiseitig).

Im Alter von 7 Jahren reproduzierten die teilnehmenden Kinder die vorgegeben Rhythmen hingegen genauer, je mehr Zeit sie zum Auffädeln der Schnur (Skala Handgeschicklichkeit) benötigten $r(45) = .32, p = .030$ (zweiseitig). Alle weiteren untersuchten Korrelationen waren im Alter von 7 Jahren nicht signifikant und sind in Tabelle 5 (Seite 70) enthalten.

Für die Skala der Handgeschicklichkeit zeigte sich im Alter von 8 Jahren, dass die teilnehmenden Kinder Rhythmen genauer reproduzierten je schneller sie mit ihrer dominanten Hand Stifte in ein Lochbrett einsteckten $r(33) = -.45, p = .006$ (zweiseitig). Darüber hinaus korrelierte das längere Stehen auf dem dominanten Bein (Skala Gleichgewichtsfähigkeiten) signifikant positiv mit der Gesamtproduktionsgenauigkeit, $r(34) = -.37, p = .029$ (zweiseitig).

Eine signifikant negative Korrelation bestand im Erwachsenenalter zwischen der Dauer des Bauens eines Dreiecks (Skala Handgeschicklichkeit) und der Gesamtproduktionsgenauigkeit, $r(59) = -.30, p = .018$ (zweiseitig). Je kürzer die benötigte Zeit zum Bau des Dreiecks, desto exakter wurden die Rhythmen reproduziert.

Zusammengefasst wird aus der korrelativen post-hoc Analyse deutlich, dass vereinzelt Zusammenhänge zwischen den erhobenen Rohwerten der motorischen Fähigkeiten und der Gesamtproduktionsgenauigkeit bestehen. In allen untersuchten Altersgruppen korrelieren Aufgaben der Skala Handgeschicklichkeit mit der Gesamtproduktionsgenauigkeit. Allerdings unterscheiden sich die Richtungen der Korrelationen (positiv oder negativ) und die Aufgaben bzw. Arten der Ausführungen.

2.5 Diskussion

2.5.1 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Ziel von Studie 1 war es, die entwicklungsbedingten Veränderungen in der Reproduktionsfähigkeit bei Kindern im Alter von 5 bis 8 Jahren und Erwachsenen zu untersuchen. Um ein tieferes Verständnis für die Entwicklung dieser späten komplexen Fähigkeit zu erlangen, wurden als zweites Studienziel die Rhythmuswahrnehmung als frühe grundlegende musikalische Fähigkeit sowie die motorischen Fähigkeiten der Teilnehmenden analysiert.

Entwicklung der Rhythmuswahrnehmung. Die Ergebnisse zur Rhythmuswahrnehmung von 5- bis 8-jährigen Kindern im Vergleich zu Erwachsenen verwies auf eine Veränderung zwischen den untersuchten Altersgruppen. Da ältere Teilnehmende jeweils mehr Unterschiede zwischen den Rhythmen wahrnahmen als die jüngere Altersgruppe, deutet dies auf eine Verbesserung der Rhythmuswahrnehmung mit zunehmendem Alter hin. Die signifikant ungenauere Wahrnehmung von rhythmischen Unterschieden bei jüngeren Kindern steht im Einklang mit früheren Untersuchungen (z.B. Nave-Blodgett et al., 2021). Abweichend zu früheren Studien (z.B. Drake, Riess Jones, et al., 2000; Volman & Geuze, 2000) erreichte die Verfeinerung der Rhythmuswahrnehmung bis zum Alter von 8 Jahren jedoch nicht das Niveau von Erwachsenen. Daher ist anzunehmen, dass sich die Rhythmuswahrnehmung basierend auf dem verwendeten Test von Jungbluth und Hafen (2005) auch nach dem Alter von 8 Jahren noch weiterentwickelt. Nur ein geringer Anteil der 5-jährigen Kindern erkannte in mehr als der Hälfte der Aufgaben korrekt die rhythmischen Unterschiede oder identifizierte die Rhythmen als gleich, wenn keine Unterschiede vorlagen. Dies verweist im Gegensatz zu einer früheren Untersuchung von Miyamoto (2007) darauf, dass die in Studie 1 analysierten Kinder im Alter von 5 Jahren noch nicht zuverlässig erkennen können, ob sich zwei Rhythmen unterscheiden.

Entwicklung motorischer Fähigkeiten. Die Überprüfung der Gesamtwerte der einzelnen Motorikskalen auf Veränderungen zwischen den untersuchten Altersgruppen ergab sowohl für die Skala

Handgeschicklichkeit als auch für die Skala Ballfertigkeit keine signifikanten Unterschiede. Einzig in der Skala Gleichgewichtsfähigkeiten lag die Balance von Erwachsenen signifikant über der von 5-jährigen Kindern. In erster Linie zeigen die Ergebnisse, dass der Konzeptionsgedanke von altersbezogenen Schwierigkeiten innerhalb der Skalen des Movement-ABC-2 (Petermann, 2009) repliziert werden konnte. Im Movement-ABC-2 (Petermann, 2009) wird bei der Auswertung eine Altersnormierung durch eine Transformation der Rohwerte aus den Teilaufgaben der Motorikskalen vorgenommen. Allerdings erschwert dies die Untersuchung entwicklungsbedingter Veränderungen in den motorischen Fähigkeiten und die Annäherung an die Studienziele. Basierend auf der Testkonzeption war es daher nicht möglich, wachsende motorische Kontrolle und zunehmende Koordination von Bewegungen ab dem Alter von 5 Jahren zu überprüfen (Miyamoto, 2007).

Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit. Zur Annäherung an das Ziel, wie sich die rhythmische Reproduktionsfähigkeit entwickelt, wurden vorab mehrere linear gemischte Modelle zur Vorhersage der Reproduktionsgenauigkeit miteinander verglichen. Hierbei lieferte die Berücksichtigung der alterszentrierten Rhythmuswahrnehmung neben dem Alter und der Antwortform einen signifikanten Informationsgewinn, wodurch die Reproduktionsfähigkeit genauer vorhergesagt wurde. Damit steht die Studie im Einklang mit der Annahme von Drake (1993b), die eine enge Verbindung zwischen der Wahrnehmung und Reproduktion annahm. Gleichzeitig weicht die Relevanz der Rhythmuswahrnehmung davon ab, dass früher kein Zusammenhang zwischen der Fähigkeit zur Rhythmuswahrnehmung und der Fähigkeit zur Reproduktion angenommen wurde (Davidson & Colley, 1987).

Analyse der Antwortformen. Der Vergleich der untersuchten Antwortformen (Tippen, Sprechen, Klatschen, Trommeln - Akustisch und Trommeln - Sozial) ergab Hinweise auf einen Kontexteffekt. In der Antwortform Trommeln-Sozial wurden die durch die Versuchsleitung vorgegeben Rhythmen am genauesten reproduziert. Dies war sowohl für 5- bis 8-jährige Kinder als auch für Erwachsene der Fall. Demnach scheinen sowohl Kinder als auch Erwachsene Rhythmen genauer zu reproduzieren, wenn diese zuvor multisensorisch (auditiv und visuell) dargeboten werden. Dies weist erstmalig darauf hin,

dass die multisensorische Darbietung der Rhythmen durch die Versuchsleitung auch in der Imitationsphase und bei Erwachsenen in der Metakognitionsphase zu einer intersensorischen Erleichterung führt. Diese intersensorische Erleichterung spiegelt sich wiederum in einer genaueren Rhythmusreproduktion wider. Frühere Studien konnten dies bisher nur bei Säuglingen und im Alter von 5 Jahren aufzeigen (Bahrick et al., 2011; Bahrick & Lickliter, 2000, 2002, 2014).

Darüber hinaus ergab der systematische Vergleich zwischen den Antwortformen, dass sich die Antwortformen in ihrer Genauigkeit unterscheiden. Diese Erkenntnis erweitert die Annahme aus einer früheren Studie, dass sich die Reproduktionsgenauigkeit in der Imitationsphase zwischen verschiedenen Antwortformen unterscheidet (Gooding & Standley, 2011). Basierend auf den Studienergebnissen kann davon ausgegangen werden, dass auch gegen Ende der Imitationsphase und bei Erwachsenen in der Metakognitionsphase noch Unterschiede bestehen.

Ergänzend konnte die neue Erkenntnis gewonnen werden, dass sich die Reihenfolge im Ranking der Antwortformen von der genauesten bis zur ungenauesten Reproduktion im Laufe der Imitationsphase stabilisiert. Durch Studie 1 konnte die frühere Annahme einer Verbesserung in der Genauigkeit des Klatschens zwischen 4 bis 6 Jahren (Gembris, 2006; Miyamoto, 2007) auch auf ältere Kinder übertragen werden. In der Reihenfolge der Antwortformen hat sich die Genauigkeit des Klatschens zwischen dem Alter von 7 und 8 Jahren um einen Platz verbessert. Bisher wurde angenommen, dass die rhythmische Reproduktion durch Sprechen im Alter von 3 bis 4 Jahren im Vergleich zum Nachspielen an Instrumenten leichter gelingt (Gembris, 2006). Das Nachsprechen der Rhythmen in Studie 1 erwies sich jedoch sowohl für 5- bis 8-jährige Kinder als auch Erwachsene als die ungenaueste Reproduktionsform. Da gesprochene Event-Onsets sowohl akustisch als auch perzeptuell weniger prägnant sind als perkussiv erzeugte (Trommeln, Tippen, Klatschen), könnte dies eine Erklärung für die geringere Reproduktionsgenauigkeit sein. Studie 1 konnte somit diese Hypothese aus früheren Untersuchungen mit Erwachsenen auf Kinder zwischen 5 bis 8 Jahren erweitern (Danielsen et al., 2019; Marcus, 1981; Morton et al., 1976; Yu et al., 2023).

Alterseffekte. Die post-hoc Analyse zu Altersunterschieden in der Reproduktionsgenauigkeit ergab Alterseffekte in der Gesamtreproduktionsgenauigkeit. Da die Gesamtreproduktionsgenauigkeit von 5- bis 8-jährigen Kinder ungenauer war als die von Erwachsenen, ist anzunehmen, dass die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit sich noch länger als bisher angenommen verändert (Drake, 1993a; Miyamoto, 2007; Reifinger, 2006). Sowohl zwischen 6- und 7-jährigen Kindern sowie zwischen 8-jährigen Kindern und Erwachsenen zeigten sich starke Verbesserungen in der Reproduktionsgenauigkeit. Vor diesem stufenartigen Anstieg konnten Anzeichen für einen geringen Rückgang der Reproduktionsgenauigkeit beobachtet werden. Inwieweit es sich dabei um entscheidende Übergangsphasen für den Verlauf des Erwerbs der Reproduktionsfähigkeit handelt und welche Rolle die Rhythmuswahrnehmung dabei spielt, sollte in einer Längsschnittstudie weiter untersucht werden.

Entwicklungsmechanismen der Reproduktionsfähigkeit. Für die Vorhersage der Reproduktionsgenauigkeit spielt die Rhythmuswahrnehmung im Modell eine signifikante Rolle. Die Rhythmuswahrnehmung selbst verbessert sich mit zunehmendem Alter. Die post-hoc Analyse zu korrelativen Zusammenhängen zwischen Rhythmuswahrnehmung und Gesamtproduktion ergab, dass nur im Erwachsenenalter positive Zusammenhänge bestanden. Das Fehlen weiterer signifikanter Zusammenhänge bei 5- bis 8-Jährigen kann damit erklärt werden, dass sich sowohl die Wahrnehmung als auch die Reproduktion mit zunehmendem Alter entwickeln. Die Studienergebnisse liefern somit einen Hinweis darauf, dass der Fähigkeitsgewinn mehr auf allgemeine Alterseffekte (d.h. Verbesserung durch zunehmendes Alter) als auf Entwicklungen innerhalb der Wahrnehmung und Reproduktion zurückzuführen ist.

Neben der Rhythmuswahrnehmung wurde auch die Motorik als Kontrollvariable für die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit eingehend untersucht. Die Motorikskalen lieferten bei der Hinzunahme in das Modell zur Vorhersage der Reproduktionsgenauigkeit keinen signifikanten Erklärungswert. Auch ist die Motorik kein entscheidendes Charakteristikum, um Unterschiede zwischen den Altersgruppen vorherzusagen. Dies liefert zwei Anhaltspunkte dafür, dass die motorischen Fähigkeiten für die Reproduktionsfähigkeit im Rahmen der Studie abweichend zur Annahme aus früheren

Untersuchungen (Miyamoto, 2007) keinen entscheidenden Einfluss jenseits der altersbedingten Verbesserung der Motorik haben. Die post-hoc Analyse ergab für einzelne Unteraufgaben der Motorik Skalen signifikante Zusammenhänge mit der Gesamtreproduktionsgenauigkeit. Die meisten signifikanten Korrelationen bestanden zwischen Aufgaben der Handgeschicklichkeit und der Gesamtreproduktionsgenauigkeit. Allerdings variierten die Aufgaben zwischen den Altersgruppen, weshalb ausgehend von den Studienergebnissen keine systematischen Zusammenhänge zwischen der Handgeschicklichkeit und der Reproduktionsfähigkeit generalisiert werden können.

2.5.2 Limitationen und Ausblick

Es bestehen einige wichtige Limitationen, die die Interpretation der Ergebnisse beeinflussen könnten. Beginnend lagen bei der Datenerhebung Beschränkungen durch die Corona-Pandemie vor. Daher mussten ein Abstand von 1.5 Metern zwischen den Teilnehmenden und der Versuchsleitung eingehalten und Gesichtsmasken getragen werden. Auf diese Weise wurden Mund und Nase verdeckt, so dass sie nicht als Quelle für Informationen über die Mimik zur Verfügung standen. Besonders für die Antwortform Trommeln-Sozial könnte dies eine Rolle gespielt haben und womöglich die nichtsdestotrotz bestehenden sozialen Effekte interaktiven Trommelns unterschätzen.

Daran anschließend besteht die zweite Limitation im querschnittlichen Design der Studie. Dies ermöglichte erstmalig tiefere Erkenntnisse über Veränderungen in der Reproduktionsfähigkeit zwischen 5- bis 8-jährigen Kindern und Erwachsenen. In Längsschnittstudien könnten die beobachteten Veränderungen in der Reproduktionsfähigkeit anhand von Entwicklungsverläufen weiterverfolgt werden. Hierfür liefert das gewählte Querschnittsdesign als Vorbereitung wichtige Anhaltspunkte, da Veränderungen zwischen 5- und 8-Jährigen identifiziert wurden, die nun in Längsschnitt- oder auch Trainingsstudien genutzt werden können.

Die dritte Limitation ist die abweichende Transkriptionssoftware für die Antwortform Sprechen. Die Verwendung der gleichen Transkriptionssoftware führte dazu, dass durch zu sensitive Transkription aus den gesprochenen Trials keine Rhythmen identifiziert werden konnten. Die Analyse aller

nicht-gesprochenen Trials in der Transkriptionssoftware Tony (Mauch et al., 2015) ergab eine zu ungenaue Identifikation der Rhythmen. Auch unter Verwendung einer Alternativsoftware zu Tony (Mauch et al., 2015) würde die Limitation der unterschiedlichen Transkriptionssoftwares bestehen bleiben. Allerdings könnten in einer weiteren Studie die vorgegebenen und reproduzierten Rhythmen Erwachsenen vorgespielt werden und anschließend hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit auf einer mehrstufigen Skala bewertet werden. Trotz unterschiedlicher Transkriptionssoftware zeigt Studie 1, dass sowohl 5- bis 8-jährige Kinder als auch Erwachsene Sprache zur Reproduktion nutzen können und sich die Genauigkeit des Nachsprechens in der untersuchten Altersspanne unterscheidet.

Die vierte Limitation bezieht sich auf die Präsentation der vorgegebenen Rhythmen. Die Rhythmen in den Antwortformen Tippen, Sprechen, Klatschen und Trommeln - Akustisch wurden auf der Tonhöhe eines ein a' in der Klangfarbe eines Klaviers vorgegeben. Somit mussten die Teilnehmenden diese vorgegeben Informationen in die jeweilige Antwortform transferieren. Für die Antwortform Trommeln-Sozial entsprachen die Tonhöhe und die Klangfarbe während der Vorgabe der späteren Reproduktion. Zusätzlich bot das Verhalten der Versuchsleitung in der Antwortform Trommeln - Sozial auch visuelle Informationen; die rhythmische Darbietung war in diesem Fall multisensorisch (auditiv und visuell), in allen anderen Antwortformen dagegen monosensorisch (auditiv). Obwohl nicht in allen Antwortformen eine multisensorische Darbietung erfolgte, liefert Studie 1 bedeutsame Hinweise auf den positiven Nutzen einer multisensorischen Darbietung während der Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit. Zukünftige Untersuchungen könnten den in Studie 1 umfangreichen Vergleich der Antwortformen weiter vertiefen. Ansatzpunkte wären die Anpassung der Rhythmusvorgaben oder auch die multisensorische (auditive und visuelle) Präsentation der Rhythmen in den übrigen Antwortformen.

Eine weitere Limitation besteht in der Schwierigkeit der Aufgabe zur Rhythmuswahrnehmung. In der verwendeten Aufgabe zur Rhythmuswahrnehmung aus dem Musik-Screening-Verfahren (Jungbluth & Hafen, 2005) werden die Teilnehmenden nicht nur dazu instruiert auf Unterschiede zu achten, sondern diese anschließend auch noch einer spezifischen Trommel zuzuordnen. Dies könnte besonders für die jüngeren Teilnehmenden eine Herausforderung darstellen. Durch Herausforderung in der

starken Differenzierung nach der Wahrnehmung von Unterschieden, könnten die dennoch beobachtete Rhythmuswahrnehmung in Studie 1 die tatsächliche Wahrnehmung von rhythmischen Unterschieden möglicherweise unterschätzen. Daher können die Erkenntnisse aus Studie 1 zur Anpassung der Aufgabe genutzt werden, wofür eine Vereinfachung ohne den letzten Zuordnungsschritt denkbar wäre.

Zuletzt konnte die Entwicklung der motorischen Fähigkeiten und deren Relevanz für die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit nur eingeschränkt ausgewertet werden, obwohl in den Rohwerten Hinweise auf Zusammenhänge vorlagen. Die Testkonzeption sieht neben altersabhängigen Aufgabenschwierigkeiten innerhalb der Untertests zusätzlich eine altersstandardisierte Transformation der Rohwerte vor. Da der Movement-ABC-2 (Petermann, 2009) ursprünglich dazu konzipiert wurde, um klinische relevante Auffälligkeiten in motorischen Fähigkeiten zu identifizieren, macht diese Standardisierung Sinn. Allerdings scheint eine Differenzierung zwischen Teilnehmenden ohne motorische Defizite dadurch erschwert. Für Studie 1 konnte jedoch mit Hilfe des Movement-ABC-2 überprüft werden, dass die Teilnehmenden keine motorischen Einschränkungen aufwiesen, was ein Ausschlusskriterium für die Studie darstellte. Für zukünftige Studien wäre es wünschenswert einheitliche motorische Aufgaben zu verwenden, deren Ausführung zwischen den Altersgruppen vergleichbar ist.

Weitere Studien könnten auch die Qualität der Rhythmen näher erörtern und weitergehend verbessern. Die vorliegende Studie könnte dahingehend als Erprobung der ursprünglichen Rhythmen aus dem Musik-Screening-Verfahren (Jungbluth & Hafen, 2005) dienen. Die Entwickler dieses Verfahrens gingen bei der Konzeption von einer aufsteigenden Schwierigkeit zwischen den Rhythmen aus. Eine erstmals durchgeführte Analyse der Schwierigkeit über alle Rhythmen zeigt in Studie 1 jedoch, dass sich die ursprünglich konzipierte erhöhte Aufgabenschwierigkeit nicht in einer linearen Abnahme der Reproduktionsgenauigkeit widerspiegelt (Anhang F, Seite 206). Ausgehend von dieser Erkenntnis der Studie 1 wäre es für folgende Studien sinnvoll, die Reihenfolge der Rhythmen neu zu ordnen.

2.5.3 Schlussfolgerungen

Zusammengefasst ermöglichte Studie 1 einen tieferen Einblick in die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit als komplexe musikalische Fähigkeit. Dabei konnte die Erkenntnis gewonnen werden, dass sich die Reproduktionsfähigkeit zwischen 5- bis 8-jährigen Kindern und Erwachsenen verändert. Diese Veränderung scheint auch im Alter von 8 Jahren noch nicht abgeschlossen, da sich die untersuchten 5- bis 8-jährigen Kinder von Erwachsenen in ihrer Reproduktionsgenauigkeit unterscheiden.

Neben neuen Erkenntnissen über die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit als komplexe musikalische Fähigkeit war ein weiteres Ziel, mögliche Mechanismen der späten Entwicklung zu untersuchen. Die Ergebnisse von Studie 1 implizieren, dass die früh entwickelte Rhythmuswahrnehmung als basale musikalische Fähigkeit an der späteren Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit teilhat. Die Rhythmuswahrnehmung selbst verbessert sich innerhalb der untersuchten Altersspanne, was darauf verweist, dass die Entwicklung der frühen basalen musikalischen Fähigkeit keineswegs im Säuglingsalter abgeschlossen ist. Es besteht die Möglichkeit, dass die Alterseffekte in der Rhythmuswahrnehmung auch für die altersbedingte Veränderungen in der Reproduktionsgenauigkeit eine Rolle spielen. Keine entscheidende Rolle im Fähigkeitserwerb der Reproduktion scheinen in der untersuchten Stichprobe hingegen motorische Fähigkeiten zu spielen. Es bestanden nur vereinzelt Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Aufgaben des Movement-ABC-2 (Petermann, 2009) mit der Reproduktionsfähigkeit. Daher scheinen auf Grundlage der Studienergebnisse motorische Fähigkeiten die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit bei Teilnehmenden ohne motorische Einschränkungen nicht zu begrenzen.

Ein Schwerpunkt bestand im systematischen Vergleich der Reproduktionsfähigkeit in fünf verschiedener Antwortformen (Tippen, Sprechen, Klatschen, Trommeln - Akustisch und Trommeln - Sozial). Die Ergebnisse von Studie 1 weisen darauf hin, dass den Teilnehmenden die genaueste Reproduktion in der Antwortform Trommeln-Sozial gelingt und die ungenaueste Reproduktion durch Sprechen erfolgt. Die Reihenfolge der Antwortformen hinsichtlich der Genauigkeit der Rhythmusreproduktion stabilisiert sich ab dem Alter von 8 Jahren. Der Vergleich zwischen den Antwortformen lässt vermuten, dass alle Teilnehmenden von der Präsentation der Rhythmen durch die Versuchsleitung

profitieren. Die Versuchsleitung präsentierte sowohl den Klang der zu reproduzierenden Rhythmen auf der Trommel als auch die Art der Handbewegung zur Erzeugung dieses Klanges. Somit liefern die Studienergebnisse erstmalig Hinweise auf eine multisensorische Erleichterung der Rhythmusreproduktion, die nicht nur bei Kindern im Alter von 5 bis 8 Jahren, sondern auch bei Erwachsenen messbar ist.

3 Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit (Studie 2)

Eine ähnliche Version dieses Kapitels wurde zur Veröffentlichung eingereicht:

Will, J. K., Frieler, K., Polak, R. & Degé, F. (eingereicht) The Development of Sensorimotor Synchronization in 5- to 8-year-old Children: Exploring the Aspects of Tempo Perception and Beat Production.

3.1 Hintergrund

Bisherige Studien zur Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit verweisen darauf, dass sich die Fähigkeit zur Synchronisation während der Imitationsphase (4 bis 9 Jahre) entwickelt und zunehmend genauer wird (Carrer et al., 2022; Drake, 1997; Drewing et al., 2006; Monier & Droit-Volet, 2019; Wolff & Hurwitz, 1976). Ein Indikator für die Entwicklung ist der Wechsel von reaktivem zu prädiktivem Trommeln im Alter von 2 bis 4 Jahren (Kirschner & Tomasello, 2009; Provasi & Bobin-Bègue, 2003). Dies legt die Vermutung nahe, dass Kinder mit zunehmendem Alter ihre Bewegungen präziser synchronisieren und eine Synchronisation mit negativer Asynchronität stattfindet. Allerdings wurde diese Hypothese bislang nicht mit älteren Kindern ab fünf Jahren überprüft. Es ist denkbar, dass neben einer Verbesserung auch Schwankungen im Entwicklungsverlauf der Synchronisationsfähigkeit auftreten.

Innerhalb der Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit scheinen sowohl 6-monatige Säuglinge als auch 2- bis 4-jährige Kinder von einer multisensorischen (auditiven und visuellen) Darbietung zu profitieren und ihre Bewegungen genauer zu synchronisieren. Dieser Kontexteffekt gegenüber einer rein auditiven Darbietung zeigt sich bei Säuglingen in einer höheren Synchronisationsgenauigkeit beim Trommeln mit einem menschlichen Partner (Yu & Myowa, 2021). Ebenfalls ist die Synchronisationsgenauigkeit von 2- bis 4-jährigen Kindern genauer, wenn die Zielsequenz von einem menschlichen Partner statt von einer Aufnahme oder einer Trommelmaschine vorgegeben wird (Kirschner & Tomasello, 2009). Trotz der Hinweise aus bisherigen Studien fehlt es an einer Fortsetzung mit älteren Kindern. Bislang ist unklar, wie lange Kinder der Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit von der multisensorischen Darbietung durch einen menschlichen Partner profitieren. Möglicherweise benötigen

ältere Kinder in der Imitationsphase, ähnlich wie Erwachsene, keine multisensorische Darbietung mehr, da ihre Synchronisationsfähigkeit bereits weiter entwickelt ist als bei jüngeren Kindern.

Neben der multisensorischen Darbietung könnten auch basale musikalische Fähigkeiten, wie z.B. die Tempowahrnehmung, zum Erwerb der Synchronisationsfähigkeit beitragen. Frühere Studien im Kindesalter deuten darauf hin, dass Säuglinge ab der Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) periodische Regelmäßigkeiten in auditiven Reizen wahrnehmen (Hannon et al., 2017). Im weiteren Verlauf der Beherrschungsphase wird Periodizität nicht nur erkannt, sondern auch zwischen verschiedenen Tempi unterschieden (Ellis, 1992; Nave-Blodgett et al., 2021). Wann die Wahrnehmungsfähigkeiten von Kindern die von Erwachsenen erreichen und inwieweit die bereits früh entwickelte Tempowahrnehmung zur späteren Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit beiträgt, bedarf weiterer Untersuchungen. In diesem Zusammenhang ist es vorstellbar, dass eine genauere Tempowahrnehmung es Kindern und Erwachsenen ermöglicht, auch eigene Abweichungen vom Zieltempo während der Synchronisation wahrzunehmen und durch eine anschließende Korrektur eine genauere Synchronisation zu erzielen.

Wie bereits in der Einleitung thematisiert, könnte nicht nur die Tempowahrnehmung, sondern auch die Fähigkeit zur Beat-Produktion für die Entwicklung der Synchronisation relevant sein. Bisherige Studien zeigen, dass sich die Beat-Produktion zur Musik in der Imitationsphase zwischen 4 und 9 Jahren verbessert (Eerola et al., 2006; Sims, 1985). Allerdings lassen bisherige Untersuchungen offen, ob es einen direkten Zusammenhang zwischen der Beat-Produktion und der Synchronisationsfähigkeit im Verlauf der Entwicklung gibt. Da die Fähigkeiten zur Synchronisation und zur Beat-Produktion beide einen prädiktiven Anteil haben bevor Bewegungen ausgeführt werden, scheinen Gemeinsamkeiten im Entwicklungsverlauf naheliegend, weshalb die Fähigkeit zur Beat-Produktion zur Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit beitragen könnte.

3.2 Ziele

Studie 2 soll für das erste Ziel der vorliegenden Arbeit ein tieferes Verständnis der Entwicklung der Synchronisation als zeitlich-rhythmische musikalische Fähigkeit ermöglichen. Als erstes Studienziel wurde daher untersucht, ob die Synchronisationsgenauigkeit und -präzision mit dem Alter zunehmen. Zur Umsetzung wurde die Synchronisationsfähigkeiten von 5- bis 8-jährigen Kindern mit denen von Erwachsenen (Kontrollgruppe) verglichen.

Zweitens ist das Ziel von Studie 2 die Überprüfung von Kontexteffekten auf die Synchronisation. Hierzu wird eine konzeptionelle Replikation der Studie von Kirschner und Tomasello (2009) angestrebt. Im Gegensatz zur ursprünglichen Originalstudie konzentriert sich die vorliegende Studie 2 auf die Metronom-Bedingung (in der ursprünglichen Studie als „akustische Bedingung“ bezeichnet) und die Personen-Bedingung (in der ursprünglichen Studie als „soziale Bedingung“ bezeichnet). Auf die audiovisuelle Bedingung wurde verzichtet, da das Hinzufügen von visuellem Input die Synchronisation im Vergleich zum alleinigen auditiven Input in der Originalstudie nicht verbesserte (Kirschner & Tomasello, 2009).

Ein drittes Studienziel besteht darin, Unterschiede in der Synchronisation zwischen verschiedenen Tempi zu analysieren (Geschwindigkeitseffekte). Wie in der Originalstudie von Kirschner und Tomasello wurden dazu die Tempi 400 ms IOI und 600 ms IOI verwendet. Das Augenmerk liegt darauf, inwiefern die Synchronisation in beiden Tempi voneinander abweicht oder auf vergleichbarem Niveau gelingt.

Als letztes Studienziel wird untersucht, ob sich die basale Fähigkeit der Tempowahrnehmung beim Erwerb der komplexen Fähigkeit zur Synchronisation noch verändert und in welcher Beziehung sie zueinanderstehen. Daher wird nicht nur die Synchronisation zu verschiedenen Tempi geprüft, sondern auch die Wahrnehmung von Unterschieden zwischen Tempi separat gemessen. Neben der Tempowahrnehmung wurde auch die Beat-Produktion als Kontrollvariable für die Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit analysiert. Dazu werden altersbedingte Veränderungen in Entwicklung der Beat-Produktion analysiert und deren Rolle für die Entwicklung der Synchronisation zu überprüft.

3.3 Methode

Für Studie 2 wurde in einem gemeinsamen Antrag mit Studie 1 vorab das Votum der Ethikkommission der Max-Planck-Gesellschaft für die teilnehmenden Kinder eingeholt (siehe Seite 46). Für die erwachsenen Teilnehmenden lag bereits ein positives Votum durch die Rahmengenehmigung des Max-Planck-Instituts für Empirische Ästhetik vor.

3.3.1 Stichprobe

Die Rekrutierung der Teilnehmenden und die Datenerhebung wurde gemeinsam mit Studie 1 durchgeführt. Demnach waren die Ausschlusskriterien ebenfalls Einschränkungen in der Hörfähigkeit und Motorik. Eine Beschreibung der Teilnehmenden ist in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6

Charakteristika der Stichprobe Studie 2

	5-Jährige	6-Jährige	7-Jährige	8-Jährige	Erwachsene
Alter (in Monaten)	$M = 65.35$ ($SD = 3.55$)	$M = 77.41$ ($SD = 3.27$)	$M = 89.26$ ($SD = 3.80$)	$M = 100.69$ ($SD = 3.35$)	$M = 273.51$ ($SD = 58.45$)
Geschlecht	22 w/ 9 m/ 0 d	18 w/ 11 m/ 0 d	27 w/ 19 m/ 0 d	20 w/ 16 m/ 0 d	25 w/ 32 m/ 1 d
Musikunterricht (in Monaten)	$M = 1.52$ ($SD = 4.11$)	$M = 1.50$ ($SD = 6.86$)	$M = 2.72$ ($SD = 6.43$)	$M = 2.50$ ($SD = 8.38$)	$M = 53.34$ ($SD = 62.69$)
Musikhören (in Stunden/Woche)	$M = 1.00$ ($SD = 0.00$)	$M = 3.43$ ($SD = 0.88$)	$M = 3.50$ ($SD = 0.51$)	$M = 3.58$ ($SD = 0.65$)	$M = 3.42$ ($SD = 0.89$)
Musizieren	58 %	15 %	38 %	38 %	53 %
Freizeitaktivitäten (in Monaten)	$M = 0.81$ ($SD = 0.40$)	$M = 27.04$ ($SD = 23.43$)	$M = 33.57$ ($SD = 26.98$)	$M = 38.33$ ($SD = 32.47$)	$M = 139.69$ ($SD = 90.22$)
Elterliche Bildung: Universitäts- abschluss	42 % keine(r) 20 % eine(r) 38 % beide	25 % keine(r) 29 % eine(r) 46 % beide	51 % keine(r) 20 % eine(r) 29% beide	43 % keine(r) 37 % eine(r) 20 % beide	46 % keine(r) 15 % eine(r) 39 % beide
Familieneinkommen (pro Monaten)	0 % A 4 % B 12 % C 17 % D 21 % E 46 % F	0 % A 0 % B 12 % C 28 % D 12 % E 48 % F	3 % A 3 % B 23 % C 28 % D 25 % E 18 % F	0 % A 3% B 11 % C 23 % D 25 % E 38 %F	0 % A 13% B 14 % C 20 % D 31 % E 22 % F
Geburt Deutschland	100 %	96 %	94 %	97 %	90 %
Muttersprache	77 % Deutsch	71 % Deutsch	83 % Deutsch	86 % Deutsch	90 % Deutsch

Anmerkung. Abkürzungen Geschlecht: w = weiblich, m = männlich, d = divers. Abkürzungen Familieneinkommen pro Monat: A = unter 1000€, B = 1000 – 2000€, C = 2000 – 3000€, D = 3000 – 4000€, E = 4000 – 5000€, F = über 5000€.

Die Stichprobe umfasst insgesamt $N = 200$ (113 weibliche) Teilnehmende, unterteilt in 5-jährige Kinder ($n = 31$), 6-jährige Kinder ($n = 29$), 7-jährige Kinder ($n = 46$), 8-jährige Kinder ($n = 36$) und Erwachsene ($n = 58$).

3.3.2 Materialien

Tempowahrnehmung. Die Fähigkeiten zur Tempowahrnehmung wurden mit einer Diskriminationsaufgabe aus dem Musik-Screening-Verfahren von Jungbluth und Hafen (2005) getestet, die aus 10 Aufgaben mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad bestand. Innerhalb der Aufgaben war eine Unterscheidung von Tempi erforderlich, wobei auch die Richtung der Veränderung angegeben werden sollte. Jede einzelne Aufgabe bestand aus 5 Beats und hatte ein Tempo zwischen 60 bpm - 120 bpm. Die Teilnehmenden hörten eine erste und danach eine zweite Metronomsequenz. Anschließend sollten sie beurteilen, ob die erste Sequenz schneller, langsamer oder gleich schnell wie die zweite Metronomsequenz war. Zusammen mit der Versuchsleitung wurden die Beurteilungen auf einem Antwortbogen festgehalten. Auf dem Antwortbogen waren langsamere und schnellere Noten als Punkte mit unterschiedlichen Abständen dargestellt wurden (d.h. geringer Abstand zwischen den Punkten für die schnelle Version und größerer Abstand für die langsame Version). Für jede richtige Antwort wurde ein Punkt vergeben. Es konnten insgesamt maximal 10 Punkte erreicht werden. Für die Aufgabe zur Tempowahrnehmung liegen keine Gütekriterien vor.

Beat-Produktion. Zur Messung der Beat-Produktion absolvierten die Teilnehmenden wie im Musik-Screening-Verfahren von Jungbluth und Hafen (2005) insgesamt vier verschiedenen Durchgängen, während sie immer das gleiche Lied hörten. Zuerst hörten die Teilnehmenden das Lied und wurden gebeten, so schnell zu laufen, wie die Musik spielte. Im zweiten Durchgang wurden sie aufgefordert, mitzuklatschen. Die nächsten beiden Durchgänge waren eine Wiederholung des zweiten Durchganges, mit dem Unterschied, dass die Musik früher aufhörte und die Teilnehmenden aufgefordert wurden, so lange zu klatschen, bis eine aufgezeichnete Stimme sie aufforderte, aufzuhören. Die

Fähigkeit zur Beat-Produktion wurde durch Addition der Punkte für jeden Durchgang berechnet. In jedem Durchgang konnten maximal 2 Punkte erreicht werden (2 Punkte für 95% der Zeit richtig, 1 Punkt für mindestens 60% der Zeit richtig). Daraus ergab sich eine maximale Punktzahl von 8 Punkten für die Aufgabe zur Beat-Produktion. Es bestehen keine Angaben zu Gütekriterien für die Aufgabe zur Messung der Beat-Produktion.

Die Beat-Produktion unterscheidet sich in Studie 2 dahingehend von der Synchronisationsfähigkeit, dass es einen größeren prädiktiven Anteil in der Beat-Produktion gibt. Im Gegensatz zur Messung der Synchronisationsfähigkeit bestehen durch die frühere Beendigung des Musikstücks weniger Möglichkeiten zum Abgleich der eigenen Bewegungen. So steht bei der Messung der Synchronisationsfähigkeit, wie im folgenden Abschnitt beschrieben, die Synchronisierung der eigenen Bewegungen mit einer isochronen Abfolge von Trommelschlägen im Vordergrund und bei der Messung der Beatproduktion die Fähigkeit, einen Takt aus einem Musikstück zu entnehmen, auszuführen und beizubehalten.

Trommelkönig-Aufgabe. Das Paradigma des "Trommelkönigs" wurde von Kirschner und Tomasello (2009) als ein kindgerechtes konzeptionelles Analogon zum etablierten Paradigma des Synchronisationsklopfens (Repp, 2006) entwickelt. Das "Trommelkönig"-Paradigma wurde genutzt, um sensomotorische Synchronisationsbewegungen (d.h. Trommeln) in einer spielerischen Atmosphäre hervorzurufen. In dieser spielerischen Atmosphäre wurden die Teilnehmenden und die Versuchsleitung zu Trommelkönigen, indem sie beim Trommeln Kronen trugen.

Die Stimuli wurden unter zwei verschiedenen Bedingungen präsentiert: In der *Metronom-Bedingung* wurden akustische Stimuli über einen versteckten Lautsprecher präsentiert. Wie in der Originalstudie war der Lautsprecher mit einer blauen Box verkleidet und den Teilnehmenden während der Datenerhebung als Radio vorgestellt. Die Stimuli in der *Personen-Bedingung* wurden live durch die geschulte Versuchsleitung vorgetragen. Während der Darbietung trug die Versuchsleitung einen versteckten Kopfhörer und hörte ein Metronom, um Geschwindigkeitsschwankungen zu minimieren (Abbildung 13, Seite 88). Der Unterschied zwischen den beiden Bedingungen besteht nicht nur wie in der

Originalstudie von Kirschner und Tomasello (2009) thematisiert in der sozialen und einer akustischen Darbietung. Viel mehr besteht auch Variationen auf den Dimensionen der Modalität (auditiv in der Metronom-Bedingung vs. audiovisuell in der Personen-Bedingung) und dem Handlungskontext (individuell vs. sozial interaktiv).

Vorab wurden zwei Zielsequenzen mit 600 ms und 400 ms IOI erstellt, indem ein einzelner Trommelschlag aufgenommen und dieser wiederholt zu Sequenzen von 20 Sekunden mit Audacity Version 3.1.0 zusammensetzt wurde (Audacity-Team, 2021). Zusätzlich wurden kürzere Übungssequenzen von drei Trommelschlägen erzeugt, die der Gewöhnung an das Zieltempo zu Beginn der Aufgabe dienen. Es liegen keine Informationen zu den Gütekriterien für die Trommelkönig-Aufgabe vor.

Kontrollvariablen. Mit Hilfe eines Fragebogens wurde wie in Studie 1 (Seite 51) das Alter, das Geschlecht, der Umfang der musikalischen und außerschulischen (nicht-musikalischen) Aktivitäten, der kulturelle Hintergrund sowie der sozioökonomische Status aller Teilnehmenden erfasst, um interindividuelle Unterschiede zu untersuchen. Für die Überprüfung der Kontrollvariablen mittels des beschriebenen Fragebogens bestehen keine Angaben zu Gütekriterien.

3.3.3 Versuchsaufbau

Während der gesamten Testung saßen die Versuchsleitung und die teilnehmenden Kinder auf Kinderstühlen. Für die Erwachsenenstichprobe wurden diese Stühle durch Stühle in Originalgröße ersetzt. Aufgrund von COVID-Beschränkungen trugen die Versuchsleitung und alle Teilnehmenden Gesichtsmasken und saßen 1.50 Meter voneinander entfernt.

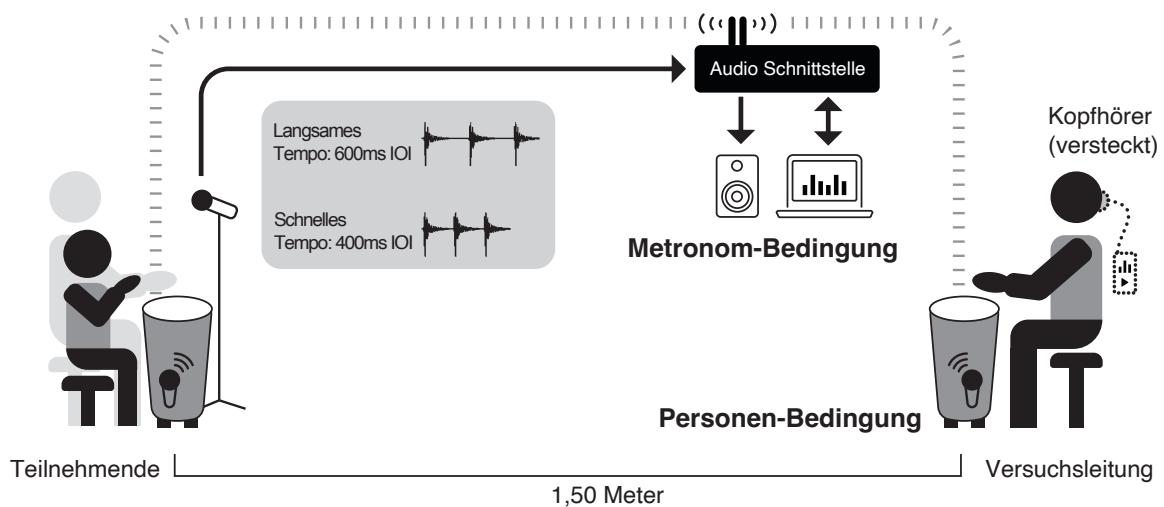
Die Antworten wurden auf zwei identischen Trommeln (56 cm hoch) mit einem kinderfreundlichen Regenwalddesign und einem Durchmesser von 25.40 cm erzeugt. Sowohl die Stimuli als auch die Antworten wurden mit Mikrofonen aufgezeichnet. Zwei Mikrofone wurden im Inneren der Trommeln platziert, um das Trommeln der Teilnehmenden und der Versuchsleitung (nur *Personen-Bedingung*) auf getrennten Spuren aufzunehmen. Ein zusätzliches Standmikrofon, das neben der teilnehmenden

Person, aber außerhalb der Trommel platziert war, diente als Ersatz, um bei Ausfall der Trommelmikrofone die Antworten der Teilnehmenden aufzunehmen.

Insgesamt wurden drei Audioeingänge (für die Versuchsleitung wurde in der *Metronom-Bedingung* nichts aufgezeichnet) über eine Schnittstelle auf einem Laptop mit dem Programm REAPER in separaten Audiospuren aufgezeichnet (Cockos Inc., 2021). Die Audioeinstellungen und die Lautstärke wurden für jede teilnehmende Person gleichermaßen über das Programm Focusrite Control (Expressive, 2021) angepasst. In Abbildung 13 ist der beschriebene Versuchsaufbau zur Messung der Synchronisationsfähigkeit visualisiert.

Abbildung 13

Versuchsaufbau zur Messung der Synchronisationsfähigkeit



Anmerkung. Die isochrone Zielsequenz von entweder 600 ms IOI (langsame Geschwindigkeit) oder 400 ms IOI (schnelle Geschwindigkeit) wurde in zwei verschiedenen Bedingungen präsentiert. In der Personen-Bedingung trommelten die Teilnehmenden mit der Versuchsleitung. In der Metronom-Bedingung wurden die Teilnehmenden gebeten, mit dem Radio (versteckter Lautsprecher) zu trommeln. Die erzeugten Trommelschläge wurden über drahtlose Verbindungen (gestrichelte Linien) an das Audio-Interface übertragen.

3.3.4 Versuchsdurchführung

Die Datenerhebung wurde an zwei Tagen durchgeführt. Am ersten Tag wurde die basale musikalische Fähigkeit zur Tempowahrnehmung mit einer Unterscheidungsaufgabe getestet, die 10 Items umfasste. Alle Teilnehmenden absolvierten zuerst zwei Trainingsaufgaben. Nach korrekter Zuordnung beider Trainingsaufgaben, wurde die Tempowahrnehmung mit zehn Items überprüft.

Der zweite Tag umfasste die „Trommelkönig“-Aufgabe aus der Originalstudie und die allgemeinen musikalischen Fähigkeiten der Beat-Produktion. Zum Aufwärmen spielten die teilnehmenden Kinder zunächst ein zweiminütiges Spiel mit der Versuchsleitung. Die erwachsenen Teilnehmenden wurden zum Aufwärmen in ein Gespräch eingebunden. Der weitere Ablauf war für beide Gruppen gleich und alle Teilnehmenden wurden einzeln getestet. Die Versuchsleitung stellte die „Trommelkönig“-Aufgabe vor. Die Teilnehmenden und die Versuchsleitung nahmen ihre Positionen hinter den Trommeln ein und setzten ihre Papierkronen auf.

Zunächst fand eine Gewöhnung an die Aufgabe in das erste Tempo statt und unmittelbar danach wurde der Test für das erste Tempo in der ersten Bedingung (z.B. Personen-Bedingung) durchgeführt. In den Gewöhnungsphasen spielte die Versuchsleitung (Personen-Bedingung) drei Schläge der ersten Zielgeschwindigkeit (z.B. 600 ms IOI) zur Gewöhnung an die Aufgabe, und fragte die Teilnehmenden: *„Kannst du auch so trommeln?“* Die Teilnehmenden erhielten keine weiteren Anweisungen, wie sie trommeln sollten, außer dass sie dazu eine flache Hand verwenden sollten. Die Teilnehmenden beantworteten die Frage, indem sie das Trommeln der Versuchsleitung nachahmten. Anschließend stellte die Versuchsleitung die Hauptaufgabe für die Personen-Bedingung vor (*„Jetzt möchte ich mit dir zusammentrommeln. Hör zu, wie ich trommele. Kannst du mit mir trommeln?“*). Danach trommelte die Versuchsleitung 20 Sekunden lang bei 600 ms IOI, während der Blickkontakt mit den einzelnen Teilnehmenden aufrechterhalten wurde. Danach erfolgten die Einweisung und der Test für das zweite Tempo (z.B. 400 ms IOI).

Anschließend wurde der teilnehmenden Person die Metronom-Bedingung vorgestellt (*„Schau, das ist ein Radio. Höre zu. Aus dem Radio kommen Trommelgeräusche. Kannst du mit dem Radio trommeln?“*). In der Metronom-Bedingung (zweite Durchführung) spielte der versteckte Lautsprecher 20

Sekunden lang Trommelschläge bei 600 IOI, und der Versuchsleiter schaute währenddessen auf das Radio. Nachdem beide Bedingungen mit der ersten Zielgeschwindigkeit (z.B. 600 ms IOI) abgeschlossen waren, wurde der gleiche Ablauf mit dem zweiten Zieltempo (z.B. 400 ms IOI) wiederholt. Die gesamte Datenerhebung für die Synchronisation fand am selben Tag statt. Zum Abschluss des zweiten Tages wurde die Beat-Produktion in vier verschiedenen Durchführungen gemessen.

Am Ende erhielten die Kinder für ihre Teilnahme ein kleines Geschenk und durften ihre Papierkrone behalten, die sie während der Datenerhebung als Trommelkönige erhalten hatten. Die Erwachsenen bekamen nach der Teilnahme eine Aufwandsentschädigung von 21€.

3.3.5 Design

Die Studie hat ein 5 x 2 x 2 gemischtes Design, mit dem Alter als Zwischensubjektfaktor und den Innersubjektfaktor Geschwindigkeit (600 ms IOI oder 400 ms IOI) und Bedingung (Metronom oder Person). Zu Beginn der Sitzung wurde der Versuchsleiter über die Reihenfolge von Bedingung und Geschwindigkeit anhand einer Liste informiert, auf der jede Versuchsperson zuvor zufällig einer Startbedingung zugewiesen wurde. Die Teilnehmenden wussten nichts von der Reihenfolge und wurden von der Versuchsleitung durch die Sitzung geführt.

3.3.6 Aufbereitung der Daten

Die vollständigen Audioaufnahmen der gesamten Sitzungen wurden mit Audacity in kurze Sequenzen für jede Geschwindigkeit und Bedingung geschnitten (Audacity Team, 2021), was insgesamt 808 Audiodateien ergab. Anschließend wurde die Konsolenanwendung Sonic Annotator (Cannam et al., 2010) mit dem Note Onset Detector Vamp Plugin der Queen Mary University (Duxbury et al., 2003) verwendet, um den Beginn jedes Trommelschlags zu bestimmen. Die Aufnahmen der Mikrofone im Inneren der Trommel waren ausreichend sauber, d.h. frei von störenden Geräuschen durch andere Schallquellen, und konnten direkt verarbeitet werden. Das Signal des Raummikrofons war eine Mischung aus Stimulus und Reaktion und wurde daher nur für die zeitliche Abstimmung und

Synchronisation der verschiedenen Tonspuren verwendet und nicht in die weitere Analyse einbezogen. Das Timing der Trommelschläge wurde in Grad (0° bis 360°) auf einem Kreis transformiert, wobei 0° den Zielschlagereignissen zugeordnet wurde. Eine Drehung im Uhrzeigersinn entlang des Kreises entspricht dem Zeitintervall zwischen zwei Zielschlägen. Mit Hilfe des Pakets *circular* (Agostinelli & Lund, 2011) wurden in RStudio Version 2022.07.2 (R Studio Team, 2022) die mittleren Vektoren R für jede Bedingung berechnet, der die mittlere Richtung θ und die mittlere resultierende Länge R der auf der Trommel produzierten Schläge umfasst. Um die Qualität der Synchronisation zu bewerten, wurden drei etablierte Maßstäbe zur Charakterisierung der Genauigkeit, Phase und Präzision der Synchronisationsantworten verwendet.

Die Synchronisationsforschung konvergiert zunehmend darin, als „Genauigkeit“ der Synchronisation das grundlegende Maß der mittleren absoluten Asynchronitäten und als „Präzision“ den Grad der Konsistenz oder Variabilität (ein gewisses Maß an SD) zu betrachten. Leider wurden in der Originalstudie (Kirschner & Tomasello, 2009) abweichende Bezeichnungen verwendet. Die Studie 2 folgt jedoch dem aktuellen Trend in der Terminologie. Daher muss angemerkt werden, dass das Konzept der Genauigkeit (mittlere absolute Asynchronien) in Studie 2 identisch ist mit dem, was Kirschner und Tomasello als „Tempoanpassung“ bezeichneten. „Phase“ in Studie 2 entspricht der „Phasenpräferenz“ und die „Präzision“ (SD der Asynchronien) der „Genauigkeit“ in der Originalstudie.

Zuerst wurde die *Synchronisationsgenauigkeit* (in der Originalstudie als „Tempoanpassung“ bezeichnet) analysiert. Wie in der Originalstudie wurden dazu das mittlere IOI und die mittleren absoluten Abweichungen vom Ziel-IOI verwendet. Über die Originalstudie hinausgehend wurde eine Analyse der Tempoabweichung und der absoluten Abweichung des Tempos hinzugefügt.

Darüber hinaus wurden die *Phasenbeziehungen* untersucht, d.h. ob die Phasendifferenzen der Reaktionen auf den Stimulus im Durchschnitt negativ (vorausgehend) oder positiv (nacheilend) waren. Dazu wurde die mittlere Richtung θ (kreisförmiger Mittelwert), die einen Winkel darstellt, der die Phase der Reaktion relativ zum externen Stimulus angibt, als Messwert ausgewählt. Anhand des Winkels der mittleren Richtung θ kann abgelesen werden, ob eine positive oder negative Asynchronität vorliegt.

Um den Grad der Konsistenz (Ausmaß der Variabilität) der Trommelreaktion (*Synchronisationspräzision*) zu analysieren, wurde als drittes Maß die Standardabweichung der Inter-Onset-Intervals (SD_{IOI}) bestimmt. Dabei führten kleinere Abweichungen von der isochronen Zielsequenz (400 ms IOI oder 600 ms IOI) zu geringeren Abweichungen der SD_{IOI} . Da die SD_{IOI} einen natürlichen Nullpunkt hat, d. h. die Teilnehmenden trommelten genau in der Zielgeschwindigkeit ohne Abweichungen, und die visuelle Inspektion der Verteilung der SD_{IOI} eine schiefe Verteilung zeigte, wurde die logarithmierte SD_{IOI} für die weitere Analyse gewählt.

Zu Beginn von Studie 2 waren 235 Personen aus fünf Altersgruppen angemeldet (5-jährige Kinder, 6-jährige Kinder, 7-jährige Kinder, 8-jährige Kinder und Erwachsene), von denen insgesamt 218 Personen die Teilnahme an Studie 2 begannen. Acht Teilnehmende nahmen nicht an beiden Sitzungen teil, was zum Ausschluss aufgrund unvollständiger Daten führte (ein 5-jähriges Kind, zwei 6-jährige Kinder, vier 7-jährige Kinder und ein 8-jähriges Kind). Aufgrund von Aufzeichnungsfehlern wurden sechs Teilnehmende ausgeschlossen, da keine auswertbaren Audiosequenzen vorhanden waren (zwei 5-jährige Kinder, zwei 6-jährige Kinder, ein 7-jähriges Kind und eine erwachsene Person). Darüber hinaus wurden zwei 5-jährige Kinder aus der finalen Stichprobe ausgeschlossen, da sich eines als zu jung erwies und das andere den Anweisungen zum Trommeln mit nur einer Hand nicht folgte.

Die Audioaufnahmen der verbleibenden 202 Teilnehmenden wurden in kleinere Sequenzen (vier Trials pro teilnehmende Person) geschnitten, um einzelne Trials durch gezielte Datendiagnose auszuschließen. Vier 5-jährige Kinder trommelten weniger als 50 Prozent eines Trials, und ein 5-jähriges Kind spielte verschiedene Rhythmen anstelle der isochronen Zielsequenz. Im nächsten Schritt wurde ein Bereich um den Median des IOI definiert, um Ausreißer in den schnellen ($200 \text{ ms} > \text{Median IOI} > 550 \text{ ms}$) und langsamen ($450 \text{ ms} > \text{Median IOI} > 700 \text{ ms}$) Trials zu identifizieren. Zwei Teilnehmende waren Ausreißer über alle schnellen und langsamen Trials in beiden Bedingungen (ein 7-jähriges Kind und ein Erwachsener). In der Personen-Bedingung mussten ein weiteres 5-jähriges Kind sowohl für die langsame als auch für die schnelle Bedingung ausgeschlossen werden. Die endgültige Analyse wurde auf der Grundlage von 200 Teilnehmenden und 793 Trials durchgeführt.

3.3.7 Analysestrategie

Für die Analyse der Synchronisationsgenauigkeit und der Präzision wurden lineare gemischte Modelle gewählt, anstatt ANOVAs zu berechnen. Dadurch konnten zufällige Effekte der Teilnehmenden und wiederholte Messungen berücksichtigt werden, da alle Teilnehmenden vier Trials trommelten (z. B. Metronom-langsam, Person-langsam, Metronom-schnell, Person-schnell). Zuerst wurde damit begonnen drei lineare Modelle (zwei für die und eins für die Präzision) mit der besten Anpassung und der höchsten Varianzauflösung zu identifizieren. Zur Durchführung des im letzten Satz vorgestellten Analyseschrittes wurden die Pakete lmer (Kuznetsova et al., 2017) und lm4 (Bates et al., 2015) in RStudio (R Studio Team, 2022) verwendet.

Auf der Suche nach dem Modell mit den besten Vorhersageparametern wurden in einem ersten Schritt vier Modelle aufgestellt, um Wechselwirkungen zwischen Alter, Bedingung (Metronom vs. Person) und Geschwindigkeit (langsam vs. schnell) zu untersuchen. Abhängige Variablen waren Tempoabweichung und absolute Tempoabweichung für die Genauigkeit und logarithmierte $SD_{|O|}$ für die Präzision. Eine Zusammenfassung aller Modellvergleiche ist in Anhang G (Seite 208) zu finden. Im zweiten Schritt wurde das Modell mit der besten Anpassung um die Beat-Produktion und Tempowahrnehmung als Kovariate erweitert, um zu sehen, ob dies das Modell verbessern könnte. Tatsächlich zeigen Modelle, die Beat-Produktion und Tempowahrnehmung enthalten, die bessere Vorhersage für alle Zielvariablen (Genauigkeit und Präzision).

Post-hoc Analysen für Genauigkeit und Präzision über Altersgruppen hinweg wurden mittels Tukey-HSD-Tests unter Verwendung des multcomp-Paket (Hothorn et al., 2008) durchgeführt. Für die Analyse der Phase wurden Homogenitätstest nach Watson für alle Altersgruppen, Geschwindigkeiten und Bedingungen berechnet.

3.4 Ergebnisse

Der Mindeststichprobenumfang wurde durch eine a-priori Poweranalyse mit dem Programm G*Power Version 3.1.9.4 (Faul et al., 2007, 2009) überprüft und ergab $N = 15$ Teilnehmende. Dazu

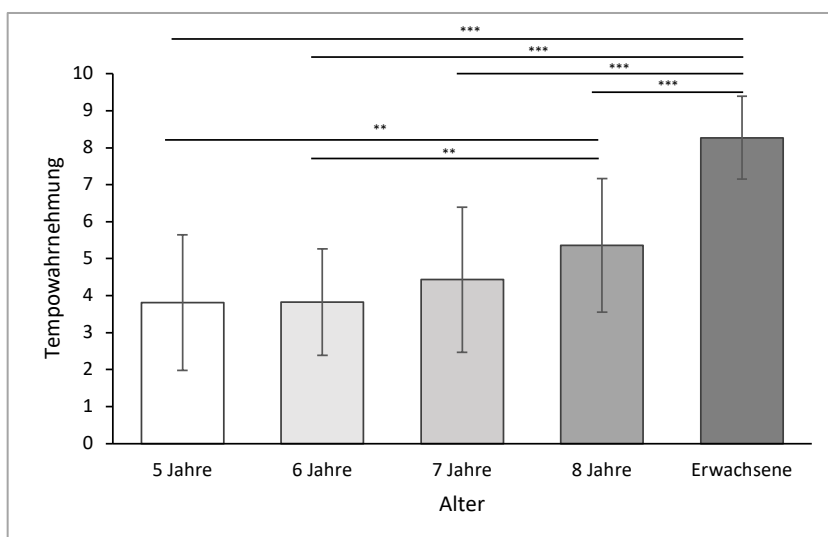
wurde ein Signifikanzkriterium von $\alpha = .05$ und einer Power von $(1-\beta) = .95$ angenommen. Als Grundlage wurde die Originalstudie von Kirschner und Tomasello (2009) gewählt, in der starke Effekte von Cohens $d = 0.87$ berichtet wurden. Die erhobene Stichprobe von $N = 200$ Teilnehmenden ist daher mehr als ausreichend, um bestehende Effekte in die Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit abzubilden.

3.4.1 Entwicklung der Tempowahrnehmung

Die Entwicklung der Tempowahrnehmung wurde mit einer einfaktoriellem ANOVA analysiert und ergab signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen, $F(4, 196) = 63.64, p < .001, \eta^2 = .565$. Demnach ist die allgemeine musikalische Fähigkeit zur Tempowahrnehmung in den untersuchten Altersgruppen verschieden. Zur weiteren Analyse dieser Unterschiede wurde eine post-hoc Altersgruppenvergleiche mit Bonferroni-Korrektur berechnet. Die Ergebnisse der Vergleiche sind in Abbildung 14 visualisiert.

Abbildung 14

Post-hoc Vergleiche der mittleren Tempowahrnehmung



Anmerkung. ** $p < .01$. *** $p < .001$.

Die über die Altersgruppe gemittelte Tempowahrnehmung von 5- bis 8-jährigen Kindern unterschied sich signifikant von der Tempowahrnehmung von Erwachsenen. Folglich erreichte die

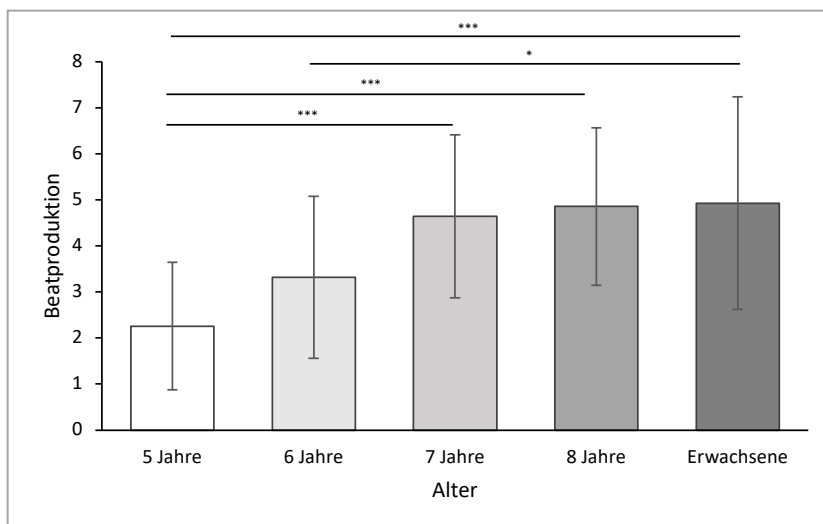
Tempowahrnehmung der Kinder nicht das Niveau der Erwachsenen. In Abbildung 14 ist jedoch ein Entwicklungstrend erkennbar, der auf eine verbesserte Tempowahrnehmung bei 8-jährigen Kindern im Vergleich zu 5- und 6-jährigen Kindern hinweist.

3.4.2 Entwicklung der Beat-Produktion

Zur Überprüfung potentieller Unterschiede in der Beat-Produktion zwischen den Altersgruppen wurde eine einfaktorielles ANOVA berechnet. Insgesamt bestehen signifikante Unterschiede in der Beat-Produktion zwischen den Altersgruppen, $F(4, 196) = 12.78, p < .001, \eta^2 = .206$. Es scheint eine Veränderung in der Produktionsgenauigkeit in den verschiedenen Altersgruppen zu geben. Die anschließenden durchgeführten post-hoc Vergleiche unter Bonferroni-Korrektur sind in Abbildung 15 zusammengefasst.

Abbildung 15

Post-hoc Vergleiche der mittleren Beat-Produktion



Anmerkung. * $p < .05$. *** $p < .001$.

Fünfjährige Kinder waren in der Beat-Produktion signifikant ungenauer als Kinder im Alter von 7 und 8 Jahren sowie als Erwachsene. Darüber hinaus unterschieden sich 6-jährige Kinder in ihrer Genauigkeit signifikant von Erwachsenen. Keine signifikanten Abweichungen bestehen in der Beat-Produktion von 7- und 8-jährigen Kinder und Erwachsenen. Zusammengefasst deuten die Ergebnisse

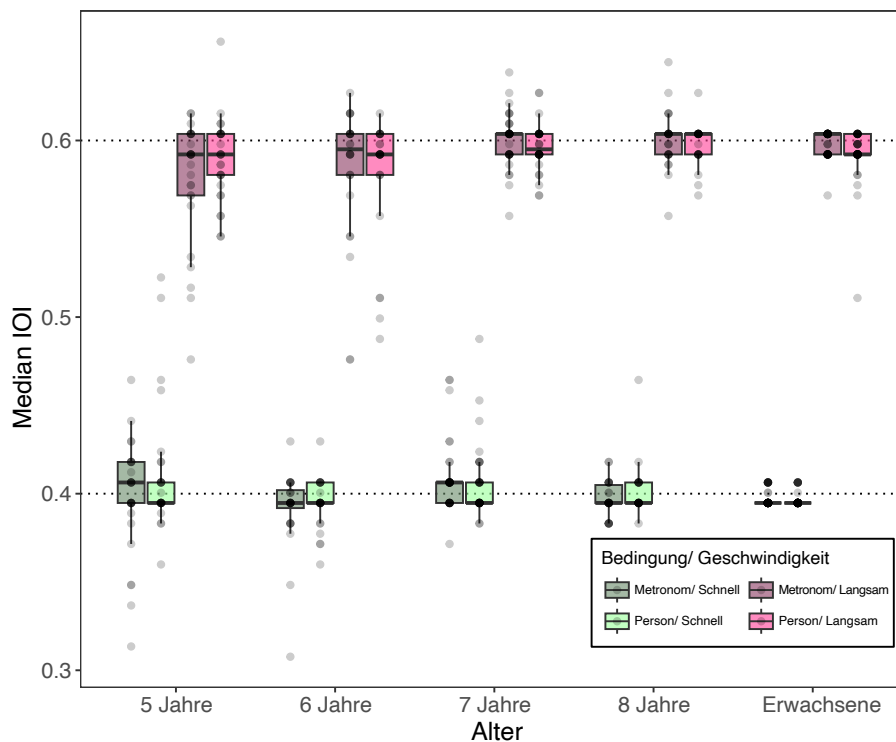
darauf hin, dass sich Kinder ab 7 Jahren in ihrer Beat-Produktion nicht mehr von Erwachsenen unterscheiden.

2.4.3 Entwicklung der Synchronisationsgenauigkeit und Phase

Entwicklung der Synchronisationsgenauigkeit. Die Analyse der Synchronisationsgenauigkeit wurde wie in der Originalstudie durch einen Vergleich der Median des IOI zwischen den Altersgruppen begonnen. Abbildung 16 zeigt, dass Kinder und Erwachsene ihr Trommeltempo an die schnelle und langsame Zielgeschwindigkeit (gestrichelte Linie) anpassen konnten.

Abbildung 16

Mediane IOI zur Messung der Genauigkeit anhand der Tempoabweichung



Anmerkung. Die Genauigkeit wird durch den Median der Intervallzeiten der beiden Zielgeschwindigkeiten dargestellt. Die Zielgeschwindigkeit für schnell war 400 ms IOI und für langsam 600 ms IOI. Jede teilnehmende Person führte zwei Versuche pro Geschwindigkeit durch (Metronom-Bedingung und Personen-Bedingung). Die Genauigkeit für Metronom - schnell ist in dunkelgrün, Person - schnell in hellgrün, Metronom - langsam in lila und Person - langsam in pink dargestellt.

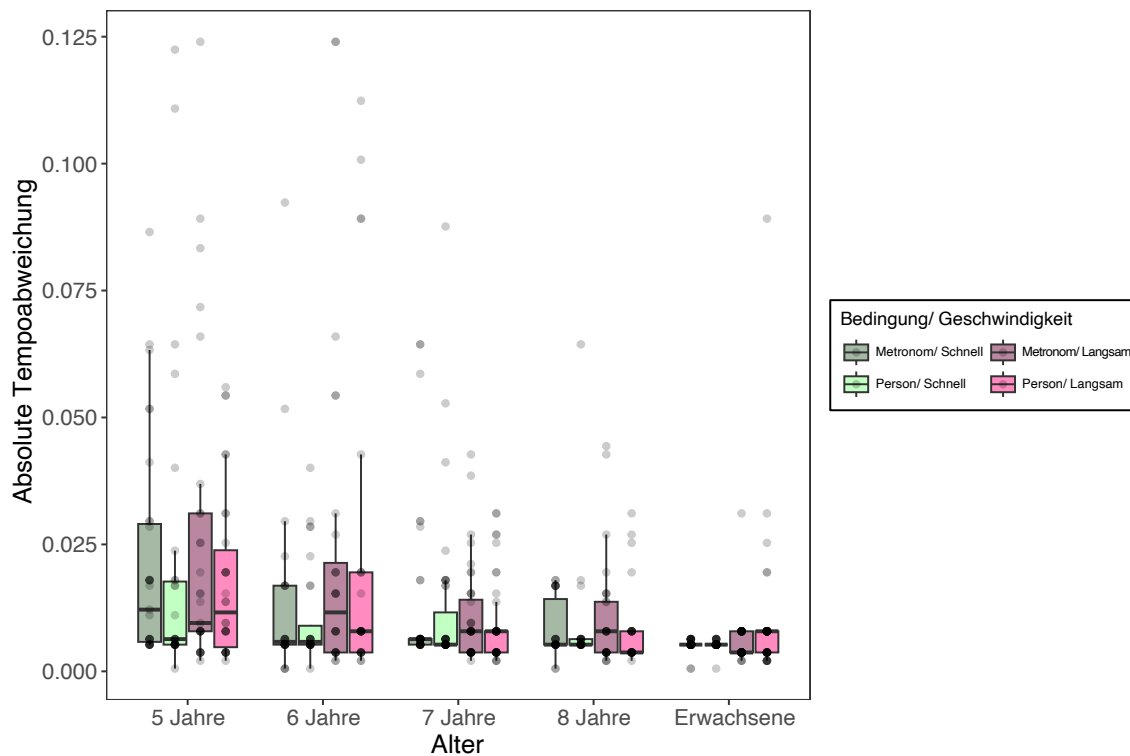
Die visuelle Untersuchung der Tempoabweichung verweist in Abbildung 16 auf eine geringere Abweichung mit zunehmendem Alter. Allerdings bestanden sowohl positive und negative Tempoabweichungen. In Übereinstimmung zeigt auch das linear gemischte Modell (Anhang H, Seite 209) keine systematischen Effekte, da sich positive und negative Tempoabweichungen gegenseitig aufhoben. Dies deutet darauf hin, dass die Tempoabweichung nicht auf eine systematische Beschleunigung oder Verlangsamung, sondern auf zufällige Schwankungen des IOI zurückzuführen ist.

Für die Tempoabweichung bestand das Modell mit den besten Vorhersagewerten aus festen Effekten für die Geschwindigkeit und die Beat-Produktion, einer Interaktion zwischen Alter und Bedingung sowie zwischen Alter und Beat-Produktion und zufälligen Effekten für die Teilnehmenden (Anhang G, Seite 208). Das konditionale R^2 für das Modell beträgt .06, mit einem marginalen R^2 für feste Effekte von .02.

Um einer Unterschätzung der Tempoabweichungen durch die gegenseitige Aufhebung entgegenzuwirken, wurde zusätzlich die absolute Tempoabweichung (Gesamtabweichung unabhängig der Richtung) bestimmt. In Abbildung 17 (Seite 98) sind die absoluten Tempoabweichungen von beiden Zielgeschwindigkeiten (400 ms IOI in grün, 600 ms IOI in pink) zusammengefasst. Es verdeutlichte sich der vorherige Eindruck, dass die Synchronisation mit zunehmendem Alter genauer wird und die absoluten Tempoabweichungen abnehmen.

Abbildung 17

Absolute Tempoabweichung zur Messung der Genauigkeit



Anmerkung. Die Genauigkeit wird durch absolute Tempoabweichung der beiden Zielgeschwindigkeiten (schnell: 400 ms IOI, langsam: 600 ms IOI) dargestellt. Die Genauigkeit für Metronom - schnell ist in dunkelgrün, Person - schnell in hellgrün, Metronom - langsam in lila und Person - langsam in pink visualisiert.

Wie die Gegenüberstellung der untersuchten Modelle in Anhang G (Seite 208) zeigt, besteht das Modell mit den besten Vorhersagewerten aus festen Effekten für die Bedingung und die Beat-Produktion, einer Interaktion zwischen Alter und Geschwindigkeit sowie zwischen Alter und Beat-Produktion und zufälligen Effekten für die Teilnehmenden. Das bedingte R^2 für das Modell der logarithmierten absoluten Tempoabweichung beträgt .32, mit einem marginalen R^2 für feste Effekte von .19. Es wurden signifikant negative Effekte für die Interaktion von Alter und Beatproduktion bei 5-jährigen Kindern ($b = -0.24$, $p = .001$, 95% KI [-0.38, -0.09]) und 6-jährigen Kindern ($b = -0.23$, $p < .001$, 95% KI [-0.36, -0.11]) festgestellt. Bei jüngeren Kindern deutet dies darauf hin, dass höhere Beat-Produktionsfähigkeiten mit geringeren Genauigkeitsabweichungen verbunden sind. Als Referenz dient in Tabelle 7 (Seite 99) die Synchronisationsgenauigkeit von Erwachsenen.

Tabelle 7

Lineares gemischtes Modell für die Synchronisationsgenauigkeit (logarithmierte absolute Tempoabweichung)

Parameter	Schätzwerte	Konfidenzintervall	<i>p</i>
Erwachsene (Referenz)	-5.16	-5.49 - -4.84	<.001
5 Jahre	1.33	0.84 - 1.82	<.001
6 Jahre	1.17	0.61 - 1.73	<.001
7 Jahre	0.77	0.22 - 1.32	.006
8 Jahre	0.39	-0.25 - 1.03	.232
Bedingung: Person	-0.05	-0.15 - 0.06	.405
Geschwindigkeit: langsam	0.12	-0.08 - 0.31	.239
Beatproduktion	-0.02	-0.07 - 0.04	.522
5 Jahre x langsam	0.06	-0.27 - 0.39	.706
6 Jahre x langsam	0.32	-0.02 - 0.65	.068
7 Jahre x langsam	-0.29	-0.59 - 0.02	.064
8 Jahre x langsam	-0.13	-0.46 - 0.20	.448
5 Jahre x Beat-Produktion	-0.24	-0.38 - -0.09	.001
6 Jahre x Beat-Produktion	-0.23	-0.36 - -0.11	<.001
7 Jahre x Beat-Produktion	-0.05	-0.16 - 0.05	.310
8 Jahre x Beat-Produktion	-0.03	-0.15 - 0.09	.604

Wie bereits im linear gemischten Modell für die logarithmierte absolute Tempoabweichung in Tabelle 7 erkennbar ist, gab es signifikante Unterschiede in der Synchronisationsgenauigkeit zwischen den Altersgruppen. Daher wurden die Alterseffekte in einer post-hoc Analyse weiter untersucht, indem die logarithmierte absolute Tempoabweichung für beide Bedingungen und beide Geschwindigkeiten betrachtet wurde. Die post-hoc Analyse, die mit dem Tukey-HSD-Test berechnet wurde, ergab signifikante Unterschiede zwischen Erwachsenen und 5- bis 7-jährigen Kindern. Die geringeren logarithmierten absoluten Tempoabweichungen bei Erwachsenen verweisen auf eine höhere Synchronisationsgenauigkeit im Vergleich zu 5- bis 7-jährigen Kindern. Die Ergebnisse des post-hoc Altersgruppenvergleichs sind in Tabelle 8 (Seite 100) zusammengestellt. Außerdem war die Synchronisationsgenauigkeit bei 8-jährigen Kindern signifikant höher als bei 5-jährigen Kindern ($z = -2.74, p = .046$). Insgesamt nahm die Genauigkeit im Alter von 5 bis 7 Jahren zu. Kinder im Alter von 8 Jahren unterschieden sich in der Genauigkeit der Synchronisation nicht mehr von Erwachsenen ($z = -0.39, p = .749$).

Tabelle 8

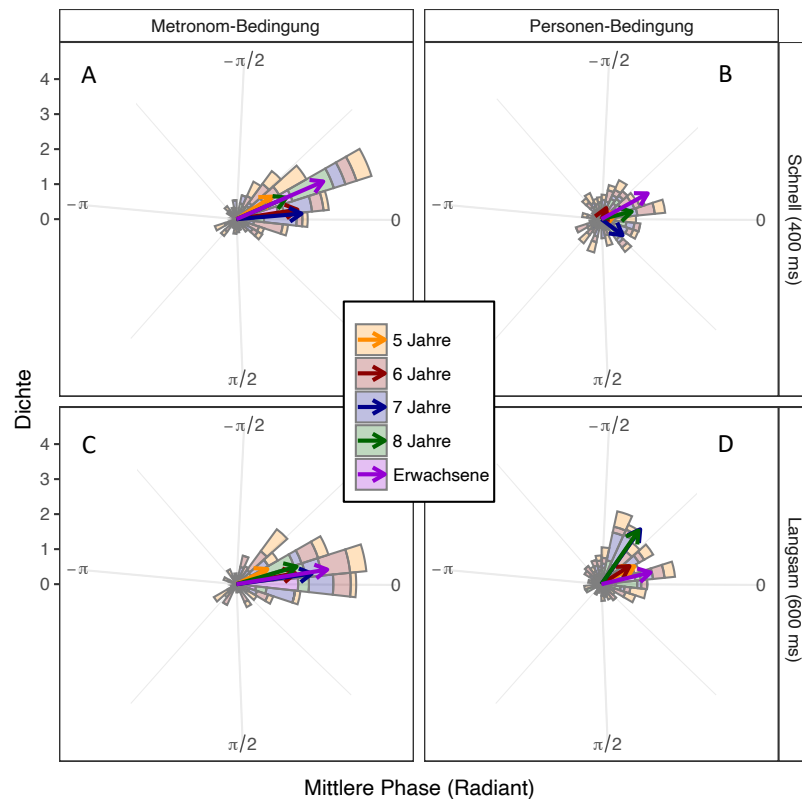
Post-hoc Vergleiche für die Synchronisationsgenauigkeit in verschiedenen Altersgruppen

Altersvergleich	Schätzwerte	Std. Fehler	z	p
5 Jahre vs. 6 Jahre	-0.16	0.29	-0.53	.984
5 Jahre vs. 7 Jahre	-0.56	0.29	-1.89	.316
5 Jahre vs. 8 Jahre	-0.93	0.34	-2.74	.046
5 Jahre vs. Erwachsene	-1.32	0.24	-5.31	<.001
6 Jahre vs. 7 Jahre	-0.40	0.33	-1.23	.729
6 Jahre vs. 8 Jahre	-0.77	0.37	-2.12	.209
6 Jahre vs. Erwachsene	-1.17	0.28	-4.10	<.001
7 Jahre vs. 8 Jahre	-0.38	0.36	-1.03	.837
7 Jahre vs. Erwachsene	-0.77	0.28	-2.74	.047
8 Jahre vs. Erwachsene	-0.39	0.33	-1.19	.749

Entwicklung der Synchronisationsphase. Das zirkuläre Histogramm in Abbildung 18 (Seite 101) zeigt eine größere Variation in der Personen-Bedingung als in der Metronom-Bedingung. Dies verweist darauf, dass die synchronisierten Bewegungen innerhalb der Personen-Bedingung zwischen den Teilnehmenden mehr in der Phase schwankten. Eine exakte Antwort in der Phase würde in Abbildung 18 (Seite 101) bei 0° liegen. Die durch die Teilnehmenden produzierten Antworten (Trommelschläge) werden in Abbildung 18 (Seite 101) als mittlere Vektoren R mit einer spezifischen Richtung als Pfeil (mittlere resultierende Länge zwischen 0 und 1) und einem spezifischen Winkel dargestellt. Ein längerer Pfeil bedeutet eine geringere Varianz in der Asynchronität der Trommelschläge, wie z.B. in der Metronom-Bedingung bei den Erwachsenen im schnellen Tempo erkennbar ist. Die mittlere Richtung θ des spezifischen Winkels kann mit der mittleren Asynchronität in der linearen Statistik gleichgesetzt werden. Alle Altersgruppen zeigten negative Asynchronie, was durch das antizipieren des nächsten Schlages auf vergleichbare Entrainmentprozesse bei Kindern und Erwachsenen hinweist. Darüber hinaus nahm die Variabilität der Phase mit zunehmendem Alter ab. Je älter die Teilnehmenden waren, desto genauer synchronisierten sie ihre Bewegungen mit der Zielphase der beiden Geschwindigkeiten.

Abbildung 18

Zirkuläres Histogramm und mittlere Vektoren R als Phasenmaß für alle Geschwindigkeiten und Bedingungen



Anmerkung. Visualisierung der Mittelwertvektoren R für schnell - Metronom (A), schnell - Person (B), langsam - Metronom (C) und langsam - Person (D). In jedem Kasten sind die Ergebnisse aller Altersgruppen zusammengefasst, die durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet sind (gelb = 5-jährige Kinder, rot = 6-jährige Kinder, blau = 7-jährige Kinder, grün = 8-jährige Kinder, lila = Erwachsene). Die Pfeile zeigen die mittlere resultierende Länge R für jede Altersgruppe an. Zusätzlich ist die Verteilung der mittleren Richtung θ hinter den Pfeilen ausgebreitet, um die Phase des Trommelns zu visualisieren.

Zur weiteren Überprüfung der Phase wurden Homogenitätstest nach Watson durchgeführt, der ein Analogon zum Mann-Whitney-U-Test für zirkuläre Daten ist, um Altersgruppen (5- bis 8-jährige Kinder und Erwachsene), Geschwindigkeiten (langsam und schnell) und Bedingungen (Metronom und Person) zu vergleichen. Insgesamt wurden in 60 Tests 28 signifikante Unterschiede festgestellt: zwölf bei $p < .001$, neun bei $p < .01$ und fünf bei $p < .05$. Anhang I enthält Vergleiche zwischen den Altersgruppen, Anhang J Vergleiche zwischen den Bedingungen und Anhang K Vergleiche zwischen den Geschwindigkeiten (Seiten 210-211).

3.4.4 Entwicklung der Synchronisationspräzision

Die Präzision (logarithmierte SD_{IOI}) wurde am besten durch ein lineares gemischtes Modell mit festen Effekten für Geschwindigkeit, Tempowahrnehmung und Beat-Produktion, einer Interaktion von Alter und Bedingung und zusätzlichen Zufallseffekten für die Teilnehmenden vorhergesagt (siehe Anhang G, Seite 208208) Das bedingte R^2 des gesamten linearen gemischten Modells für Präzision betrug .36, und die Erklärungskraft der festen Effekte betrug .27 (marginale R^2). Ein signifikanter positiver Effekt für langsame Geschwindigkeit weist in Tabelle 9 darauf hin, dass die Präzision (d.h. Konsistenz des Trommelns der Teilnehmenden) bei 600 ms IOI in allen Altersgruppen geringer war als bei der schnellen Zielgeschwindigkeit von 400ms IOI, $b = 0.44$, $p = .001$, 95% KI [0.35, 0.54].

Tabelle 9

Linear gemischtes Modell für die Synchronisationspräzision (logarithmierte SD_{IOI})

Parameter	Schätzwerte	Konfidenzintervall	p
Erwachsene (Referenz)	-2.97	-3.33 - -2.61	<.001
5 Jahre	0.81	0.51 - 1.10	<.001
6 Jahre	0.48	0.19 - 0.77	.001
7 Jahre	0.54	0.28 - 0.80	<.001
8 Jahre	0.35	0.10 - 0.61	.007
Bedingung: Person	0.20	0.03 - 0.37	.021
Geschwindigkeit: langsam	0.44	0.35 - 0.54	<.001
Beat-Produktion	-0.05	-0.09 - -0.02	.001
Tempowahrnehmung	-0.05	-0.09 - -0.02	.006
5 Jahre x Person	-0.61	-0.91 - -0.32	<.001
6 Jahre x Person	-0.42	-0.71 - -0.12	.006
7 Jahre x Person	-0.49	-0.76 - -0.23	<.001
8 Jahre x Person	-0.32	-0.61 - -0.03	.032

Die negativen Koeffizienten in Tabelle 9 für die Tempowahrnehmung ($b = -0.05$, $p = .006$, 95% KI [-0.09, -0.02]) und die Beat-Produktion ($b = -0.05$, $p = .001$, 95% KI [-0.09, -0.02]) verweisen darauf, dass Teilnehmende mit besseren Fähigkeiten in der Tempowahrnehmung und Beat-Produktion präziser bei der Anpassung an die Zielgeschwindigkeiten waren. Für die Interaktion von Alter und Bedingung sind in Tabelle 9 für alle Kinder negative Effekte in der Personen-Bedingung aufgeführt. Kinder synchronisierten während des gemeinsamen Trommelns mit der Versuchsleitung ihre eigenen Trommelbewegungen mit signifikant höherer Präzision. Bei Erwachsenen war die Präzision hingegen in der Metronom-Bedingung höher.

Die mit dem Tukey-HSD-Test berechnete post-hoc Analyse ergab signifikante Unterschiede zwischen Erwachsenen und 5- bis 7-jährigen Kindern in der logarithmierten SD_{IOI} (Tabelle 10). Folglich übertraf die Synchronisationspräzision von Erwachsenen die von 5-jährigen Kindern ($z = -5.40$, $p < .001$), 6-jährigen Kindern ($z = -3.33$, $p = .011$) und von 7-jährigen Kindern ($z = -4.13$, $p < .001$). Der einzige signifikante Unterschied innerhalb der Kindergruppe bestand zwischen 5- und 8-jährigen Kindern ($z = -3.16$, $p = .014$), wobei die Trommelbewegungen von 8-jährigen Kindern höhere Präzision aufwiesen.

Tabelle 10

Post-hoc Vergleiche für die Präzision zwischen Altersgruppen

Altersvergleich	Schätzwerte	Std. Fehler	z	p
5 Jahre vs. 6 Jahre	-0.33	0.14	-2.33	.136
5 Jahre vs. 7 Jahre	-0.27	0.13	-2.02	.256
5 Jahre vs. 8 Jahre	0.45	0.14	-3.16	.014
5 Jahre vs. Erwachsene	-0.81	0.15	-5.40	<.001
6 Jahre vs. 7 Jahre	0.06	0.13	0.45	.991
6 Jahre vs. 8 Jahre	0.13	0.14	-0.91	.891
6 Jahre vs. Erwachsene	-0.48	0.15	-3.23	.011
7 Jahre vs. 8 Jahre	-0.19	0.13	-1.47	.580
7 Jahre vs. Erwachsene	-0.54	0.13	-4.13	<.001
8 Jahre vs. Erwachsene	-0.35	0.13	-2.70	.053

3.5 Diskussion

3.5.1 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Das Ziel von Studie 2 war es, ein tieferes Verständnis dafür zu erlangen, wie sich die komplexe Synchronisationsfähigkeit unter Berücksichtigung der Tempowahrnehmung und die Beat-Produktion entwickelt. Zur Annäherung an dieses Ziel wurde zunächst überprüft, ob sich die basale musikalische Fähigkeit der Tempowahrnehmung und Beat-Produktion als Kontrollvariable während des Erwerbs der komplexen Synchronisationsfähigkeit noch entwickeln. Anschließend wurde analysiert, in welcher Beziehung diese zur komplexen Synchronisationsfähigkeit stehen. Die Entwicklung der komplexen musikalischen Fähigkeit der Synchronisation wurde anhand der Synchronisationsgenauigkeit, Phase und Präzision überprüft. Alle drei Synchronisationsmaßen wurde auf Kontexteffekte zwischen der Personen-Bedingung und Metronom-Bedingung untersucht.

Entwicklung der Tempowahrnehmung und Beat-Produktion. Hinsichtlich der Entwicklung der Tempowahrnehmung ergab die Analyse mithilfe der Aufgabe zur Tempounterscheidung Veränderungen zwischen den Altersgruppen. Die Wahrnehmungsfähigkeiten von Tempounterschieden der Kinder nahmen mit dem Alter zu. Dabei zeigten die 5- und 6-jährigen Kinder ähnliche Fähigkeiten in der Tempowahrnehmung, unterschieden sich aber deutlich von den 8-jährigen Kindern. Auch die 7- und 8-jährigen Kinder waren sich in der Tempowahrnehmung nahe. Die Tempowahrnehmung von Erwachsenen übertraf die aller untersuchten Kinder, was insgesamt darauf hindeutet, dass sich die Tempowahrnehmung von 5-jährigen Kindern bis zu Erwachsenen in zwei Stufen verbessert. Die in Studie 2 entdeckten geringeren Fähigkeiten zur Tempowahrnehmung in jüngeren als in älteren Kindern stimmt mit mehreren früheren Untersuchungen überein (Ellis, 1992; Nave-Blodgett et al., 2021; Paananen, 2006). Gleichzeitig deuten die Studienergebnisse darauf hin, dass sich die Tempowahrnehmung auch nach der Beherrschungsphase weiterentwickelt und eine zunehmende Verfeinerung der Diskrimination zwischen verschiedenen Tempi während der Imitationsphase stattfindet.

Auch die Analyse der Fähigkeiten zur Beat-Produktion ergab eine signifikante Verbesserung der Genauigkeit von 5-jährigen Kindern zu Erwachsenen. Es bestand eine genauere Produktion bei Erwachsenen als bei 5- bis 6-jährigen Kindern und eine erwachsenenähnliche Produktion bei 7- bis 8-jährigen Kindern. Die mit dem Alter zunehmende Genauigkeit in der Beat-Produktion passt zur Annahme von Wolff und Hurwitz (1976), dass die Abweichungen von der Zielgeschwindigkeit während der Beat-Produktion mit zunehmendem Alter geringer werden. Darüber hinaus erweitern die Ergebnisse aus Studie 2 das Wissen zur Entwicklung der Beat-Produktion aus früheren Studien. Bislang wurde zwar angenommen, dass die Beat-Produktion in der untersuchten Zielgruppe (5- bis 8-jährige Kinder) mit zunehmendem Alter mehr der vorgegebenen Musik entspricht. Allerdings basierte diese Annahme auf der unpräzisen Beat-Produktion von jüngeren Kindern (Eerola et al., 2006; Sims, 1985) und nicht auf einem systematischen Vergleich mehrerer sich aneinander anschließenden Altersgruppen wie in Studie 2.

Entwicklung der Synchronisationsgenauigkeit. Die Synchronisationsgenauigkeit wurde anhand des Medians des IOI, der Tempoabweichung und der absoluten Tempoabweichung gemessen. Am aussagekräftigsten waren für die weitere Analyse die Daten zur absoluten Tempoabweichung. Es zeigte sich in allen Altersgruppen erfolgreiche Synchronisation bei langsamen und schnellen Zielgeschwindigkeiten und eine Abnahme der Tempoabweichung sowie der absoluten Tempoabweichung mit zunehmendem Alter. Allerdings war die Synchronisation bei der schnellen Geschwindigkeit genauer. Bei beiden Geschwindigkeiten wurde jedoch mit zunehmendem Alter eine absolute Tempoabweichung gemessen.

Insgesamt unterstützen die post-hoc Altersgruppenvergleichen die Entwicklung der Synchronisationsgenauigkeit durch eine höhere Genauigkeit bei Erwachsenen im Vergleich zu 5- bis 7-Jährigen und bei 8-Jährigen im Vergleich zu 5-Jährigen. Die Ergebnisse unterstützen daher die Annahme, dass Erwachsene ihre Trommelbewegungen über einem breiten Tempobereich synchronisieren (Repp, 2006; Repp & Su, 2013). Doch nicht nur Erwachsene, sondern auch 5- bis 8-jährige Kinder konnten sich auf die schnellen und langsamen Geschwindigkeiten einstellen. Dies erweitert die Ergebnisse einer Studie von McAuley und Kolleg:innen (2006), in der Kinder auf schnelleren Zeitskalen agierten und daher erfolgreicher waren, ihre Bewegungen auf schnellere Geschwindigkeiten zu synchronisieren.

Was den Beitrag der Fähigkeit zur Beat-Produktion zur Entwicklung der Synchronisationsgenauigkeit betrifft, so konnte nur bei jüngeren Kindern eine Relevanz festgestellt werden. Das lineare gemischte Modell zur Vorhersage der Genauigkeit anhand der absoluten Tempoabweichung zeigte genauere Synchronisation bei 5- und 6-jährigen Kindern mit höheren Beat-Produktionsfähigkeiten. Hinsichtlich der Kontexteffekte konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der Personen-Bedingung und der Metronom-Bedingung für die mit der absoluten Tempoabweichung gemessene Genauigkeit gefunden werden.

Entwicklung der Phase. Um ein tieferes Verständnis in die Entwicklung der Synchronisation zu gewinnen, wurde zusätzlich die Phase der ausgeführten Bewegungen analysiert. Die Auswertung der Phase ergab in allen Altersgruppen eine negative Asynchronität und somit wichtige Hinweise auf

antizipierende bzw. prädiktive Synchronisation bereits ab 5 Jahren. Ergänzend hierzu nahm die Phasenvariabilität wie auch die zuvor beschriebenen absoluten Tempoabweichungen mit zunehmendem Alter ab.

Hervorzuheben ist, dass bereits 5-jährige Kinder die antizipativen und fehlerkorrigierenden Aspekte der Synchronisation zeigen, die für die Synchronisation von Erwachsenen typisch sind, und zwar sowohl bei schnellen (600 ms IOI) als auch bei langsamen Tempi (400 ms IOI). Einerseits ist dies viel früher als bisher angenommen (Trainor & Cirelli, 2015; Volman & Geuze, 2000; Zentner & Eerola, 2010). Gleichzeitig deuten die Ergebnisse darauf hin, dass der Wechsel von positiver zu negativer Asynchronie vor dem Alter von 5 Jahren stattfindet. Andererseits unterstützen die Studienergebnisse frühere Belege für eine Entwicklungskurve hin zu einer effizienteren Antizipation mit zunehmendem Alter (Kirschner & Tomasello, 2009; Provasi & Bobin-Bègue, 2003).

Die Ergebnisse für die Phase deuten bereits darauf hin, dass die sensomotorische Synchronisation bei allen Teilnehmern weit fortgeschritten ist und ein antizipatorisches synchronisieren auftritt. Daher wurde die Phase auf Kontexteffekte untersucht, anstatt den Beitrag der musikalischen im Fokus stehenden musikalischen Fähigkeiten (Tempowahrnehmung und Beat-Produktion) zu untersuchen. Es wurde ein Unterschied zwischen der Metronom- und der Personen-Bedingung gefunden. Insgesamt verteilten sich die sensomotorische Synchronisation der Teilnehmenden in der Personen-Bedingung stärker über die gesamte Phase. Vermutlich führte der soziale Kontext zu vielfältigeren Reaktionen der Teilnehmenden.

Entwicklung der Präzision. Die Präzision wurde als Standardabweichung des IOI gemessen und charakterisiert die Konsistenz und Stabilität der synchronisierten Trommelbewegungen. Es konnte ein Geschwindigkeitseffekt festgestellt werden, der auf eine höhere Präzision bei höherer Geschwindigkeit hinweist. Dieses Ergebnis stimmt mit den Daten der mittleren IOI-Genauigkeitsmessung überein, die eine geringere Abweichung bei höherer Geschwindigkeit anzeigt. Ein Teil des Geschwindigkeitseffekts auf die Präzision könnte jedoch auf das Weber'sche Gesetz ($\Delta R/R=k$) zurückzuführen sein, das besagt, dass Delta R zu R konstant ist. Dies bedeutet, dass Delta R umso größer sein muss, je größer R

ist, um das Ergebnis konstant zu halten. Darüber hinaus wurde ein Alterstrend beobachtet, da sich Kinder im Alter von 5 bis 7 Jahren deutlich von Erwachsenen unterschieden. Die Erwachsenen hatten eine höhere Präzision als die 5- bis 7-Jährigen. Die 8-Jährigen unterschieden sich geringfügig von den Erwachsenen und zeigten eine geringere Präzision als die Erwachsenen. Insgesamt ging bei den Teilnehmenden eine höhere Tempowahrnehmung und eine höhere Beat-Produktion mit einer höheren Präzision einher. In Bezug auf einen Kontexteffekt wurde festgestellt, dass Kinder in der Personen-Bedingung präziser waren, während Erwachsene in der Metronom-Bedingung eine höhere Präzision zeigten. Der erleichternde Effekt der Personen-Bedingung scheint nur bei Kindern aufzutreten.

Geschwindigkeitseffekte. Neben der Untersuchung von Kontexteffekten war ein weiteres Studienziel die Analyse von Geschwindigkeitseffekten. Alle Altersgruppen zeigten präzisere Synchronisation für die schnelle (400 ms IOI) als für die langsame (600 ms IOI) Geschwindigkeit. Damit setzten die Ergebnisse der Studie einen Trend aus der Originalstudie fort. In der Originalstudie gelang den älteren 3,5- und 4,5-jährigen Kindern die Synchronisation zu beiden Zielgeschwindigkeiten in allen Bedingungen. Die jüngsten Kinder (2,5 Jahre) konnten hingegen ihr eigenes Trommeln nur in der Personen-Bedingung an die langsame Geschwindigkeit anpassen (Kirschner & Tomasello, 2009).

Alterseffekte. Alles in allem wurde in Studie 2 festgestellt, dass Synchronisierungsfähigkeiten mit zunehmendem Alter besser werden. Dies spiegelt sich in einer Erhöhung der Genauigkeit (Verringerung der absoluten Tempoabweichung und der Phasenvariabilität) wider. Außerdem nimmt die Präzision der Synchronisation mit dem Alter zu. Die präzisere Synchronisation mit dem Alter steht im Einklang mit mehreren früheren Studien (z.B. Drewing et al., 2006; Ellis, 1992; Endedijk et al., 2015; Thompson et al., 2015). So wurde festgestellt, dass die Gesamtqualität der Synchronität mit dem Alter zunimmt. Dies zeigte sich durchgängig in den verschiedenen Bereichen der durchgeführten Analyse: Genauigkeit, Phase und Präzision. Für den Phasenübergang konnte jedoch kein Alterseffekt festgestellt werden. Bereits 5-jährige Kinder zeigen die antizipativen und fehlerkorrigierenden Aspekte der

Synchronisation, die für das Verhalten von Erwachsenen typisch sind, sowohl bei schnellen (400 ms IOI) als auch bei langsamen Tempi (600 ms IOI).

Trotz dieser frühen Synchronisation mit negativer Asynchronität wurde in allen untersuchten Bereichen Synchronisation festgestellt, dass die Synchronisation von Kindern noch weiterentwickelt und noch nicht der von Erwachsenen entspricht (ausgenommen ist die Präzision bei 8-jährigen Kindern). Dies steht im Einklang mit der angenommenen Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit bis zum Alter von 15 Jahren (Drewing et al., 2006). Ob es bis zum Alter von 15 Jahren dauert, bis sich die Synchronisationsfähigkeit stabilisiert, sollte mit älteren Kindern untersucht werden. Die Ergebnisse von Studie 2 sprechen für eine schnellere Entwicklung, wenn die Synchronisationsfähigkeit in einem kindgerechten spielerischen Setting getestet wird.

Entwicklungsmechanismen der Synchronisationsfähigkeit. Die Tempowahrnehmung und die Beat-Produktion wurden als musikalische Fähigkeiten untersucht, die zur späten Entwicklung der komplexen Synchronisation beitragen. Sowohl die Tempowahrnehmung als auch die Beat-Produktion waren Teil der linearen gemischten Modelle mit den besten Vorhersagewerten für die Erklärung der Synchronisationsgenauigkeit und -präzision. Besonders bemerkenswert ist der positive Effekt der Beat-Produktion auf die Synchronisationsgenauigkeit von 5- und 6-jährigen Kindern. Bei jüngeren Kindern scheint die Genauigkeit aufgrund höherer Beat-Produktionsfähigkeiten zu steigen. Darüber hinaus wirkten sich höhere Fähigkeiten in der Beat-Produktion und der Tempowahrnehmung positiv auf die Synchronisationspräzision aus.

Dies verführt zu der Annahme, dass die Beat-Produktion, die Tempowahrnehmung und die Synchronisationsfähigkeit ähnliche Entwicklungsveränderungen durchlaufen. Auch ist denkbar, dass die fortschreitende Entwicklung der musikalischen Fähigkeiten der Tempowahrnehmung und Beat-Produktion den späten Erwerb der Synchronisationsfähigkeit als komplexe musikalische Fähigkeit unterstützt. Allerdings sollte die Rolle der Beat-Produktion und der Tempowahrnehmung noch genauer untersucht werden, um zu klären, ob die Auswirkungen mit zunehmender Synchronisationsfähigkeit abnehmen oder ob es ein bestimmtes Fähigkeitsniveau gibt, was für die erfolgreiche Synchronisation

erforderlich ist. Diese Annahme würde möglicherweise auch die bereits erwähnte Interaktion zwischen Beat-Produktion und Genauigkeit erklären, die nur bei 5- und 6-jährigen Kindern gefunden wurde.

Kontexteffekte. Hinweise auf Kontexteffekte (Person vs. Metronom) ergeben sich aus zwei verschiedenen Analysen. Die Analyse der Phase zeigt insgesamt größere Phasenvariation bei der Person- als bei der Metronom-Bedingung. Diese Kontexteffekte wurden als potentielle Unterschiede in der Präzision zwischen der Person- und der Metronom-Bedingung genauer untersucht. Auf der Grundlage des linearen gemischten Modells für die Präzision konnte präzisere Synchronisation bei Kindern in der Personen-Bedingung im Vergleich zur Metronom-Bedingung beobachtet werden. Bei Erwachsenen bestanden umgekehrte Effekte. Daher scheint sich der Kontexteffekt in der Synchronisationspräzision zwischen 5- bis 8-jährigen Kindern und Erwachsenen zu unterscheiden.

Die Ergebnisse der Studie 2 stimmen mit denen der Originalstudie von Kirschner und Tomasello (2009) überein. Beide Studien deuten darauf hin, dass Kinder auf einem höheren Fähigkeitsniveau agieren (d.h. eine höhere Präzision erreichen), während sie mit der Versuchsleitung trommeln. In der Personen-Bedingung erhielten die Teilnehmenden eine multisensorische Stimulation. Einerseits visuellen Input durch das Beobachten der Bewegungen und andererseits auditiven Input durch das Hören des Trommelns der Versuchsleitung. Diese Überschneidung von visuellem und auditivem Input könnte die Aufmerksamkeit der Kinder erleichtert und zu einem genaueren Trommeln in der Personen-Bedingung geführt haben.

Der soeben beschriebene Mechanismus wurde in der Einleitung als intersensorische Erleichterung vorgestellt und ist Teil der intersensorischen Redundanzhypothese (IRH), die von Bahrick und Lickliter (2000, 2002, 2014) postuliert wurde. Die Ergebnisse der Studie 2 scheinen die Annahmen der IHR auch in Alter von 5 bis 8 Jahren zu unterstützen. Allerdings profitierten nur die Kinder von der multisensorischen Präsentation in der Personen-Bedingung. Erwachsene zeigten in Studie 2 generell eine höhere Präzision als Kinder, auch in der Personen-Bedingung. Allerdings war die Präzision von Erwachsenen in der Metronom-Bedingung am höchsten. Dies könnte darauf hindeuten, dass ihre

Synchronisationsfähigkeiten weiterentwickelt sind als bei Kindern und dass sie nicht mehr von multisensorischer (auditiver und visueller) Präsentation profitieren. An dieser Stelle sind jedoch weitere Untersuchungen erforderlich, um festzustellen, inwieweit die beobachteten Kontexteffekte auf die multisensorische Stimulation und/oder die soziale Interaktion mit der Versuchsleitung zurückzuführen sind.

3.5.2 Limitationen und Ausblick

Es ist denkbar, dass mindestens vier Einschränkungen die Ergebnisse von Studie 2 beeinflusst haben. Während der Datenerhebung mussten COVID-Beschränkungen eingehalten werden. Diese umfassten z.B. das Tragen von Gesichtsmasken und die Einhaltung eines Abstands von 1.5 Metern zwischen Teilnehmenden und Versuchsleitung. Daher besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass die Studienergebnisse die dennoch aufgezeigten sozialen Effekte in der Personen-Bedingung unterschätzen. Abweichend von der Originalstudie konnte die Versuchsleitung ihr Lächeln nur mit den Augen ausdrücken, da andere Gesichtsteile hinter der Maske verborgen waren. Zukünftige Forschung ist notwendig, um herauszufinden, ob die COVID-Beschränkungen ein Hindernis für eine mögliche intersubjektive Erleichterung bei Synchronisation darstellen.

Da der Schwerpunkt von Studie 2 auf Untersuchung der Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit unter Berücksichtigung von Tempowahrnehmung und Beat-Produktion lag, wurden Querschnittsdaten erhoben. Die Ergebnisse deuten auf eine fortschreitende Entwicklung in allen drei Bereichen hin, so dass eine relevante Altersspanne für die Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit als Vorbereitung für weitere Untersuchungen identifiziert werden konnte. Für Altersspanne könnte in einem nächsten Schritt eine Längsschnittanalyse erfolgen, um die Veränderungen zwischen den Altersgruppen als Entwicklungsverlauf genauer zu untersuchen und lineare Trends oder Schwankungen zu erkennen.

In Studie 2 wurde aufgrund bestehender Befunde das spontane motorische Tempo der teilnehmenden Altersgruppen nicht erneut gemessen. Für die untersuchten 5- bis 8-jährigen Kinder wird davon ausgegangen, dass ihr spontanes motorisches Tempo zwischen 300 – 450 ms liegt, was in Studie 2 näher an der schnellen Geschwindigkeit von 400 ms IOI ist (Provasi & Bobin-Bègue, 2003; McAuley et al., 2006; Monier and Droit-Volet, 2019). Für das spontane motorische Tempo von Erwachsenen wurde bislang von 500 – 650 ms ausgegangen (McAuley et al., 2006). Diese Zeitspanne beinhaltet die langsame Geschwindigkeit von 600 ms IOI in Studie 2. Die Ergebnisse von Studie 2 verweisen darauf, dass sowohl 5- bis 8-jährige Kinder als auch Erwachsene eine präzisere Synchronisation für die schnelle (400 ms IOI) als für die langsame (600 ms IOI) Geschwindigkeit. Die Ergebnisse der Studie 2 deuten darauf hin, dass Kinder im Alter von 5 bis 8 Jahren in der Nähe ihres spontanen motorischen Tempos genauer synchronisieren. Diese Annahme scheint für Erwachsene nicht zuzutreffen. Eine kulturübergreifende Onlinestudie verweist darauf, dass sich das spontane motorische Tempo von Erwachsenen mehrere Cluster aufweist (Hammerschmidt et al., 2021). Da sich diese Cluster sowohl über die langsame als auch die schnelle Geschwindigkeit der Studie 2 erstrecken, könnten dies ein vielversprechender methodischer Ansatz für die notwendige Vertiefung der Ergebnisse aus Studie 1 sein. Eine vertiefte Untersuchung des spontanen motorischen Tempos könnte auch ermöglichen, Zusammenhänge zwischen Tempopräferenzen in der freien Produktion und Geschwindigkeitseffekten in der Synchronisation zu untersuchen.

Eine weitere Einschränkung liegt in der Aufgabe zur Tempowahrnehmung, die eine kognitive Repräsentation der ersten Metronomsequenz erforderte, während die zweite Sequenz präsentiert wurde. In der Studie 2 gelang es dennoch Unterschiede zwischen den Altersgruppen und eine Zunahme der Fähigkeit zur Wahrnehmung von tempobasierten Unterschieden aufzuzeigen. Da die jüngeren Kinder jedoch in der Aufgabe zur Tempowahrnehmung schlechter abschnitten, könnten die Ergebnisse zum Anlass für eine Reduktion der Aufgabenschwierigkeit genommen werden. Die Aufgabe könnte in Folgestudien dahingehend angepasst werden, dass nur noch nach Gleichheit oder Unterschieden gefragt wird statt die Unterschiede zusätzlich definieren zu lassen. Darüber hinaus könnten die

Veränderungen in der Tempowahrnehmung aus Studie 2 zukünftig durch die Untersuchung kognitiver Fähigkeiten (z.B. Arbeitsgedächtniskapazität) noch weiter vertieft werden, um festzustellen, inwieweit die geringere kognitive Reife jüngerer Kinder ein Hindernis für die Aufgabe der Tempowahrnehmung darstellt.

3.5.3 Schlussfolgerungen

Das Ziel von Studie 2 bestand darin, einen umfassenderen Einblick in die Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit bei 5- bis 8-jährigen Kindern im Vergleich zu Erwachsenen zu gewinnen. Insgesamt liefert Studie 2 Anhaltspunkte für eine quantitative Entwicklung der Synchronisation mit zunehmendem Alter: In den untersuchten Altersgruppen nahm die Genauigkeit zu, die Phasenvariabilität ab und die Präzision zu. Sowohl die Tempowahrnehmung als auch die Beat-Produktion erwiesen sich als potenzielle Einflussfaktoren für diese Entwicklung. Zu klären, ob Tempowahrnehmung und Beat-Produktion sogar Motoren für die Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit sind, bleibt zukünftigen Studien vorbehalten.

Allerdings konnten in Studie 2 keine qualitative Entwicklung zwischen 5- bis 8-jährigen Kindern und Erwachsenen festgestellt werden. Die Ergebnisse zeigten, dass 5- bis 8-jährige Kinder ihr Trommeln vergleichbar mit Erwachsenen mit negativer Asynchronität synchronisierten, was auf antizipative Prozesse hinweist, die für eine erfolgreiche Synchronisation notwendig sind. So zeigten alle Altersgruppen antizipatorische Prozesse, die sie qualitativ ähnlich machten und die Grundlage für die quantitative Verfeinerung der Genauigkeit und Präzision bildeten.

Schließlich konnte in Studie 2 ein multisensorischen Erleichterungseffekt für 5- bis 8-jährige Kinder aufgezeigt werden. Ihre Präzision war beim Trommeln mit der Versuchsleitung höher als beim Trommeln mit dem Metronom. Dieser Befund impliziert, dass während der Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit die multisensorische (auditive und visuelle) Präsentation der Zielsequenz den Kindern hilft, ihre Bewegungen genauer zu synchronisieren. Bei Erwachsenen hingegen bestand ein

entgegengesetzter Kontexteffekt zugunsten besserer Synchronisation bei rein auditiver Präsentation in der Metronom-Bedingung.

4 Entwicklung der Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz (Studie 3)

Eine ähnliche Version dieses Kapitels wurde veröffentlicht als:

Will, J. K., Roeske, T., & Degé, F. (2024). Development of Tonality and Consonance Categorization Ability and Preferences in 4- to 6-year-old Children. *Frontiers in Psychology*. 15:1270114. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1270114>

4.1 Hintergrund

Bereits ab der Mitte des ersten Lebensjahres nehmen Säuglinge Tonalität und Tonveränderungen in Melodien wahr (Cohen et al., 1987; Trainor & Trehub, 1992b; Trehub, 1987). Es ist jedoch nur wenig dazu bekannt, wie sich aus diesen früh ausgeprägten Wahrnehmungsfähigkeiten die Tonalitätspräferenz entwickelt. Bisherige Studien zur Entwicklung der Tonalitätswahrnehmung im Kindesalter, deuten darauf hin, dass die Untersuchung der Enkulturation als Motor für die Entwicklung in der Imitationsphase (4 bis 9 Jahre) am vielversprechendsten erscheint (Miyamoto, 2007). Während sich bereits zu Beginn der Imitationsphase eine Sensitivität für tonale Strukturen zeigt (Corrigall & Trainor, 2010; Trainor & Trehub, 1994), fehlen jedoch Hinweise auf das Vorliegen der komplexen musikalischen Fähigkeit einer Tonalitätspräferenz. Es ist denkbar, dass sich die Sensitivität als basale Wahrnehmung von Unterschieden zwischen Tonalität und Atonalität in der Imitationsphase verbessert und sich dadurch die Entwicklung der Tonalitätspräferenz unterstützt.

Für den Beginn der Tonalitätspräferenz bestehen zeitlich abweichende Befunde aus bisherigen Untersuchungen. Einerseits scheinen 6-jährige Kinder bei einer vereinfachten Aufgabe bereits tonale Unterschiede genauso wie musikalisch untrainierte Erwachsene wahrzunehmen (Cuddy & Badertscher, 1987; Speer et al., 1985). Andererseits tritt in weiteren Untersuchungen eine Tonalitätspräferenz erst ab 8 Jahren (Krumhansl & Keil, 1982) bzw. ab 10 Jahren (Schwarzer et al., 1993) auf. Die verschiedenen Altersangaben für den Präferenzbeginn könnten auf unterschiedliche methodische Schwierigkeitsgrade in vergangenen Untersuchungen zurückzuführen sein. Je nach Komplexität des

Tonmaterials oder der Aufgabenstellung wäre es möglich, dass der Präferenzbeginn variiert und bereits früher als bislang angenommen in der Imitationsphase auftritt.

Aus den Differenzen bisheriger Untersuchungen lassen sich mehrere Erkenntnisse ableiten: Die frühe basale musikalische Fähigkeit der Wahrnehmung unterscheidet sich von der sich spät entwickelnden Präferenz als komplexe musikalische Fähigkeit. Zu Beginn der Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) wird zur Messung musikalischer Wahrnehmung auf Blickzeitmessungen zurückgegriffen, da es Säuglingen im Gegensatz zu Kindern nicht möglich ist ihre Wahrnehmung in Worte zu fassen oder ihre Präferenz zu benennen. Blickzeitmessungen als alleiniges Messinstrument einzusetzen, ist jedoch hoch umstritten (Trehub, 2012). Die Ableitung von Präferenzen allein auf der Grundlage von Blickzeiten kann zu ungenauen oder falschen Informationen über die Musikverarbeitung führen (Trehub, 2012), weshalb nicht ohne Zweifel auf eine Präferenz geschlossen werden kann.

Diese Erkenntnisse dazu wie Kinder konsonante und dissonante Informationen wahrnehmen sind jedoch für Studien zur Entwicklung der Konsonanzpräferenz von hoher Relevanz. Denn die fehlende methodische Unterscheidung zwischen Wahrnehmung und Präferenz führt wiederum zu weniger eindeutigen Evidenzen für die Konsonanzpräferenz. Daher wurde in bisherigen Studien angenommen, dass sowohl Säuglinge (Schellenberg & Trainor, 1996, 2002; Trainor et al., 2002) als auch Erwachsene Konsonanz gegenüber Dissonanz bevorzugen (Butler & Daston, 1969; McDermott et al., 2016). Allerdings scheiterten Replikationen der Präferenz im Säuglingsalter (Plantinga & Trehub, 2014) und Studien im Kindesalter deuten auf einen Einfluss der Exposition hin (Valentine, 1962; Weiss et al., 2020).

Eine musikalische Präferenz - sei es die Tonalitätspräferenz oder Konsonanz - benötigt explizite Belege für das Gefallen, die in der Beherrschungsphase bei präverbalen Teilnehmenden nur schwer nachzuweisen sind. Dennoch ist es von großem Interesse, die bisherigen Befunde aus der Beherrschungsphase wie die Wahrnehmung als Vorläufer der tatsächlichen Präferenz zu betrachten. Es ist denkbar, dass die basale musikalische Fähigkeit zur Wahrnehmung von Unterschieden (tonal oder atonal, konsonant oder dissonant) eine gemeinsame Vorläuferfähigkeit sowohl für die Tonalitäts- als auch für die Konsonanzpräferenz darstellt.

4.2 Ziele

Studie 3 soll an der beschriebenen Forschungslücke ansetzen und durch eine Untersuchung zu Beginn der Imitationsphase die Relevanz von früh entwickelter basaler Wahrnehmungsprozesse für die spätere Entwicklung der Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz untersuchen. Dazu werden insgesamt drei Studienziele verfolgt. Erstens soll eine neue Methode entwickelt werden, um herauszufinden, ob sich die basale Fähigkeit der Wahrnehmung von musikalischen Unterschieden (tonal oder atonal, konsonant oder dissonant) mit Erwerb von komplexen Fähigkeiten wie der Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz noch verändern und in welcher Beziehung sie zueinanderstehen. Hierzu ist es erforderlich die Wahrnehmungsprozesse von der Präferenz methodisch zu entkoppeln. Um diese Vermischung von Präferenz und Wahrnehmung zu überwinden, wurde ein Paradigma für Kinder mit getrennten Aufgaben zur Messung von Präferenz und Wahrnehmung als Ausdruck kategorialer Unterschiede in musikalischen Stimuli erarbeitet. In Experiment 1 wird untersucht, ob Kinder ihre musikalischen Präferenzen mit Hilfe einer Skala ausdrücken können und ob das neue Paradigma zur Messung der Kategorisierung geeignet ist.

Das zweite Studienziel besteht darin, die Entwicklung der Tonalitätspräferenz als komplexe musikalische Fähigkeit bei 4- bis 6-jährigen Kindern und die Entwicklung der basalen Wahrnehmung kategorialer Unterschiede (Kategorisierungsfähigkeit) zwischen Tonalität und Atonalität zu untersuchen. In Experiment 2 wurde die gleiche Methode wie in Experiment 1 verwendet, wobei nur die musikalischen Reize in tonale und atonale Melodien verändert wurden.

Das Studienziel 3 bezieht sich auf die Konsonanzpräferenz als komplexe musikalische Fähigkeit und beinhaltet die Untersuchung, wann Kinder Konsonanz und Dissonanz unterschiedlich kategorisieren und wann sich dies in Form von Präferenzbewertungen niederschlägt. Daher wurde in Experiment 3 die Bedingung 1 gewählt, die auf leichten Differenzen zwischen den musikalischen Stimuli basiert (d.h. die tonalen und atonalen Melodien aus Experiment 2 begleitet mit konsonanten Harmonien). Um das Erkennen von Unterschieden zwischen den Stimuli zu erleichtern, wurde die Bedingung 2 hinzugefügt, die auf großen Unterschieden beruht. Die Bedingung 2 umfasst tonale Melodien mit konsonanten

Harmonien und atonale Melodien mit dissonanten Harmonien. Die Stimuli von Experiment 2 und Experiment 3 wurden bereits von Plantinga und Trehub (2014) verwendet.

Da sich Studie 3 auf die Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz von Kindern konzentriert, die regelmäßig der westlichen Musikkultur ausgesetzt sind, kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse auf andere Musikkulturen verallgemeinerbar sind.

4.3 Experiment 1: Erprobung der Messmethode

Aufgrund von Kontaktbeschränkungen während der COVID-Pandemie wurden alle Experimente der Studie 3 online durchgeführt. Die Daten wurden im Jahr 2020 erhoben und die Studie 3 wurde von der Ethikkommission der Max-Planck-Gesellschaft genehmigt (Antrag: 2019_23).

4.3.1 Methode

Stichprobe. Die Stichprobe bestand aus 48 (20 männlichen und 28 weiblichen) Kindern im Alter zwischen 4 und 6 Jahren ($M = 65.66$ Monate, $SD = 10.81$ Monate, 16 Kinder pro Altersgruppe). Die Teilnehmenden wurden in Kindergärten und mithilfe von Onlinestudienwerbung angeworben. Alle Kinder wurden in Deutschland geboren und Deutsch war für 92 % aller Kinder die Muttersprache. In den meisten Fällen hatte keiner der Elternteile einen Hochschulabschluss (38 %), gefolgt von 36 % der Eltern, bei denen beide einen Hochschulabschluss dokumentierten. Das monatliche Familieneinkommen reichte von 2000-3000 € (19 %) bis zu mehr als 5000 € (31%). In den mittleren Kategorien wurden am zweithäufigsten 4000-5000 € (30 %) angegeben, gefolgt von 3000-4000 € (21 %). Im Durchschnitt hörten die Kinder zu Hause 9.06 Stunden pro Woche Musik ($SD = 7.93$ Stunden). Zwei Drittel der Eltern gaben an, jede Woche mit ihrem Kind zu musizieren ($M = 2.54$ Tage, $SD = 7.93$ Tage). Die Gesamtdauer des erhaltenen Musikunterrichts betrug $M = 10.25$ Monate ($SD = 13.86$ Monate). Fast die Hälfte der Eltern hatte eine musikalische Ausbildung (26 % der Mütter und 42 % der Väter). Die teilnehmenden Kinder besuchten im Durchschnitt $M = 24.33$ Monate ($SD = 22.25$ Monate) lang außerschulische Aktivitäten. Keines der teilnehmenden Kinder litt unter einer eingeschränkten Hörfähigkeit oder

Farbenblindheit. Die Daten von vier Teilnehmenden wurden aufgrund von technischen Problemen ($n = 2$) oder Störungen in ihrem häuslichen Umfeld ($n = 2$) während der Erhebung von der Analyse ausgeschlossen.

Stimulusmaterial. Zur altersgerechten Visualisierung wurden in Vorbereitung auf die Studie Puppen genäht, ein Spielzeugklavier passend zur Größe der Puppen gebaut und eine 5-Punkte-Skala mit Bildern von Eisportionen als Skalenelemente erstellt. Eine schematische Darstellung des Stimulusmaterials in Abbildung 19 (Seite 121) zu sehen, in der gleichzeitig die Durchführung der Studie visualisiert ist.

Visuelles Stimulusmaterial. Die Puppen wurden hinter dem Spielzeugklavier positioniert, dass es so aussah, als sie die musikalischen Stimuli selbst produzieren würden (in Anlehnung an Einarson et al., 2012; Einarson & Trainor, 2015; 2016). In jeder Aufgabe bot ein Paar aus zwei Puppen zwei verschiedene Klavierstücke dar. Die Reihenfolge der Puppenpaare war ausgeglichen, aber die Farbpaare rot-blau und gelb-grün blieben bei allen Aufgaben zusammen. Darüber hinaus war die Reihenfolge innerhalb der Paare zwischen den Teilnehmenden ausgeglichen (d.h. rot-blau und gelb-grün vs. blau-rot und grün-gelb). Um die Stärke der Präferenz zu messen, bewerteten die Teilnehmenden verschiedene Lebensmittel (Brokkoli, Karotten, Schokolade und Chips) auf einer Skala mit verschiedenen Portionsgrößen von Eiscreme. Je lieber die Teilnehmenden das gezeigte Lebensmittel aßen, desto mehr Kugeln Eiscreme wählten sie auf der 5-stufigen Skala (Abbildung 19, Seite 121) aus. Die Bedeutung der Eismengen wurde separat erklärt, um Tendenzen zu extremen Bewertungen zu vermeiden (Chambers & Johnston, 2002). Die Skala wurde wie folgt definiert: „gar nicht“ (1 Kugel), „ein wenig“ (2 Kugel), „unentschieden“ (3 Kugel), „ziemlich viel“ (4 Kugel) oder „sehr viel“ (5 Kugel).

Um zu testen, ob 4- bis 6-jährige Kinder die Skala zur Bewertung von Stimuli verwenden können, die scheinbar von Puppen erzeugt werden, bewerteten die Kinder zusätzlich zwei Regenbogenzeichnungen. Die Zeichnungen unterschieden sich in ihrer Qualität: ein symmetrischer Regenbogen mit klarer Abgrenzung zwischen den einzelnen Farben und ein asymmetrischer Regenbogen ohne

Abgrenzung zwischen den einzelnen Farben (Gekritzeln). Die Reihenfolge der präsentierten Zeichnungen war ausgeglichen.

Auditives Stimulusmaterial. Während der Aufgabe zur Kategorisierung spielten die Puppen zwei verschiedene Klavierstücke. Entweder das Lied „Alle meine Entchen“ oder wilde Tastenkombinationen. Die auditiven Stimuli wurden vorab mit MuseScore erstellt, sodass diese im Tempo (150 bpm) und Länge aufeinander abgestimmt waren. Die Dauer pro Klavierstück betrug 16 Sekunden, und die Reihenfolge der auditiven Stimuli war zwischen den Teilnehmenden ausgeglichen. Die Reihenfolge der Präferenz- und Kategorisierungsmessung war zwischen den Teilnehmenden ebenfalls ausgeglichen.

Kontrollvariablen. Die Befragung zur Erhebung der Kontrollvariablen basiert auf dem in den Studien 1 und 2 verwendeten Fragebogen, für den keine Gütekriterien vorliegen. Im Rahmen einer mündlichen Befragung der Eltern, wurden im Anschluss an die Testung der Teilnehmenden die folgenden Kontrollvariablen erhoben: musikalischen Erfahrungen der Kinder (Musikhören, gemeinsames Musizieren und Musikunterricht), musikalische Ausbildung der Eltern, Ausmaß an außerschulischen nicht-musikalischen Aktivitäten, sozioökonomischen Status (Bildung der Eltern, Familieneinkommen) und kultureller Hintergrund (Geburtsland und Muttersprache). Eine ausführliche Beschreibung der untersuchten Kontrollvariablen kann ab Seite 48 in Studie 1 eingesehen werden.

Versuchsaufbau. Die Studie 3 fand individuell für alle Teilnehmende über Cisco WebEx Videoanrufe statt. Die zuvor erstellten musikalischen Stimuli wurden in mp3-Audiodateien umgewandelt und in eine Power-Point-Datei eingebettet, die für die Präsentation der Stimuli verwendet wurde. Die Versuchsleitung und die Teilnehmenden befanden sich während der Testung nicht am selben Ort. Daher wurden alle Stimuli über die Funktion des Bildschirmteilens von WebEx mit optimierten Einstellungen für die visuelle und auditive Ausgabe präsentiert.

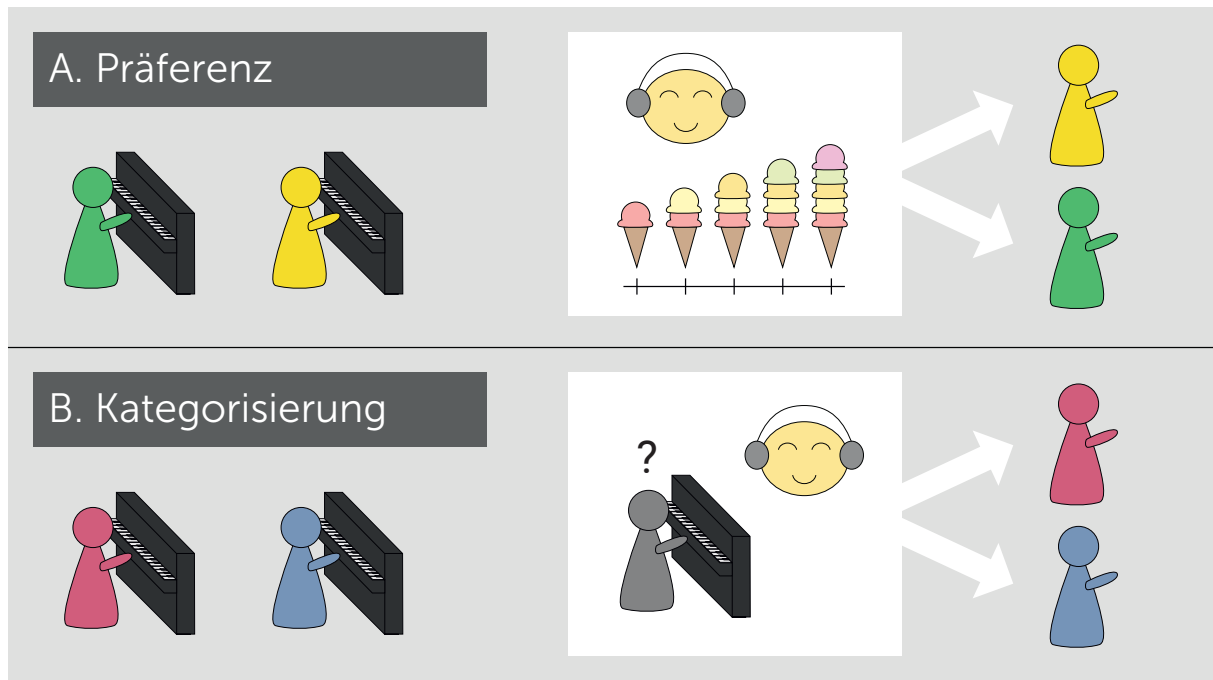
Versuchsdurchführung. Vor Beginn der Erhebung wurden die Teilnehmenden mit ihren Eltern von der Versuchsleitung begrüßt und bekamen nach einem kurzen technischen Check feste Plätze für die Erhebung zugewiesen. Das teilnehmende Kind saß vor dem Bildschirm des Computers und die Eltern im Hintergrund, d.h. außerhalb des Blickfelds des Kindes. Die Eltern wurden aufgefordert, einen neutralen Gesichtsausdruck zu bewahren und die Entscheidungen ihres Kindes nicht zu beeinflussen. Zur Standardisierung wurden alle Kinder von der gleichen Versuchsleitung getestet. Sie erhielt zuvor ein Training, um während der Präsentation der Stimuli einen neutralen Gesichtsausdruck beizubehalten, und hatte keine Kenntnis von der Reihenfolge der Stimuli.

Die Stärke der Präferenz wurde anhand einer 5-Punkte-Skala gemessen (in Form von Eiskugeln, Abbildung 19, Seite 121). Zuvor wurde jeder Punkt auf der Skala erklärt und die Bedeutungen noch einmal zusammengefasst: „Wähle mehr Eis, je mehr du das Essen/die Zeichnung magst.“ Die Teilnehmenden sahen Bilder von verschiedenen Lebensmitteln (Brokkoli, Karotten, Schokolade und Chips) und wurden dann gefragt: „Wie sehr magst du das Essen? Sage mir deine Antwort auf der Eiscreme-Skala.“ Anschließend wurden sie gebeten, zu bewerten, wie sehr ihnen die Zeichnungen der Puppen gefielen.

Die Kategorisierung wurde mithilfe eines Zuordnungsparadigmas getestet (Teil B, Abbildung 19, Seite 121). Auf die Frage „Welche Puppe hat gerade dieses Klavierstück gespielt?“ sollten die Teilnehmenden die Puppen und die Klavierstücke einander zuordnen. Die Kategorisierungsaufgabe begann mit einer Trainingsaufgabe, bei der die Puppen während des Vortrags sichtbar waren. Darauf folgten zwei Versuchsrunden. In der ersten Versuchsrunde war die Reihenfolge beider Stücke dieselbe wie in der Trainingsaufgabe. In der zweiten Runde wurde die Reihenfolge der präsentierten Klavierstücke geändert. Dadurch sollte kontrolliert werden, ob die Teilnehmenden die Klavierstücke als unterschiedlich kategorisierten oder ihre Kategorisierungen nur auf Auswendiglernen der Reihenfolge basierten. In beiden Versuchsrunden waren die Farbe der Puppen nicht zu erkennen, während sie Klavier spielten.

Abbildung 19

Durchführung der Messung von Präferenzen (A) und Kategorisierung (B)



Anmerkung. Teil A: In Experiment 1 bewerteten die Teilnehmenden zu Erprobungszwecken anhand der Eisskala in der Präferenzaufgabe verschiedene Lebensmittel und Zeichnungen. Die Stimuli wurden in Experiment 2 und Experiment 3 durch Klavierstücke ersetzt. Teil B: Um die Kategorisierung der Teilnehmenden zu messen, hörten diese in einer Trainingsrunde zwei verschiedene Klavierstücke, die von Puppen gespielt wurden. Anschließend wurde ein Klavierstück von einer Puppe gespielt, deren Farbe nicht erkannt werden konnte. Die Teilnehmenden ordneten dann eine der Puppen aus der Trainingsrunde dem Stück zu, von dem sie annahmen, dass die Puppe gerade Klavier gespielt hatte.

Zum Abschluss der Datenerhebung wurden die Eltern hinsichtlich der musikalischen Erfahrung, des sozioökonomischen Status, des kulturellen Hintergrundes, des Alters und Geschlechts befragt, die als Kontrollvariablen dienten. Die Teilnahme dauerte insgesamt 30 Minuten. Die Kinder waren nach 15 Minuten fertig und konnten vor dem abschließenden Interview ihrer Eltern selbst entscheiden, ob sie weiter anwesend bleiben wollten. Die teilnehmenden Kinder erhielten am Ende eine personalisierte Urkunde und konnten zwischen 10 € in bar oder einem Büchergutschein im Wert von 10 € als Aufwandsentschädigung wählen.

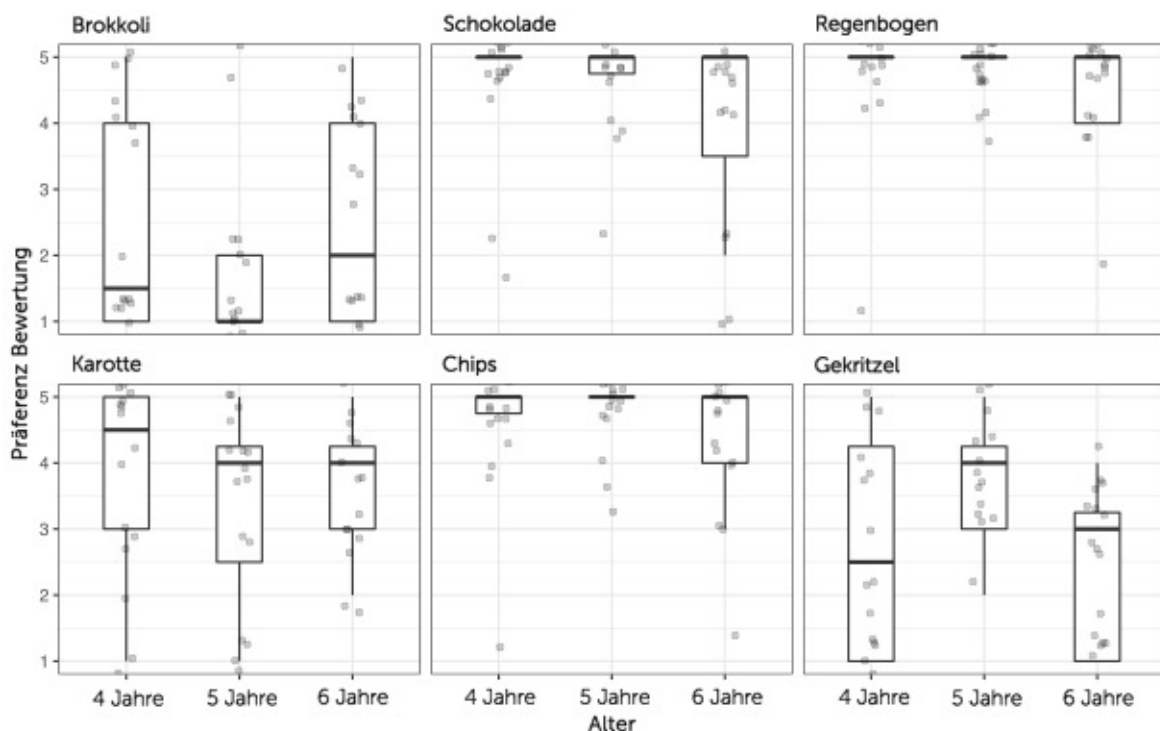
4.3.2 Ergebnisse

Die a-priori Poweranalyse mit G*Power Version 3.1.9.4 (Faul et al., 2007, 2009) ergab einen Mindeststichprobenumfang von $N = 24$ Teilnehmenden, wenn ein Signifikanzkriterium von $\alpha = 0,05$ und einer Power $(1-\beta) = 0,95$ angenommen wird. Da in Experiment 1 ein neuer methodischer Ansatz angewandt wurde, wurde für die Poweranalyse Cohens $d = 0,8$ gewählt. Die erhobene Stichprobe von $N = 48$ Teilnehmenden ist daher ausreichend, um Effekte des neuen methodischen Ansatzes aufzuzeigen.

Verwendung der Rating Skala. Die 5-stufige Eisskala wurde verwendet, um die Präferenz der Teilnehmenden für verschiedene Lebensmittel und Zeichnungen zu messen. In Abbildung 20 sind die mittleren Präferenzwerte und ihre Standardabweichungen für alle Stimuli in den verschiedenen Altersgruppen zusammengefasst. Je höher die mittleren Präferenzwerte waren, desto weiter oben wurde der Strich für den Mittelwert im Box-Plot positioniert.

Abbildung 20

Mittlere Präferenzwerte und Standardabweichungen für alle Stimuli



Es wurden mehrere Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests durchgeführt, um festzustellen, ob 4- bis 6-jährige Kinder in der Lage waren, die Skala zur Angabe ihrer Präferenzen zu verwenden. In Tabelle 11 sind die Ergebnisse aller berechneten Vergleiche zusammengefasst. Hierzu wurden Mehrfachvergleiche durchgeführt, weshalb das bonferroni-korrigierte Signifianzniveau bei $0.05/3 = 0.017$ liegt. Erwartungsgemäß präferierten 4-jährige Kinder leicht und noch stärker Schokolade sowie Chips im Vergleich zu Brokkoli. Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich bei den 5-jährigen Kindern, die Karotten geringfügig, stärker Chips und am deutlichsten Schokolade gegenüber Brokkoli bevorzugten. Insgesamt mochten 5-jährige Kinder Süßigkeiten deutlich lieber als gesundes Gemüse. Dies spiegelt sich auch in ihrer Vorliebe für Chips und noch stärker in ihrer Vorliebe für Schokolade und gegenüber Karotten wider. Der Trend, Brokkoli nicht zu mögen, setzte sich bei den 6-jährigen Kindern fort, die im Vergleich zu Brokkoli Schokolade geringfügig bevorzugten, Karotten stärker und Chips am stärksten.

Tabelle 11

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests für Lebensmittelpräferenzen in verschiedenen Altersgruppen

Lebensmittel	Alter											
	4 Jahre				5 Jahre				6 Jahre			
	z	p	r	95% KI	z	p	r	95% KI	z	p	r	95% KI
Brokkoli gegen												
Karotten	-1.50	.038	.51	[-3.49, -0.00]	-2.29	.043	.51	[-3.00, -0.00]	-1.50	.005	.69	[-2.50, -0.50]
Chips	-2.50	.004	.74	[-4.00, -1.49]	-3.49	.002	.73	[-4.00, -1.49]	-2.49	.004	.71	[-3.50, -1.00]
Schokolade	-2.50	.005	.74	[-4.00, -1.00]	-3.38	.001	.80	[-4.00, -1.50]	-2.49	.031	.55	[-3.50, -1.50]

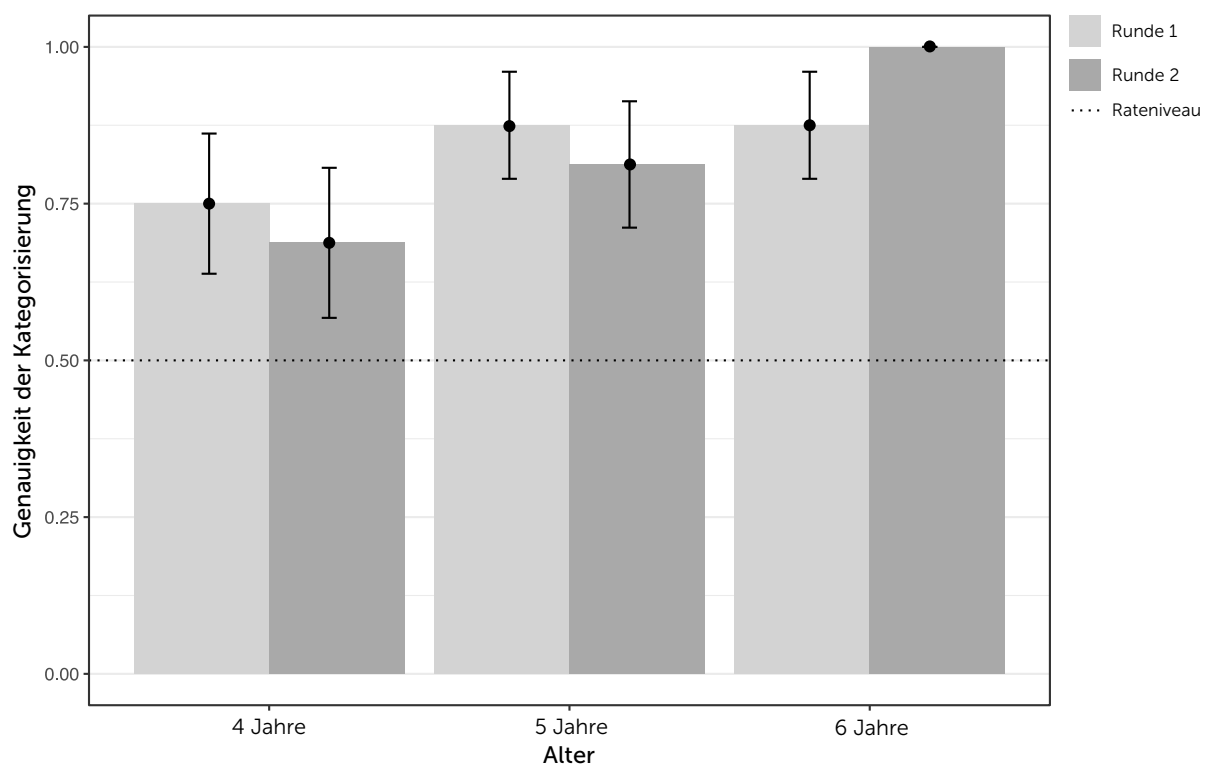
Kinder aller Altersstufen konnten ihre Präferenzen zur Bewertung von Zeichnungen anhand der Eisskala ausdrücken. Es zeigte sich eine signifikante Präferenz für die schöne Zeichnung eines Regenbogens gegenüber dem Gekritzeln bei 4-jährigen ($z = -2.49, p = .017, r = 0.63, 95\% \text{ KI } [-3.49, -0.99]$), bei 5-jährigen ($z = -1.49, p = .003, r = 0.76, 95\% \text{ KI } [-1.99, -0.99]$), sowie bei 6-jährigen Kindern ($z = -2.00, p < .001, r = 0.88, 95\% \text{ KI } [-2.99, -1.49]$).

Verwendung des Zuweisungsparadigmas. Zur Messung der Kategorisierung absolvierten alle Kinder zwei Runden des Zuordnungsparadigmas, um Reihenfolgeeffekten entgegenzuwirken. Die

Ergebnisse der Untersuchung der Qualität der Kategorisierung durch Tests auf Binomialverteilung sind in Abbildung 21 für die Runde 1 (hellgrau) und Runde 2 (dunkelgrau) dargestellt. Die Kategorisierung der 4-jährigen Kinder lag bereits in Runde 1 ($p = .077$, $n = 16$) und Runde 2 ($p = .210$, $n = 16$) oberhalb des Rateniveaus, übertraf dies jedoch noch nicht signifikant. Dies ändert sich im Alter von 5 Jahren, wo in Runde 1 ($p = .004$, $n = 16$) und in Runde 2 ($p = .021$, $n = 16$) signifikant über dem Rateniveau von 50% zu kategorisiert wurde. Bei 6-jährigen Kindern verbesserte sich die Kategorisierung weiter, was sowohl in Runde 1 ($p = .004$, $n = 16$) als auch in Runde 2 ($p < .001$, $n = 16$) deutlich wird. Zusammengekommen deuten die Ergebnisse auf eine Entwicklung hin, bei der die Kategorisierung mit dem Alter zunimmt.

Abbildung 21

Genauigkeit der Kategorisierung bei 4- bis 6-jährigen Kindern



Anmerkung. Die Genauigkeit der Kategorisierung verbessert sich im Alter von 4 bis 6 Jahren. Bei der Zuordnung unterschiedlich gefärbter Puppen zum Lied „Alle meine Entchen“ oder den wilden Tastenkombinationen lagen alle Altersgruppen über dem Rateniveau (gepunktete Linie). Die Kategorisierung übertraf ab 5 Jahren signifikant das Rateniveau und verbesserte sich mit zunehmendem Alter.

Die Häufigkeit korrekter und falscher Zuordnungen wurde zwischen den Altersgruppen verglichen. Dies diente der weiteren Untersuchung des Entwicklungsverlaufs der Kategorisierungsfähigkeit, welcher bei der Prüfung auf Binomialverteilung zu erkennen war. Chi-Quadrat-Tests wurden berechnet, um Unterschiede in den Antworthäufigkeiten zwischen den Altersgruppen zu analysieren. In Übereinstimmung mit den Tests auf Binomialverteilung sind die korrekten Zuordnungen im Alter von 6 Jahren (94%) signifikant höher als im Alter von 4 Jahren (72%), $\chi^2 (1, N = 64) = 5.38, p = 0.020$. Dieser Effekt verringert sich mit abnehmendem Altersabstand, da 6-jährige Kinder (93.75%) nur geringfügig mehr Klavierstücke korrekt zuordneten als 5-jährige Kinder (84%), $\chi^2 (1, N = 64) = 3.14, p = 0.077$. Es gab keinen signifikanten Unterschied in den Antworthäufigkeiten zwischen 4- und 5-jährigen Kindern, $\chi^2 (1, N = 64) = 1.46, p = 0.226$.

4.3.3 Diskussion

In Anbetracht eines fehlenden methodischen Ansatzes zur getrennten Untersuchung von Präferenz und Wahrnehmung im Kindesalter wurden zwei neue Aufgaben entwickelt und in Experiment 1 erprobt. Die Teilnehmenden bewerteten ihre Präferenzen für Lebensmittel und Zeichnungen anhand einer 5-stufigen Skala mit Eisportionen. Ihre Wahrnehmung von kategorialen Unterschieden zwischen musikalischen Reizen wurde mit einem Zuordnungsparadigma getestet. Insgesamt konnten 4- bis 6-jährige Kinder ihre Präferenzen mit Hilfe der kindgerecht visualisierten Skala angeben. Die Auswertung des Zuordnungsparadigmas zeigte Veränderungen der Kategorisierung mit zunehmendem Alter. Fünf- und 6-jährige Kinder kategorisierten beide Musikstücke über dem Zufallsniveau und waren damit in der Lage, die Kategorisierungsaufgabe zu lösen. Darüber hinaus zeigten Altersgruppenvergleiche, dass mit zunehmendem Alter die Zahl der korrekten Zuordnungen anstieg. Insgesamt gelang es allen Altersgruppen, die Skala für Präferenzbewertungen zu nutzen, und das Zuordnungsparadigma wurde erfolgreich zur separaten Messung der Wahrnehmung eingesetzt. Die erfolgreiche Erprobung der neu entwickelten methodischen Möglichkeit erlaubt es, beide Aufgaben in den nächsten Experimenten zu

verwenden, um die Entwicklung der Präferenz und Wahrnehmung von Tonalität (Experiment 2) und Konsonanz (Experiment 3) bei 4- bis 6-jährigen Kindern zu untersuchen.

4.4 Experiment 2: Tonalitätspräferenz

Ziel des zweiten Experiments war es, den Entwicklungsverlauf der Tonalitätspräferenz und -kategorisierung mit Hilfe der in Experiment 1 vorgestellten Methode zu messen. Daher wurden tonale und atonale Melodien von Plantinga und Trehub (2014) als musikalische Stimuli ausgewählt und eine Replikation mit einer Erweiterung der Altersgruppe auf 4- bis 6-jährige Kinder angestrebt.

4.4.1 Methode

Stichprobe. Insgesamt umfasst die Stichprobe 55 Kinder (29 Mädchen) im Alter von 4 bis 6 Jahren ($M = 66.67$ Monate, $SD = 10.49$ Monate). Pro Altersgruppe nahmen $n = 17$ 4-jährige Kinder, $n = 19$ 5-jährige Kinder und $n = 19$ 6-jährige Kinder teil. Die Rekrutierung und die Belohnungen für die Teilnahme waren dieselben wie in Experiment 1. In den meisten Fällen hatten beide Elternteile einen Hochschulabschluss (58%), gefolgt von einem Elternteil mit Hochschulabschluss (35 %). Die meisten Eltern gaben ihr Monatseinkommen mit 4000-5000 € (27 %) und 3000-4000 € (27%) an, gefolgt von mehr als 5000 € (24 %). Mit Ausnahme eines teilnehmenden Kindes wurden alle Kinder in Deutschland geboren, und 84 % aller Kinder sprachen Deutsch als Muttersprache. In ihrem häuslichen Umfeld hörten die Kinder im Durchschnitt 10.38 Stunden pro Woche Musik, wobei dies zwischen den Teilnehmenden variierte ($SD = 9.59$ Stunden). Von den Eltern der teilnehmenden Kinder gaben 87% an, dass sie jede Woche mit ihrem Kind musizieren ($M = 3.18$ Tage, $SD = 2.46$ Tage). Die Gesamtdauer des Musikunterrichts, den die Teilnehmenden früher erhielten und aktuell erhalten, betrug $M = 17.05$ Monate ($SD = 18.76$ Monate). Mehr als die Hälfte aller Mütter (62 %) und 44 % der Väter hatten ebenfalls Musikunterricht erhalten. Die Gesamtdauer der außerschulischen nicht-musikalischen Freizeitaktivitäten der teilnehmenden Kinder betrug $M = 27.43$ Monate ($SD = 23.57$ Monate). Kein teilnehmendes Kind litt unter einer eingeschränkten Hörfähigkeit oder Farbenblindheit. Aufgrund von technischen

Problemen ($n = 1$) oder Störungen in den Kinderheimen ($n = 3$) wurden weitere Daten von 4 Teilnehmenden von der Analyse ausgeschlossen.

Stimulusmaterial und Aufgaben. Da die zusätzliche Kategorisierungsaufgabe mehr Stimuli erforderte als in der Originalstudie von Plantinga und Trehub (2014), wurde MuseScore verwendet, um Transpositionen (z. B. nach G-Dur, D-Dur, B-Dur oder Fis-Dur) des ursprünglichen Stimulus-Sets zu erzeugen. Jedes teilnehmende Kind hörte drei Transpositionen, die nach dem Zufallsprinzip zu Klavierstücken zusammengestellt wurden. Das erste Klavierstück beinhaltete drei der sieben möglichen Tonarten, welche randomisiert zur Messung der Präferenz ausgewählt wurden. Das zweite Klavierstück umfasste drei weitere Tonarten und diente als musikalisches Material für die Kategorisierungsaufgabe. Die siebte Transposition wurde während der Trainingsaufgabe vor der Kategorisierungsaufgabe verwendet. Jedes Klavierstück dauerte 28,8 Sekunden (18 Takte, 150 bpm, Viervierteltakt). Innerhalb der Klavierstücke wurde jede Transposition (Motiv) einmal in der zuvor randomisierten Reihenfolge wiederholt (z. B. C-Dur, G-Dur, D-Dur).

Die Reihenfolge der Präferenz- und Kategorisierungsaufgaben war wie in Experiment 1 ausgeglichen. Die Reihenfolge der tonalen und atonalen Melodien war bei allen Aufgaben für die einzelnen Teilnehmenden identisch, aber zwischen den Teilnehmenden ausbalanciert. Auch die Reihenfolge der Puppenpaare und innerhalb der Paare war zwischen den Teilnehmenden ausbalanciert.

Um einen tieferen Einblick in die Entwicklung von Präferenzen zu erhalten, wurde eine dritte Aufgabe zur Messung der aktiven Hörpräferenz entwickelt. Bei dieser Aufgabe wählten die Teilnehmenden eines der zuvor dargebotenen Klavierstücke aus, mit der Folge, dass sie dieses Stück erneut anhören mussten. Die Teilnehmenden konnten jedoch die Dauer der Stimuluspräsentation selbst beenden.

Versuchsaufbau. Der Versuchsaufbau war identisch mit dem in Experiment 1. Die Kontrollvariablen wurden auf die gleiche Weise gemessen wie im ersten Experiment. Die Aufgabentypen wurden für die Bewertung von Präferenz und Kategorisierung übernommen. Lediglich die musikalischen

Stimuli wurden durch tonale und atonale Melodien ersetzt. Als Instrumentenklangfarbe wurde für alle Stimuli das Klavier verwendet.

Versuchsdurchführung. Der Ablauf entsprach dem von Experiment 1, wobei einige Aufgaben hinzukamen und die musikalischen Reize verändert wurden. Vor Beginn wurden die Teilnehmenden gebeten, ihre Lieblingsfarbe zu nennen, um zu überprüfen, inwieweit die Bewertungen mit der Lieblingsfarbe zusammenhängen. Zur Messung der Präferenzen hörten die Teilnehmenden nacheinander zwei Klavierstücke (d.h. tonale und atonale Melodien), die von verschiedenen Puppen am Klavier vorgetragen wurden. Zwischen den beiden Darbietungen wurde die 5-stufige Eisskala auf dem Bildschirm angezeigt und das weitere Vorgehen erklärt: „Bitte merke dir, wie dir das erste Stück gefallen hat. Als Nächstes wirst du nun das zweite Klavierstück hören.“ Nach dem Anhören des zweiten Klavierstücks, bewerteten die Teilnehmenden die einzelnen Stücke mithilfe der Skala aus Eisportionen (Abbildung 19, Seite 121). Die Kategorisierung wurde mit demselben Zuordnungsparadigma wie in Experiment 1 getestet. Am Ende wurde die aktive Hörpräferenz getestet, und die Teilnehmenden durften entscheiden, ob sie die tonalen oder die atonalen Melodien nochmals hören wollten. Anschließend wurde der ausgewählte Stimulus zweimal abgespielt und die Dauer der Darbietung gemessen. Die Kontrollvariablen wurden wie in Experiment 1 erhoben.

4.4.2 Ergebnisse

Basierend auf einer Studie von Maier-Karius und Schwarzer (2011) wurde eine a-priori Poweranalyse mit G*Power Version 3.1.9.4 (Faul et al., 2007, 2009) durchgeführt. Unter der Annahme eines Signifikanzkriteriums von $\alpha = .05$, einer Power $(1-\beta) = .95$ und einer Effektstärke von auf Cohens $d = 2.48$ beträgt die Mindeststichprobengröße $N = 8$ Teilnehmende. Somit ist die untersuchte Stichprobe von insgesamt $N = 55$ Teilnehmenden mehr als ausreichend, um die Entwicklung von Tonalitätspräferenz und Kategorisierung zwischen tonalen und atonalen Melodien zu testen.

Die Anwendung der in Experiment 1 erprobten Aufgaben ermöglicht eine getrennte Messung von Präferenz und Kategorisierung. Daher ist die Analyse des zweiten Experiments in vier Teile unterteilt. Im ersten Schritt wurde die Entwicklung der Tonalitätspräferenz in einer übergreifenden Analyse aller Kinder erfasst. Zweitens wurde die Entwicklung der Kategorisierung anhand des Zuordnungsparadigmas aus Experiment 1 gemessen. In Schritt 3 wurde die Präferenz unter Berücksichtigung der Kategorisierung erneut analysiert. Die Stichprobe wurde in Teilnehmende mit und Teilnehmende ohne Kategorisierungsfähigkeiten unterteilt. Die Präferenzanalyse der geteilten Stichprobe wurde durchgeführt, um mögliche Veränderungen in den Bewertungen aufgrund unterschwelliger oder fehlender Wahrnehmung von Unterschieden zwischen tonalen und atonalen Melodien zu ermitteln. Abschließend wurden die aktiven Hörpräferenzen von Teilnehmenden mit erfolgreicher Kategorisierung genauer untersucht.

Übergreifende Präferenzanalyse der Gesamtstichprobe. Wie in Experiment 1 wurden Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests durchgeführt, um die Entwicklung der musikalischen Präferenzen bei 4- bis 6-jährigen Kindern zu untersuchen. Bei der tonalitätsbasierten Bedingung gab es in allen Altersgruppen weder eine Präferenz für die tonale noch für die atonale Melodie. Die Teilnehmenden im Alter zwischen 4 und 6 Jahren bevorzugten keine der beiden melodischen Varianten. Dies deutet darauf hin, dass Kinder im Rahmen des zweiten Experiments in diesem Alter noch keine Präferenz für die westliche Tonalität haben.

Entwicklung der Kategorisierungsfähigkeit. Um zu analysieren, wie sich die Fähigkeit, musikalische Reize zu kategorisieren, entwickelt, wurden die Häufigkeiten der korrekten Zuordnungen im Zuordnungsparadigma zwischen den Altersgruppen verglichen. Aufgrund der fehlenden Normalverteilung der Daten wurden Chi-Quadrat-Tests berechnet. In der tonalitätsbasierten Bedingung ergaben die Chi-Quadrat-Tests keine signifikanten Unterschiede in den Zuordnungen von Melodien zwischen 4- und 6-jährigen Kindern, $X^2(1, N = 72) = 1.36, p = .243$, zwischen 4- und 5-jährigen Kindern, $X^2(1, N = 72) = 0.003, p = .958$, oder zwischen 5- und 6-jährigen Kindern, $X^2(1, N = 76) = 1.32, p = .251$. Das

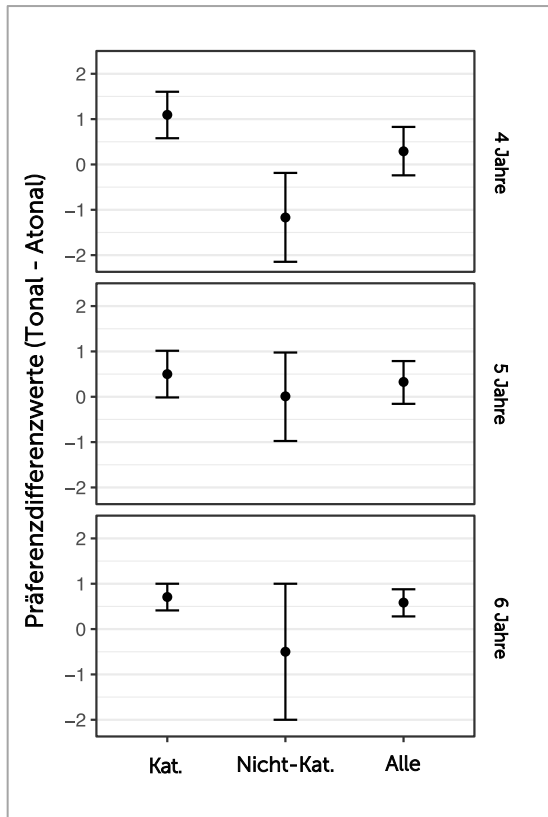
bedeutet, dass sich die Fähigkeit, Tonveränderungen zu kategorisieren, zwischen dem Alter von 4 und 6 Jahren nicht signifikant veränderte. Dennoch überstieg im Alter von 6 Jahren die Anzahl der korrekten Zuordnungen die der falschen, und der Prozentsatz der korrekten Zuordnungen erhöhte sich zwischen 4-jährigen Kindern (44%) und 6-jährigen Kindern (58%).

Präferenzanalyse der aufgeteilten Stichprobe. Die Kategorisierung scheint sich zwischen 4 und 6 Jahren noch zu entwickeln. Da die Kategorisierung theoretisch der Entwicklung einer systematischen Präferenz vorausgehen dürfte, sollten Kinder, die tonale und atonale Melodien noch nicht gut kategorisieren können, keine Präferenz für eine der beiden Kategorien zeigen. Dies bietet einen hilfreichen Ansatz, um unsere neue Messmethoden zu testen: Wenn die Methoden zur getrennten Erfassung von Kategorisierung und Präferenz in dieser Altersgruppe valide sind, dann sollten eine signifikante systematische Präferenzen für tonale Melodien nur bei Teilnehmenden erkennbar sein, die bei der Kategorisierungsaufgabe gut abschneiden.

Um dies zu untersuchen, wurden die Präferenzbewertungen auf der Eiscreme-Skala erneut mit Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests analysiert und die Stichprobe in Teilnehmende unterteilt, die erfolgreich kategorisieren, und solche, die dies nicht schaffen. Die Klassifizierung als erfolgreiche Kategorisierung basierte auf der korrekten Zuordnung beider Stimulusvarianten in einer Runde. Ergänzend zur übergreifenden Präferenzanalyse konnte herausgefunden werden, dass nur 6-jährige Kinder, die die tonalen und atonalen Melodien kategorisierten, eine Präferenz für die tonale Melodie hatten, $z = -1.00$, $p = .044$, $r = 0.53$, 95% KI [-1.99, -0.00]. Die Präferenzwerte wurden in Differenzwerte umgewandelt (d.h. in Unterschiede zwischen den Bewertungen der tonalen und atonalen Melodien) und sind in Abbildung 22 (Seite 131) visualisiert.

Abbildung 22

Präferenzdifferenzwerte und 95% Konfidenzintervalle für tonale und atonale Melodien



Anmerkung. Präferenzdifferenzwerte für 4- bis 6-jährige Kinder, die als Klavierstücke entweder eine tonale oder eine atonale Version der Melodie bewerteten. Die Aufteilung der Gesamtstichprobe (alle Teilnehmenden) in Teilnehmende mit Kategorisierungsfähigkeiten (Kat.) und ohne (Nicht-Kat.) verdeutlicht, dass sich die Präferenzen je nach Kategorisierungsfähigkeit unterscheiden und dass es bei den Bewertungen der nicht kategorisierenden Teilnehmenden mehr Variation gibt.

Untersuchung der aktiven Hörpräferenz. Auf der Grundlage der geteilten Präferenzanalyse wurden im letzten Schritt die aktiven Hörpräferenzen der Teilnehmenden mit Kategorisierungsfähigkeit näher analysiert. Die Häufigkeit der Auswahl tonaler Melodien zum erneuten Anhören stieg von 46 % bei 4-jährigen Kindern auf 65 % bei 6-jährigen Kindern. Es gab jedoch keine signifikanten Unterschiede in der Auswahl der Stimuli zwischen den Altersgruppen. Für die Analyse der Hördauer wurden Man-Whitney-U-Tests berechnet, um festzustellen, ob es Unterschiede zwischen den gewählten Melodieversionen gab. Die Teilnehmenden hörten sich ihre gewählte Version zweimal an, so dass eine kumulative Hördauer berechnet werden konnte. Insgesamt gab es in keiner Altersgruppe signifikante Unterschiede. Für die Dauer des Hörens war es somit nicht von Bedeutung, welche Melodieversion

von den Teilnehmenden ausgewählt wurde. Wie in der vorherigen Präferenzanalyse mit der unterteilten Stichprobe zeigte sich auch bei der aktiven Hörpräferenz eine beginnende Verschiebung hin zu einer tonalen Präferenz auf Basis der Auswahlfrequenz.

4.4.3 Diskussion

Werden alle Teilnehmenden gemeinsam betrachtet, so ist festzuhalten, dass sich die Kategorisierung zwischen tonalen und atonalen Melodien verbessert und die teilnehmenden Kinder zwischen 4 und 6 Jahren noch keine Tonalitätspräferenz zeigen. Die Annahme, dass es keine Präferenz gibt, ist jedoch irreführend, da 6-jährige Kinder, die bereits kategorisieren, eine Präferenz aufweisen. Da Kinder ohne Kategorisierung keine Präferenz erkennen ließen, deutet dies darauf hin, dass die Kategorisierung der Präferenz vorausgeht. Die Fähigkeit tonale und atonale Melodien als unterschiedliche Kategorien wahrzunehmen, scheint daher die Entwicklung der Tonalitätspräferenz zu unterstützen. Dadurch liefert das zweite Experiment erstmals Hinweise darauf, dass Tonalitätspräferenz auf der basalen Wahrnehmung von Unterschieden zwischen Tonalität und Atonalität aufbaut. Die Ergebnisse zur Präferenz für aktives Hören unterstützen dies insofern, als dass die Präferenz für Tonalität mit dem Alter zunimmt und ältere Kinder länger tonale Melodien hören.

4.5 Experiment 3: Konsonanzpräferenz

Aufbauend auf den Ergebnissen der ersten beiden Experimente sollten im dritten Experiment neue Erkenntnisse über die Entwicklung der Präferenz und Kategorisierung für Konsonanz gewonnen werden. Wie in Experiment 2 wurden bestehende Stimuli von Plantinga und Trehub (2014) ausgewählt und 4- bis 6-jährige Kinder untersucht.

4.5.1 Methode

Stichprobe. Die Stichprobe umfasste 112 Kinder (59 Mädchen) im Alter von 4 bis 6 Jahren ($M = 65.62$ Monate, $SD = 10.44$ Monate). Die Kinder wurden in drei Altersgruppen eingeteilt: $n = 34$ 4-

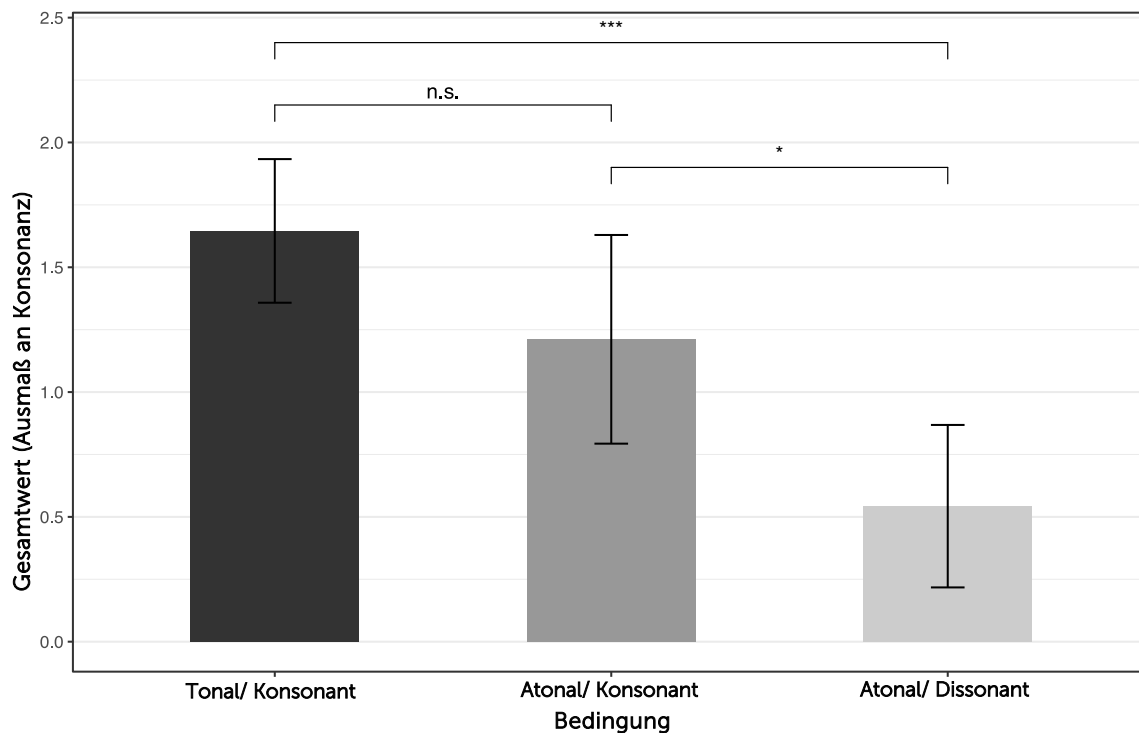
jährige Kinder, $n = 39$ 5-jährige Kinder und $n = 39$ 6-jährige Kinder nahmen an Experiment 3 teil. Die Rekrutierung und die Belohnungen für die Teilnahme waren identisch mit denen der vorherigen Experimente. In den meisten Fällen hatten beide Elternteile einen Hochschulabschluss (39%), in 34 % der Familien hatte kein Elternteil einen Hochschulabschluss und in 27 % hatte ein Elternteil einen Hochschulabschluss. Das monatliche Familieneinkommen reichte von unter 2000-3000 € (18 %) bis zu mehr als 5000 € (28%). Die meisten Eltern gaben ihr monatliches Einkommen mit 4000-5000 € an (28 %). Alle Kinder wurden in Deutschland geboren und sprachen Deutsch als Muttersprache. Die Kinder hörten in ihrer häuslichen Umgebung durchschnittlich 9.67 Stunden pro Woche Musik ($SD = 10.93$ Stunden). Von den Eltern gaben 75 % an, dass sie jede Woche mit ihrem Kind gemeinsam musizieren ($M = 2.65$ Tage, $SD = 2.43$ Tage). Die Gesamtdauer des von den teilnehmenden Kindern besuchten Musikunterrichts betrug $M = 19.63$ Monate ($SD = 94.16$ Monate). Mehr als die Hälfte aller Mütter (55 %) und 40% der Väter hatten eine musikalische Ausbildung. Die Gesamtdauer der außerschulischen (nicht-musikalischen) Freizeitaktivitäten der teilnehmenden Kinder betrug $M = 27.53$ Monate ($SD = 27.11$ Monate). Keines der Kinder litt an einer Hörbehinderung oder Farbenblindheit. Weitere Daten von 8 Teilnehmenden wurden aufgrund von technischen Problemen ($n = 2$), Kommunikationsproblemen ($n = 4$) oder Störungen in der häuslichen Umgebung der Teilnehmenden ($n = 2$) von der Analyse ausgeschlossen.

Stimulusmaterial. Die Präferenz und Wahrnehmung von Konsonanz wurden in Bedingung 1 mit geringen Differenzen (tonale und atonale Melodien aus Experiment 2 begleitet von konsonanten Harmonien) und in Bedingung 2 mit großen Differenzen (tonale Melodien mit konsonanten Harmonien und atonale Melodien mit dissonanten Harmonien) gemessen. Jedes teilnehmende Kind nahm nur an einer Bedingung teil.

Vor Beginn des dritten Experiments wurden die Stimuli hinsichtlich ihres Konsonanzgrades mit dem R-Paket *incon* (Harrison & Pearce, 2020) verglichen. Die Analyse ermöglichte es, das Ausmaß an Konsonanz bei gleichzeitig klingenden Stimuli vorherzusagen. Abbildung 23 (Seite 134) enthält die berechneten Gesamtmittelwerte für das Ausmaß an Konsonanz pro Bedingung, bei denen es sich um nicht standardisierte Regressionskoeffizienten handelt, die den Grad der Konsonanz darstellen.

Abbildung 23

Gesamtmittelwerte für das Ausmaß an Konsonanz und Standardabweichungen



Anmerkung. Die Gesamtmittelwerte für das Ausmaß an Konsonanz wurden für Bedingung 1 (tonale Melodien mit konsonanten Harmonien vs. tonale Melodien mit dissonanten Harmonien) und Bedingung 2 (tonale Melodien mit konsonanten Harmonien vs. atonale Melodien mit dissonanten Harmonien) berechnet. Sowohl in Bedingung 1 als auch in Bedingung 2 wurden totale Melodien mit konsonanten Harmonien verwendet (linke Spalte). * $p < .05$. *** $p < .001$. n.s. = nicht signifikant.

In Bedingung 1 unterschieden sich die Gesamtmittelwerte des Ausmaßes an Konsonanz zwischen tonalen Melodien mit konsonanten Harmonien ($Mdn = 1.88$) nicht signifikant von atonalen Melodien mit konsonanten Harmonien ($Mdn = 1.22$), $U = 34.00$, $z = -1.22$, $p = .247$, $r = 0.27$. Jedoch bestanden in Bedingung 2 signifikante Unterschiede im Ausmaß an Konsonanz zwischen tonalen Melodien mit konsonanten Harmonien ($Mdn = 1.88$) und atonalen Melodien mit dissonanten Harmonien ($Mdn = .39$), $U = 6.00$, $z = -3.33$, $p < .001$, $r = 0.74$. Darüber hinaus unterschieden sich die Gesamtmittelwerte des Ausmaßes an Konsonanz von atonalen Melodien mit konsonanten Harmonien in Bedingung 1 ($Mdn = 1.22$) signifikant von atonalen Melodien mit dissonanten Harmonien in Bedingung 2 ($Mdn = .39$), $U = 19.00$, $z = -2.34$, $p = .019$, $r = 0.52$.

Obwohl in dieser Studie die gleichen Stimuli wie in Plantinga und Trehub (2014) verwendet wurden, unterscheidet sich die Bewertung des Ausmaßes an Konsonanz. Dies ist auf die unterschiedlichen Bewertungsmethoden zurückzuführen. In der Studie von Plantinga und Trehub (2014) wurden die Stimuli von Erwachsenen bewertet, während in dieser Studie die Stimuli mit dem R-Paket *incon* (Harrison & Pearce, 2020) ausgewertet wurden. Die Erwachsenen bewerteten tonale Melodien mit konsonanten Harmonien in der auf einer großen Differenz basierenden Bedingung 2 als konsonanter im Vergleich zu der auf geringen Unterschieden basierenden Bedingung 1. Allerdings ist das objektiv gemessene Ausmaß an Konsonanz in beiden Bedingungen identisch. Ansonsten konnte in Übereinstimmung mit der Originalstudie das Fehlen signifikanter Unterschiede zwischen den Stimuli in Bedingung 1 repliziert werden. Die durchgeführte Stimulusanalyse unterstreicht den Grundgedanken der Stimuluskonzeption von Plantinga und Trehub (2014), wonach das Ausmaß der Konsonanz in den Stimuli mit atonalen Melodien von Bedingung 1 (geringe Differenzen) und Bedingung 2 (große Differenzen) signifikant abnahm. Detailliertere Informationen über den Verlauf des Ausmaßes an Konsonanz innerhalb aller Stimuli finden sich in Anhang L (Seite 212). Trotz der geringen Diskrepanz wurden die Stimuli aus der Originalstudie von Plantinga und Trehub (2014) gewählt, da sie sowohl Informationen über die Präferenzentwicklung als auch Vergleichbarkeit mit früheren Studien ermöglichen.

Versuchsaufbau. Der Versuchsaufbau war identisch mit dem der beiden vorangegangenen beiden Experimenten.

Durchführung. Das dritte Experiment wurde wie das zweite Experiment durchgeführt.

4.5.2 Ergebnisse

Die Kalkulation einer a-priori Poweranalyse mit G*Power Version 3.1.9.4 (Faul et al., 2007, 2009) basierte auf einer Studie von Weiss und Kolleg:innen (2020). Die angegebene Effektgröße von Cohen's $d = 2.84$, das Signifikanzkriterium von $\alpha = 0.05$ und eine Power ($1-\beta$) von 0.95 führte zu einem

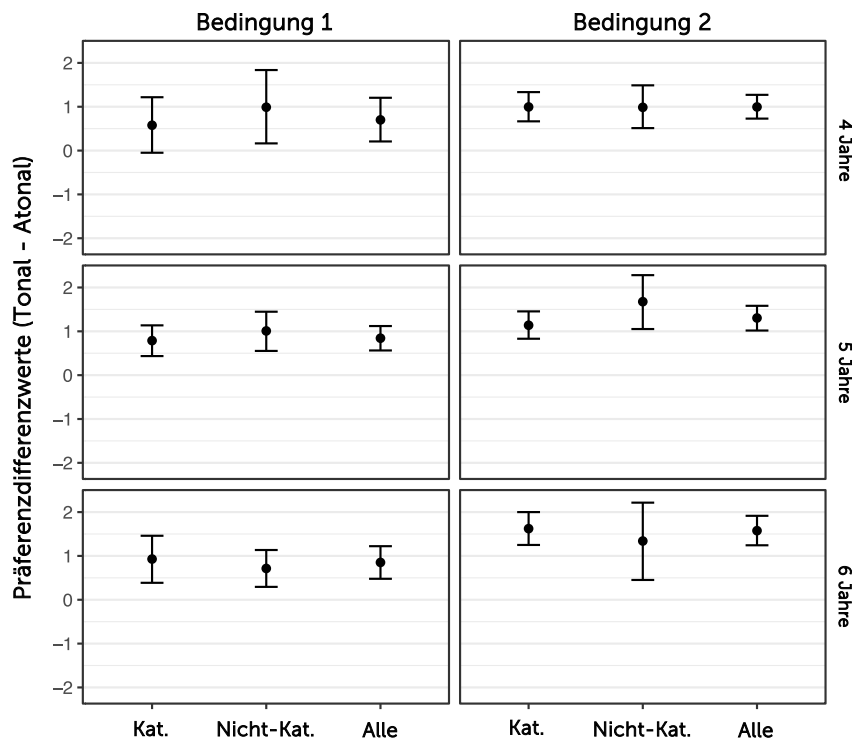
Mindeststichprobenumfang von $N = 5$ Teilnehmenden. Da das dritte Experiment zwei separate Bedingungen enthält und die Teilnehmenden nur einer Bedingung zufällig zugewiesen wurden, verdoppelt sich dies auf insgesamt $N = 10$ Teilnehmende. Daher ist die in Experiment 3 untersuchte Stichprobe von insgesamt $N = 112$ Teilnehmenden mehr als ausreichend, um bestehende Effekte aufzuweisen.

Übergreifende Präferenzanalyse der Gesamtstichprobe. Wie in den vorherigen Experimenten wurden Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests berechnet, um den Entwicklungsverlauf der Präferenz für Konsonanz bei 4- bis 6-jährigen Kindern zu untersuchen, da keine normalverteilten Daten vorlagen. Die Präferenzdifferenzwerte (d.h. Abweichungen zwischen den Bewertungen beider Stimuli) der übergreifenden Analyse sind in der rechten Spalte (Alle) jedes Kastens in Abbildung 24 (Seite 137) dargestellt.

In der auf geringer Differenz basierenden Bedingung 1 präferierten die Teilnehmenden ab dem Alter von 5 Jahren tonalen Melodien mit konsonanten Harmonien gegenüber atonalen Melodien mit konsonanten Harmonien, $z = -1.49$, $p = .009$, $r = 0.60$, 95% KI [-1.99, 0.49]. Dies setzte sich bei 6-jährigen Kindern fort, $z = -2.04$, $p = .041$, $r = 0.46$, 95% KI [-2.50, -0.00]. In der auf großen Differenzen basierenden Bedingung 2, in der sich die Klavierstücke am stärksten unterschieden, präferierten alle Altersgruppen tonale Melodien mit konsonanten Harmonien. Demnach bewerteten 4-jährige Kinder ($z = -1.49$, $p = .005$, $r = 0.71$, 95% KI [-2.00, -0.99]), 5-jährige Kinder ($z = -1.50$, $p = .001$, $r = 0.77$, 95% KI [-2.00, -0.99]) und 6-jährige Kinder ($z = -1.99$, $p = .001$, $r = 0.79$, 95% KI [-2.50, -1.00]) tonale Melodien mit konsonanten Harmonien signifikant höher als atonale Melodien mit dissonanten Harmonien. Insbesondere für die auf großer Differenz basierende Bedingung 2 zeigen die Präferenzdifferenzwerte in Abbildung 24 (Seite 137), dass atonale Melodien mit dissonanten Harmonien mit zunehmendem Alter immer weniger gemocht werden.

Abbildung 24

Präferenzdifferenzwerte und 95% Konfidenzintervall für die Bedingungen 1 und 2



Anmerkung. Präferenzdifferenzwerte (Punkte) der teilnehmenden 4- bis 6-jährige Kinder. Die Aufteilung der Gesamtstichprobe (alle) in Teilnehmende mit Kategorisierungsfähigkeiten (Kat.) und ohne (Nicht-Kat.) verdeutlicht, dass sich die Präferenzen je nach Kategorisierungsfähigkeit unterscheiden. Darüber hinaus variieren (Balken) die Bewertungen der nicht kategorisierenden Teilnehmenden stärker.

Zusammenfassend ist in den Bewertungen ein positiver Trend hin zu tonalen Melodien mit konsonanter Harmonie erkennbar. Im Alter von 4 bis 6 Jahren präferierten die teilnehmenden Kinder tonale Melodien mit konsonanten Harmonien, wenn es große Differenzen zwischen den musikalischen Reizen gab (Bedingung 2). Wenn die musikalischen Reize jedoch ähnlicher waren - wie in der auf geringen Differenzen basierenden Bedingung 1 - wurde Konsonanz erst ab 5 Jahren präferiert.

Entwicklung der Kategorisierungsfähigkeit. In der auf geringen Differenzen basierenden Bedingung 1 traten keine signifikanten Veränderungen zwischen den Altersgruppen auf. Die Kategorisierung veränderte sich weder signifikant zwischen 4- und 6-jährigen Kindern, $\chi^2(1, N = 74) = 0.22$, $p = .641$, noch zwischen 4- und 5-jährigen Kindern, $\chi^2(1, N = 72) = 0.001$, $p = .979$, oder zwischen 5-

und 6-jährigen Kindern, $\chi^2 (1, N = 78) = 0.21, p = .651$. In der auf großen Differenzen basierenden Bedingung 2 zeigte sich jedoch eine Entwicklung. Die Anzahl der korrekten Zuordnungen nahm mit dem Alter zu. Demnach ordneten 6-jährige Kinder signifikant mehr Klavierstücke der richtigen Puppe zu als 4-jährige Kinder, $\chi^2 (1, N = 72) = 6.82, p < .01$. Außerdem gab es einen marginal signifikanten Unterschied zwischen 4- und 5-jährigen Kindern, wobei die 5-jährigen Kinder etwas mehr korrekte Zuordnungen trafen, $\chi^2 (1, N = 74) = 3.82, p = .051$. Die Antworten von 5 und 6 Jahre alten Kindern waren auf einem ähnlichen Niveau (kein signifikanter Unterschied, $\chi^2 (1, N = 78) = 0.54, p = .464$). Insgesamt war die Kategorisierung der Teilnehmenden besser, wenn die Unterschiede zwischen konsonanten und dissonanten Stimuli größer waren. Die Antworthäufigkeiten für beide Bedingungen sind in Tabelle 12 aufgeführt.

Tabelle 12

Antworthäufigkeiten im Zuordnungsparadigma für Bedingung 1 und Bedingung 2

Alter	Bedingung 1 Kleine Differenzen		Bedingung 2 Große Differenzen	
	Korrekte Zuordnungen		Korrekte Zuordnungen	
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
4 Jahre	18	52.94	11	32.35
5 Jahre	20	52.63	22	55.00
6 Jahre	19	47.50	24	63.16

Anmerkung. Die Differenzen in Bedingung 1 und 2 beziehen sich auf das musikalische Stimulusmaterial.

Präferenzanalyse der unterteilten Stichprobe. In der auf leichten Unterschieden basierenden Bedingung 1 bestand bei 5-jährigen Kindern nur eine Präferenz für tonale Melodien mit konsonanten Harmonien, wenn diese erfolgreich kategorisieren konnten. Diese Präferenz konnte jedoch bei 6-jährigen Kindern nicht bestätigt werden, wenn die Stichprobe geteilt wurde, da weder die 6-jährigen Kinder mit Kategorisierung noch die ohne Kategorisierung eine Präferenz zeigten. Tabelle 13 (Seite 139) zeigt die Ergebnisse aller Vergleiche, die für Bedingung 1 und Bedingung 2 für Kinder mit erfolgreicher Kategorisierung durchgeführt wurden. In der auf großen Differenzen basierenden Bedingung 2 konnten die Ergebnisse aus der übergreifenden Analyse wiederum dahingehend erweitert werden, dass nur 4-Jährige, 5-Jährige und 6-Jährige, die die Stimuli kategorisieren konnten, tonale Melodien mit

konsonanten Harmonien präferierten. Die Präferenzdifferenzwerte von kategorisierenden Teilnehmenden (linke Spalte pro Kasten) und nicht kategorisierenden Teilnehmenden (mittlere Spalte pro Kasten) sind in Abbildung 24 (Seite 137) dargestellt.

Tabelle 13

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test der Konsonanzpräferenz in allen Altersgruppen

Stimuli	Alter											
	4 Jahre				5 Jahre				6 Jahre			
	<i>z</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	95% <i>KI</i>	<i>z</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	95% <i>KI</i>	<i>z</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	95% <i>KI</i>
Bedingung 1 TM mit KH gegen AM with KH	-0.50	.410	.24	[-2.50, 1.00]	-1.00	.044	.54	[-2.00, 0.00]	-1.22	.154	.41	[-3.99, 0.49]
Bedingung 2 TM with KH gegen AM with DH	-1.50	.033	.76	[-2.00, -1.00]	-1.00	.004	.82	[-2.00, - 1.00]	-1.50	.002	.79	[-2.50, -1.00]

Anmerkung. TM = Tonale Melodie. AM = Atonal Melodie. KH = Konsonante Harmonie. DH = Dissonante Harmonie. KI = Konfidenzintervall.

Untersuchung der aktiven Hörpräferenz. Abschließend wurde im dritten Experiment die aktive Hörpräferenz von Teilnehmenden näher untersucht, die in den einzelnen Bedingungen erfolgreich kategorisierten. Bemerkenswert ist, dass in Bedingung 1 (geringe Differenzen) die Häufigkeit der Auswahl tonaler Melodien mit konsonanten Harmonien für das erneute Hören von 50 % bei 4-jährigen Kindern auf 79 % bei 5-jährigen Kindern anstieg. Darüber hinaus gab es keine inferenzstatistischen signifikanten Unterschiede in der Hördauer oder der Stimulusauswahl zwischen den Altersgruppen. Für die auf großen Differenzen basierende Bedingung 2 wurde in allen Altersgruppen eine überdurchschnittliche Häufigkeit der Auswahl tonaler Melodien mit konsonanten Harmonien beobachtet. Daher bestanden keine signifikanten Unterschiede in der Auswahl der Stimuli zwischen den Altersgruppen. Teilnehmende im Alter von 4 Jahren wählten in 70 % der Fälle tonale Melodien mit konsonanten Harmonien zum Wiederhören aus. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Hördauer in Bedingung 2 des dritten Experiments.

4.5.3 Diskussion

Präferenz und Wahrnehmung von Konsonanz bzw. Dissonanz wurden in Studien zur Wahrnehmung von Konsonanzpräferenz lange Zeit miteinander vermischt, so dass Einblicke in ihre Entwicklung in der Kindheit selten waren. Um diese Probleme zu überwinden, wurde im ersten Experiment eine kindgerechte Methode zur getrennten Erfassung von Kategorisierung und Präferenz entwickelt. In diesem dritten Experiment wurde die neue Methode angewandt, um die Entwicklung der Konsonanzpräferenz und -wahrnehmung im Alter von 4 bis 6 Jahren zu untersuchen.

Wenn alle Kinder als Gesamtstichprobe analysiert werden, dann ist festzuhalten, dass sich die Kategorisierung zwischen Konsonanz und Dissonanz verbessert, gefolgt von einer sich entwickelnden Konsonanzpräferenz bei 4- bis 6-jährigen Kindern. Bei musikalischen Stimuli mit geringen Differenzen beginnt die Präferenz für tonale Melodien mit konsonanten Harmonien im Alter von 5 Jahren (Bedingung 1). Dies wird durch die Ergebnisse zur aktiven Hörpräferenz unterstützt, wo eine starke Zunahme der Auswahl von tonalen Melodien mit konsonanten Harmonien ab dem Alter von 5 Jahren festgestellt wurde. In der auf großen Differenzen basierenden Bedingung 2 tritt ein früherer Beginn der Präferenz ein (ab 4 Jahren). Die Annahme von Präferenzen für ganze Altersgruppen in diesem jungen Alter ist jedoch irreführend. Entscheidend ist, dass nur die Teilnehmenden, die auch zwischen den Stimuli kategorisieren, eine Präferenz zeigen. Dies deutet darauf hin, dass die Kategorisierung der Präferenz vorausgeht. Die Ergebnisse dieses Experiments sind im Anhang M (Seite 213) grafisch aufgearbeitet und zusammengefasst.

Es wird deutlich, dass die Wahrnehmung in Form der Kategorisierung bei der Präferenzanalyse berücksichtigt werden sollte, um die Präferenz nicht zu überschätzen. Außerdem sollten Präferenz und Wahrnehmung nicht gleichgesetzt werden. Die Kategorisierung ist im Alter von 4 bis 6 Jahren noch in der Entwicklung, wie die frühere und bessere Kategorisierung von stark kontrastierenden konsonanten und dissonanten Reizen gegenüber schwach kontrastierenden zeigt. Wurden die tonalen Melodien mit konsonanten Harmonien und starken Kontrasten zur dissonanten Version dargeboten, so beginnt die Präferenz bereits bei 4-jährigen Kindern. Zusätzliche Unterstützung erhält diese Präferenz durch

Messungen der aktiven Hörpräferenz, da 4- bis 6-jährige Kinder mit erfolgreicher Kategorisierung tonale Melodien mit konsonanten Harmonien beim erneuten Anhören bevorzugen.

4.6 Diskussion der Gesamtstudie

4.6.1 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Das Ziel für Studie 3 war die Entwicklung eines neuen methodischen Ansatzes zur Untersuchung der Präferenz und Wahrnehmung von Tonalität und Konsonanz bei Vorschulkindern. In Experiment 1 wurde dieser methodische Ansatz mit 4- bis 6-jährigen Kindern erprobt. Alle Altersgruppen konnten auf einer 5-stufigen Skala ihre Präferenzen für Lebensmittel und für von Puppen gezeichnete Bilder angeben. Die Auswertung des Kategorisierungsparadigmas zeigte eine mit dem Alter zunehmende Entwicklung der korrekten Zuordnungen. Daher wurden die in Experiment 1 erprobte Methoden in das Experiment 2 und das Experiment 3 implementiert.

In Experiment 2 zeigte sich, dass sich die Kategorisierung als Ausdruck der basalen Wahrnehmungsfähigkeit von tonalen und atonalen Melodien im Alter von 4 bis 6 Jahren entwickelt. Es gab keine signifikanten Veränderungen zwischen den Altersgruppen, aber mehr richtige als falsche Zuordnungen im Alter von 6 Jahren. Das bemerkenswerteste Ergebnis war, dass die Berücksichtigung der Wahrnehmung von Unterschieden zwischen Tonalität und Atonalität (d.h. die Aufteilung der Kinder in Gruppen mit und ohne Kategorisierungsfähigkeit) zu unterschiedlichen Ergebnissen führte. Im Gegensatz zur Präferenzanalyse der Gesamtstichprobe ohne Aufteilung bestand bei 6-jährigen Kindern eine Präferenz für die tonalen Melodien, wenn diese tonale und atonale Melodien als unterschiedlich kategorisierten. Darüber hinaus wurde eine Zunahme der Präferenz für das aktive Hören von tonalen Melodien mit zunehmendem Alter bei Teilnehmenden mit erfolgreicher Kategorisierung beobachtet.

Innerhalb von Experiment 3 wies die Analyse der Kategorisierungsgenauigkeit zwischen Konsonanz und Dissonanz ebenfalls auf Entwicklungstendenzen bei 4- bis 6-jährigen Kindern hin. Diese Veränderungen zwischen den Altersgruppen waren deutlicher bei großen Differenzen zwischen den Stimuli (Bedingung 2): 6-jährige Kinder kategorisierten signifikant besser als 4-jährige Kinder und die

Kategorisierungsgenauigkeit nahm mit dem Alter zu. Bei der weiteren Analyse der Konsonanzpräferenz in der auf geringen Differenzen basierenden Bedingung 1 ergab, dass tonale Melodien mit konsonanten Harmonien ab dem Alter von 5 Jahren präferiert wurden. Die Berücksichtigung der Kategorisierungsfähigkeit zeigte, dass diese Präferenz nur bei Kindern auftrat, die tonale Melodien und atonale Melodien mit konsonanten Harmonien korrekt kategorisierten. Im gleichen Alter nahm die Präferenz für aktives Hören von tonalen Melodien mit konsonanten Harmonien zu. Die Präferenzanalyse für die auf großen Differenzen basierende Bedingung 2 ergab, dass die Präferenz für tonale Melodien mit konsonanten Harmonien sogar noch früher, nämlich im Alter von 4 Jahren, einsetzte und auch bei den 5- und 6-Jährigen anhielt. Darüber hinaus wurde in Bedingung 2 eine aktive Hörpräferenz für tonale Melodien mit konsonanten Harmonien nur bei Kindern mit erfolgreicher Kategorisierung ab dem Alter von 4 Jahren beobachtet. In alle Altersgruppen wurden diese Stimuli am häufigsten zum erneuten Anhören ausgewählt.

Die neu entwickelte Methode, die in Experiment 1 erprobt wurde, bietet einen vielversprechenden Ansatz zur getrennten Messung von Präferenzen und Wahrnehmungen (d.h. Kategorisierungen) bei 4- bis 6-jährigen Kindern. Kinder in allen drei Altersgruppen nutzten die gesamte Skala, um ihre Präferenzen auszudrücken. In zukünftigen Studien sollte jedoch die Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch die Kategorisierungsaufgabe berücksichtigt werden. Es bleibt unklar, ob die Reduzierung des visuellen Inputs während der Aufgabe auf nur eine Puppe zu anderen Ergebnissen führen würde. Es wäre denkbar, dass die Aufforderung an Kinder derselben Altersgruppe, die Leistung zu beurteilen (z.B. Hat die Puppe Fehler gemacht? Hat die Puppe dasselbe Stück gespielt?) dazu führen kann, dass jüngere Kinder bessere Kategorisierungsfähigkeiten zeigen. Darüber hinaus könnte es in zukünftigen Studien interessant sein, nicht nur den Einfluss der bevorzugten Farbe zu untersuchen, wie es in dieser Studie erfolgt ist, sondern auch nach Verbindungen zwischen den Modalitäten zu suchen (d.h. ob eine Tonalität einer bestimmten Farbe entspricht, siehe Spence und Di Stefano (2022)).

Die Ergebnisse des zweiten Experiments stützen die Annahme aus früheren Studien, dass Tonalität eine komplexe musikalische Fähigkeit ist deren Entwicklung im Alter von 6 Jahren noch nicht abgeschlossen ist (Schwarzer et al., 1993). Obwohl bereits in der Beherrschungsphase Tonhöhen

wahrgenommen werden (z.B. Morrongiello et al., 1985; Trehub et al., 1984, 1985, 1990), verweisen die Ergebnisse von Studie 3 im Einklang mit früheren Untersuchungen darauf, dass die Enkulturation in die westliche Tonalität erst in der Imitationsphase stattfindet (Corrigall & Trainor, 2014; Trainor & Hannon, 2013b). Wie in einer Studie von Maier-Karius und Schwarzer (2011) deuten die Ergebnisse von Experiment 2 auf eine Tonalitätspräferenz im Alter von 6 Jahren hin. Darüber hinaus stehen die vorliegenden Ergebnisse zu einer mit dem Alter zunehmenden Kategorisierungsfähigkeit im Einklang mit der Annahme einer wachsenden Differenzierung zwischen Tonalität und Atonalität (z. B. Maier-Karius und Schwarzer (2011)).

Im Rahmen von Experiment 3 wurde weder bei den 4- und 6-jährigen Kindern noch in der Originalstudie (Plantinga & Trehub, 2014) bei 6-monatigen Säuglingen eine Konsonanzpräferenz in der Bedingung 1, die auf geringen Differenzen basiert, gefunden. Wie bereits hervorgehoben ist dies die Bedingung mit der höheren kognitiven Anforderung, welche dadurch schwieriger zu bewältigen ist. Die Kategorisierungsfähigkeit, welche als zugrundeliegender Mechanismus für die Konsonanzpräferenz untersucht wurde, veränderte sich jedoch in Bedingung 1. Genauer betrachtet zeigte sich, dass die Kategorisierung mit zunehmendem Alter präziser wurde. Dies könnte auf die wachsende Erfahrung in der Wahrnehmung von Konsonanz und Dissonanz mit zunehmendem Alter zurückzuführen sein. Daher stehen die Ergebnisse im Einklang mit den Beobachtungen einer fortschreitenden Anpassung der musikalischen Wahrnehmung an die umgebende Musikkultur (Lynch & Eilers, 1992; Trehub et al., 1990). Hierzu findet eine Verschiebung von kulturübergreifenden (universellen) auf kulturspezifische Wahrnehmungsstrategien statt (Trehub et al., 1997), wodurch Konsonanz und Dissonanz als unterschiedliche musikalische Phänomene wahrgenommen werden.

Es ist bemerkenswert, dass die Konsonanzpräferenz bei 4- bis 6-jährigen Kindern von der Unterschiedlichkeit der Stimuli abhängt und dass große Unterschiede zwischen Konsonanz und Dissonanz erforderlich sind. Insgesamt unterstreicht dies, dass die Konsonanzpräferenz in der Kindheit erworben wird, wenn Kinder der westlichen Musikkultur ausgesetzt sind. Dies stimmt mit der Annahme überein, dass die Entwicklung von Wahrnehmungsfähigkeiten und Präferenzen durch kulturelle Erfahrungen geprägt wird (Trehub et al., 2015).

Im Gegensatz zur Originalstudie von Plantinga und Trehub (2014) zeigte sich in der auf großer Differenz basierenden Bedingung 2 eine Präferenz für tonale Melodien mit konsonanten Harmonien in allen Altersgruppen. Dies ist insofern interessant, als eine Präferenz bereits ab dem Alter von 4 Jahren festgestellt wurde und damit deutlich früher ist als in bisherigen Untersuchungen (Valentine, 1962; Weiss et al., 2020). Zukünftige Studien sollten diesen Altersunterschied genauer untersuchen, um zu überprüfen, wie robust diese Präferenz ist und inwieweit das frühere Auftreten auf methodische Unterschiede zwischen den Studien zurückzuführen ist.

Die Ergebnisse des dritten Experiments verdeutlichen die entwicklungsbedingten Veränderungen in der Konsonanzpräferenz und -wahrnehmung bei 4- bis 6-jährigen Kindern. Interessant ist, dass die Präferenz von der Komplexität der musikalischen Stimuli abhing. Bei den auf großen Unterschieden basierenden Stimuli in Bedingung 2 tritt die Konsonanzpräferenz früher auf, was mit der angenommenen kognitiven Beanspruchung übereinstimmt. Eine Interpretation hierfür ist, dass sich Anzeichen für eine bevorzugte Wahrnehmung von Konsonanz im Säuglingsalter während der musikalischen Enkulturation in der Kindheit verändern und sich als Präferenz für Konsonanz bei westlich sozialisierten Erwachsenen manifestieren.

Diese Erklärung wird zum einen durch die Ergebnisse zur Entwicklung der Tonalitätswahrnehmung und -präferenz gestützt, welche einen ähnlichen Entwicklungsverlauf wie die Konsonanzpräferenz und -wahrnehmung aufweisen. In Experiment 2 geben Kinder ab dem Alter von 6 Jahren eine Präferenz für tonale Melodie an, vermutlich als Ergebnis ihrer Exposition mit der westlichen Tonalität. Wie erwartet, nimmt die Vorliebe für Tonalität im Laufe der Kindheit und der musikalischen Enkulturation in diesem Zeitraum zu.

Andererseits wird die Erklärung, dass die Wahrnehmungsfähigkeiten die Grundlage für die Entwicklung von Präferenzen bilden, dadurch gestützt, dass sich die Kategorisierung im Alter von 6 Jahren noch in einer möglicherweise nicht abgeschlossenen Entwicklung befindet. Während sich die Wahrnehmung von konsonanten und dissonanten musikalischen Kategorien bei Kindern entwickelt, lernen sie zunächst, stark kontrastierende Klänge, d.h. sehr konsonante und sehr dissonante Klänge, zuverlässig zu kategorisieren. Mit der Zeit verbessert sich die Fähigkeit auch schwach kontrastierende Klänge

korrekt zu kategorisieren. Hierbei sollte basierend auf den Ergebnissen dieser Studie beachtet werden, dass die Kategorisierung die Entwicklung von Präferenzen beeinflusst. Entscheidend ist, dass nur Kinder, die kategorisierten, eine Präferenz zeigten. Die Kategorisierung scheint der Präferenz für Tonalität und für Konsonanz bei 4- bis 6-jährigen Kindern vorauszugehen.

Insgesamt deuten die Studienergebnisse darauf hin, dass die Tonalitätspräferenz und die Konsonanzpräferenz zwei komplexe musikalische Fähigkeiten sind, die sich während der musikalischen Enkulturation im Alter von 4 bis 6 Jahren verändern. Besonders bemerkenswert ist, dass beide Präferenzen nur bei Kindern mit Kategorisierung auftreten und somit eine gemeinsame basale Wahrnehmungsfähigkeit haben. Soweit hier bekannt ist, ist dies das erste Mal, dass Präferenz und Wahrnehmung bei 4- bis 6-jährigen Kindern getrennt gemessen wurden. Dies ermöglichte die Untersuchung der Beteiligung von basalen musikalischen Fähigkeiten wie der Wahrnehmung von Unterschieden an der Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten wie den Tonalitäts- und Konsonanzpräferenzen. Dennoch sollte von einer Gleichsetzung beider Präferenzen abgesehen werden. Ein Grund dafür ist, dass die Konsonanzpräferenz in dieser Studie stimulusabhängig war und im Alter von 4 Jahren auftrat, als große Unterschiede zwischen Konsonanz und Dissonanz vorhanden waren. Erste Anzeichen für eine Tonalitätspräferenz wurden jedoch erst später im Alter von 6 Jahren festgestellt. Zukünftige Studien sollten die sich entwickelnden Präferenzen für Tonalität und Konsonanz weiter nachverfolgen, um zu untersuchen, ob die Kategorisierungsfähigkeit mit dem Alter ein gemeinsamer Mechanismus bleibt oder inwieweit sich die beiden Präferenzen auseinanderentwickeln.

4.6.2 Limitationen und Ausblick

Die Interpretation der Ergebnisse von Studie 3 werden von einer Reihe methodischer Limitationen eingeschränkt und erfordern weitere Untersuchungen in zukünftige Studien. Die erste betrifft die musikalischen Stimuli, die kategorisch und künstlich waren. Einerseits ist es nicht möglich, Schlussfolgerungen über die Konsonanzpräferenz in realen Musikstücken oder für das graduelle Verständnis von Konsonanz und Dissonanz zu ziehen. Andererseits sind zuerst Replikationen mit vorhandenen

Stimuli wie in dieser Studie notwendig, um mögliche Präferenzen zu identifizieren. Daher wurden in Studie 3 als Vorbereitung für weitere Studien zunächst bestehende Stimuli zur Untersuchung musikalischer Konsonanz von Plantinga und Trehub (2014) gewählt. Die gewählten Stimuli ermöglichten erstmals in Studie 3 bei 4- bis 6-jährigen Kindern mit erfolgreicher Kategorisierung eine Präferenz für musikalische Konsonanz zu messen. Darauf aufbauend könnten weitere Studien die gemessenen Präferenzen noch einen Schritt näher an der realen Hörumgebung messen, indem sie naturalistischere und neuere Stimuli wie reale Musikstücke testen.

Eine zweite mögliche Einschränkung könnte das Kategorisierungsparadigma mit zwei Puppen sein. Das Lösen des Kategorisierungsparadigmas erforderte eine kognitive Repräsentation beider Puppen und ihrer Darbietungen. In Studie 3 konnte gezeigt werden, dass jüngere Kinder das Kategorisierungsparadigma mit zwei Puppen weniger häufig korrekt lösen als ältere Kinder. Daher könnte die kognitive Beanspruchung für das Arbeitsgedächtnis in zukünftigen Studien untersucht werden, um mehr über die mögliche Unterschätzung der tatsächlichen Kategorisierungsfähigkeit zu erfahren.

Die dritte methodische Einschränkung bezieht sich auf die Online-Datenerhebung. Da die häusliche Umgebung weniger kontrollierbar und natürlicher war als die Laborumgebung in früheren Studien, mussten mehr Daten ausgeschlossen werden. Auf diese Weise war es in Studie 3 jedoch möglich, die Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz in der vertrauten häuslichen Umgebung der Kinder zu messen. In ihrer vertrauten Umgebung fühlen sich die Kinder möglicherweise wohler und zeigen eine Präferenz früher als in der Laborumgebung. Um herauszufinden, ob das häusliche Umfeld einen früheren Präferenzbeginn begünstigt, sollten weitere Studien beide Settings systematisch miteinander vergleichen.

Die vierte Limitation besteht darin, dass der Fokus von Studie 3 auf westlich sozialisierte 4- bis 6-jährige Kinder liegt. Daher können die Ergebnisse nicht für andere Musikkulturen generalisiert werden. Für die westliche Musikkultur konnte gezeigt werden, dass Kinder ab dem Alter von 6 Jahren Tonalität und ab dem Alter von 4 Jahren Konsonanz präferieren. Aufbauend auf diesen Ergebnissen könnten zukünftige interkulturelle Vergleiche mögliche Unterschiede in den Entwicklungsverläufen zwischen Musikkulturen untersuchen. Darüber hinaus wären Vergleiche mit älteren

Altersgruppen hilfreich, um zu analysieren, ob sich die in Studie 3 bestehenden Tonalitäts- und Konsonanzpräferenzen weiter stabilisieren und inwieweit sie mit denen westlicher Erwachsener vergleichbar sind.

4.6.3 Schlussfolgerungen

Trotz dieser Einschränkungen deuten die Ergebnisse der Studie darauf hin, dass es entwicklungsbedingte Veränderungen in den Präferenzen und der Wahrnehmung sowohl für Tonalität als auch für Konsonanz zwischen dem Alter von 4 bis 6 Jahren gibt. Die Gesamtstudienresultate verstärken die Annahme, dass die Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz bei Kindern, die in der westlichen Musikultur aufwachsen, durch Enkulturation erworben werden. Darüber hinaus zeigt die Studie, dass die basale Fähigkeit zur Wahrnehmung von Unterschieden (zwischen Tonalität und Atonalität oder Konsonanz und Dissonanz) ein entscheidender Faktor für die spätere Entwicklung von Tonalitäts- und Konsonanzpräferenzen als komplexe Fähigkeiten ist.

Zusammenfassend hat die dritte Studie das Wissen über die Entwicklung der Präferenz für und der Wahrnehmung von Tonalität und Konsonanz vertieft. Insbesondere wird deutlich, warum eine Vermischung von Präferenz und Wahrnehmung vermieden werden sollte. Die fehlende Berücksichtigung der Wahrnehmung führte in der übergreifenden Analyse der Gesamtstichprobe zu einer Überschätzung der Präferenz. Nur Kinder, die Tonalität und Atonalität beziehungsweise Konsonanz und Dissonanz als unterschiedlich kategorisierten, zeigten eine Präferenz. Diese Studie bietet eine Grundlage für die weitere Untersuchung von Faktoren, die der Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz zugrunde liegen, sowie deren Entwicklung während der Imitationsphase.

5 Gesamtdiskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten zu untersuchen. Zur Annäherung an dieses Ziel wurde sowohl die späte Entwicklung komplexer zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten (Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeit) als auch komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten (Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz) anhand von drei Studien analysiert. Um die späte Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten genauer zu verstehen, wurden Verbesserungen basaler musikalischer Wahrnehmungsfähigkeiten während des späten Erwerbs komplexer Fähigkeiten und deren Beziehung zueinander analysiert. Innerhalb dieser Analyse stand im Fokus inwiefern basale musikalische Wahrnehmungsfähigkeiten die Grundlage für die Entwicklung komplexer Fähigkeiten bilden. Dies soll neben einem detaillierten theoretischen Verständnis der musikalischen Entwicklung auch die Grundlage für gezieltere Fördermöglichkeiten der musikalischen Entwicklung schaffen.

5.1 Zusammenfassung der Studienergebnisse

Wie im Spiralmodell von Swanwick und Tillmann (1986) postuliert, zeigen die drei durchgeführten Studien, dass sich die untersuchten komplexen Fähigkeiten während der Imitationsphase (4 bis 9 Jahre) entwickeln und verbessern. Das erste Ziel der vorliegenden Arbeit war es hierzu die Entwicklung der Reproduktions- und der Synchronisationsfähigkeit zu untersuchen, welche zu den komplexen zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten gehören. Die Untersuchung der Reproduktionsfähigkeit verweist in Studie 1 darauf, dass sich diese zwischen 5- bis 8-jährigen Kindern und Erwachsenen unterscheidet. Daher kann angenommen werden, dass die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit im Alter von 8 Jahren noch nicht abgeschlossen ist. Dabei ist die Reproduktionsfähigkeit bei Erwachsenen signifikant genauer als bei Kindern im Alter von 5 bis 8 Jahren. Zwischen den untersuchten Kindern zeigt sich eine stufenartige Verbesserung der Reproduktionsfähigkeit zwischen dem Alter von 6 bis 7 Jahren.

Für die Verbesserung der Reproduktionsfähigkeit mit zunehmendem Alter zeigen die Ergebnisse, dass die gewählte Antwortform (Trommeln-Sozial, Trommeln-Akustisch, Klatschen, Tippen und Sprechen) relevant ist. Zwischen den untersuchten Antwortformen bestehen systematische

Unterschiede. Innerhalb dieser Unterschiede stabilisiert sich die Reihenfolge der untersuchten Antwortformen mit zunehmendem Alter und unterscheidet sich nicht mehr zwischen den 8-jährigen Kindern und Erwachsenen. Innerhalb dieser stabilisierten Reihenfolge gelingt den Teilnehmenden ab 8 Jahren die genaueste Reproduktion in Trommeln-Sozial, und absteigender Reihenfolge eine weniger genaue Reproduktion in Klatschen, Tippen und Trommeln-Akustisch. In allen untersuchten Altersgruppen sind die Abweichungen zwischen der Reproduktion und der Vorgabe am größten, wenn die Rhythmen nachgesprochen werden.

Eine eingehendere Betrachtung der unterschiedlichen Reproduktionsgenauigkeiten pro Antwortform zeigt, dass sowohl die 5- bis 8-jährigen als auch die erwachsenen Teilnehmenden der Studie 1 die Rhythmen am genauesten in der Antwortform Trommeln-Sozial reproduzieren. In der Antwortform Trommeln-Sozial werden die Rhythmen zuvor von der Versuchsleitung präsentiert. Es scheint als ermögliche den Teilnehmenden die multisensorische Darbietung (auditiv und visuell) durch die Versuchsleitung eine genauere Reproduktion. Dies deutet darauf erstmals darauf hin, dass bei der Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit eine intersensorische Erleichterung stattfindet. Somit erleichtert die intersensorische Redundanz aus visueller und auditiver Darbietung nicht nur wie bislang angenommen die Informationsverarbeitung in Wahrnehmungsprozessen bei Säuglingen (Bahrick & Lickliter, 2000, 2002, 2014). Die vorliegende Arbeit spricht für die Erweiterung der Hypothese der intersensorischen Redundanz auf die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit.

Aber nicht nur die Ergebnisse zur Reproduktionsfähigkeit, sondern auch die Ergebnisse zur Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit (Studie 2) darauf hin, dass Kinder im Alter von 5 bis 8 Jahren ihre Trommelbewegungen präziser mit einer multisensorischen Darbietung synchronisieren. Für Erwachsene zeigen die Ergebnisse einen gegenteiligen Kontexteffekt und höhere Präzision in der Metronom-Bedingung (nur auditive Darbietung). Eine Erklärung für diesen gegenteiligen Effekt zwischen Kindern und Erwachsenen könnte sein, dass das gemeinsame Trommeln mit der Versuchsleitung Kindern zu höheren Synchronisationsfähigkeiten (d.h. konsistenterer Bewegungsausführung) verhilft. Da die untersuchten Erwachsenen insgesamt präzisere Synchronisation zeigen, könnte dies eine Erklärung dafür sein, warum sich der Kontexteffekt umkehrt. Erwachsene scheinen nicht mehr auf die zusätzliche

visuelle Präsentation durch die Versuchsleitung angewiesen zu sein und lassen sich in ihrer Bewegungsausführung durch die Versuchsleitung eher irritieren.

Neben den beschriebenen Kontexteffekten bestehen in der Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit auch Alterseffekte. Diese Altersunterschiede wurden in Studie 2 anhand von kurzen isochronen Sequenzen überprüft, zu denen die Teilnehmenden ihre Trommelbewegungen synchronisieren sollten. Die Synchronisationsfähigkeit verändert sich mit zunehmendem Alter dahingehend, dass sich die Synchronisationsgenauigkeit bis zum Alter von 7 Jahren verbessert. Ab dem Alter von 8 Jahren besehen keine Unterschiede mehr zu Erwachsenen. Darüber hinaus synchronisieren die Kinder in Studie 2 ihre Trommelbewegungen mit zunehmendem Alter mit weniger Phasenabweichungen, wobei sowohl bei den 5- bis 8-Jährigen als auch bei den Erwachsenen eine negative Asynchronität vorliegt. Eine Erklärung für die negative Asynchronität ist, dass Kinder ab dem Alter von 5 Jahren den nächsten Beat antizipieren. Durch diese Antizipation gelingt es ihnen kurz vor dem nächsten Beat zu trommeln. Die Antizipation ist eine wichtige Voraussetzung für Entrainment, wofür in Studie 2 erstmals Hinweise ab dem Alter von 5 Jahren liefert. Während des Entrainmentprozesses scheinen Kinder ab 5 Jahren ihre Aufmerksamkeit mit regelmäßigen Informationsmustern – in der vorliegenden Arbeit isochrone Sequenzen – in ihrer Umwelt zu synchronisieren.

Neben dem ersten Ziel die Entwicklung zeitlich-rhythmische Fähigkeiten zu untersuchen, war das zweite Ziel der vorliegenden Arbeit, entwicklungsbedingte Veränderungen in Tonvorstellungsfähigkeiten zu analysieren. Hierzu weist die vorliegende Arbeit für komplexe Tonvorstellungsfähigkeiten auf signifikante Veränderungen während der Imitationsphase hin. Die Ergebnisse von Studie 3 zeigen, dass die Tonalitätspräferenz erst ab 6 Jahren auftritt. Mithilfe einer neu erprobten Messmethode bewerten Kinder ab dem Alter von 6 Jahren den Vortrag tonaler Melodien von Puppen am Klavier mit signifikant mehr Eiskugeln als den Vortrag atonaler Melodien. Für die Entwicklung der Konsonanzpräferenz wird aus Studie 3 deutlich, dass die Präferenz von der Stärke des Kontrastes zwischen den konsonanten und dissonanten Stimuli abhängt. Sind die Kontraste zwischen konsonanten und dissonanten Stimuli gering, dann tritt die Konsonanzpräferenz ab 5 Jahren auf. Bei starken Kontrasten ist die Konsonanzpräferenz bereits bei 4-jährigen Kindern messbar. Somit scheint die Konsonanzpräferenz der

Tonalitätspräferenz zeitlich voranzugehen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Konsonanzpräferenz über Stimuli mit musikalischer Konsonanz untersucht wurde. Stimuli mit musikalischer Konsonanz bieten einen musikalischen Kontext, der während der Darbietung simultan erklingt. Der musikalische Kontext in tonalen und atonalen Melodien erklingt hingegen sequentiell. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liefern somit Hinweise darauf, dass der simultan dargebotene musikalische Kontext für Kinder früher zugänglich ist was sich wiederum in einer früheren Konsonanzpräferenz zeigt.

5.2 Beziehung basaler und komplexer Fähigkeiten

Aus der Zusammenfassung der Studienergebnissen geht hervor, dass sich die komplexen zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten (Reproduktion und Synchronisation) und die komplexen Tonvorstellungsfähigkeiten (Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz) verbessern. Dies steht im Einklang mit dem angenommenen Zeitfenster der Imitationsphase (4 bis 9 Jahre) aus dem Spiralmodell von Swanwick und Tillmann (1986). Die Imitationsphase ist die zweite Phase des Modells, die auf den in der Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) erworbenen musikalischen Fähigkeiten aufbaut. In der Beherrschungsphase entwickeln Säuglinge und Kleinkinder zunächst basale Wahrnehmungsfähigkeiten und im weiteren Verlauf eine zunehmende Kontrolle über die Produktion von musikalischen Klängen als musikalisches Material (Hargreaves & Lamont, 2017). Basierend auf dem Spiralmodell wurde in der vorliegenden Arbeit die Beziehung zwischen basalen musikalischen Fähigkeiten aus der Beherrschungsphase und komplexen musikalischen Fähigkeiten aus der Imitationsphase untersucht.

Allen drei Studien der vorliegenden Arbeit ist gemeinsam, dass sich basale musikalische Wahrnehmungsfähigkeiten als Grundlage für die beobachtete Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten herausstellen. Für die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit ist dies die Rhythmuswahrnehmung (Studie 1), in Studie 2 die Tempowahrnehmung für die Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit und in Studie 3 die Wahrnehmung kategorialer Unterschiede für die Entwicklung der Tonalitäts- bzw. der Konsonanzpräferenz. Dies bedeutet, dass die Wahrnehmung rhythmischer Unterschiede in

allen untersuchten Altersgruppen eine genauere Reproduktion vorhersagt. Die gleiche Beziehung besteht in der vorliegenden Arbeit zwischen der Wahrnehmung von tempobasierten Unterschieden und der Synchronisationsfähigkeit. Allerdings scheint diese Beziehung nicht nur bei zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten zu bestehen, sondern auch bei Tonvorstellungsfähigkeiten. Sowohl die Tonalitäts- als auch für die Konsonanzpräferenzen treten nur auf, wenn die teilnehmenden Kinder Unterschieden wahrnehmen.

Die vorliegende Arbeit unterstreicht damit die zentrale Beziehung zwischen basalen musikalischen Wahrnehmungsfähigkeiten und den komplexen musikalischen Fähigkeiten in der Imitationsphase (4 bis 9 Jahre). Für zeitlich-rhythmische Fähigkeiten erweitert dies die Annahme von Synder und Koleg:innen (2024), dass sich zunächst unreif wirkenden Produktionsfähigkeiten während der Imitationsphase verbessern und währenddessen von basalen Wahrnehmungsfähigkeiten profitieren. Somit passen die Studienergebnisse auch dazu, dass die weit entwickelte basale Rhythmuswahrnehmung eine Vorläuferfähigkeit und gleichzeitig die Grundlage für die Entwicklung der komplexen Reproduktionsfähigkeit darstellt (Frischen et al., 2022). Diese Annahme kann, gestützt durch die Ergebnisse zur basalen Tempowahrnehmung und zur komplexen Synchronisationsfähigkeit, auch auf deren Beziehung übertragen werden. Dies ergänzt die bisherige Annahme von Frischen und Kolleg:innen (2022). Darüber hinaus die vorliegenden Ergebnisse einen bisher für das Alter von 3 bis 5 Jahren angenommenen positiven Zusammenhang zwischen der basalen Tempowahrnehmung und der Entwicklung der komplexen Synchronisationsfähigkeit auf das Alter von 5 bis 8 Jahren (Bonacina et al., 2021).

Für Tonvorstellungsfähigkeiten weichen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit dahingehend von bestehenden Befunden (z.B. Weiss et al., 2020) ab, dass nicht die musikalische Erfahrung anhand von musikalischem Training, sondern basale Wahrnehmungsfähigkeiten die Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz unterstützen. In der vorliegenden Arbeit konnte die aus früheren Studien (Valentine, 1962; Weiss et al., 2020) angenommene Beziehungen zwischen höherer musikalischer Erfahrung durch musikalisches Training und einem früheren Präferenzbeginn nicht unterstützt werden. Inwiefern dies auch der grundlegenden Annahme des Spiralmodells (Swanwick & Tillman, 1986) widerspricht, kann durch die vorliegende Arbeit nicht abschließend geklärt werden. Swanwick und Tillmann (1986) gingen

bei der Konstruktion des Modells davon aus, dass kontinuierliches musikalisches Training eine Voraussetzung zur Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten und für das Eintreten in die Metakognitionsphase (ab 15 Jahren) ist. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit weisen eher darauf hin, dass für die Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten die basalen Wahrnehmungsfähigkeiten entscheidender sind. Allerdings bedarf es weiterer Untersuchungen, um die Rolle des musikalischen Trainings für die Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten zu erörtern. Durch die Corona-Pandemie könnte der gewonnene Eindruck aus der vorliegenden Arbeit verzerrt sein, da die regulären musikalischen Angebote ausgesetzt waren.

Dennoch zeigt die Beziehung zwischen basalen und komplexen musikalischen Fähigkeiten während der Imitationsphase, dass früher erworbene musikalische Wahrnehmungsfähigkeiten die späte Entwicklung komplexer zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten und komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten unterstützen. Dies steht wiederum im Einklang der Annahme aus dem Spiralmodell (Swanwick & Tillman, 1986), dass die Imitationsphase auf der Beherrschungsphase aufbaut. Weiter ausgeführt bedeutet dies, dass die in der Beherrschungsphase entwickelten Wahrnehmungsfähigkeiten die Grundlage für die Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten bildet. Die vorliegende Arbeit weist jedoch nicht nur darauf hin, dass sich die komplexen musikalischen Fähigkeiten in der Imitationsphase entwickeln. Diese Arbeit zeigt auch, dass sich basale Wahrnehmungsfähigkeiten während der Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten verbessern.

Die basalen Fähigkeiten zur Rhythmuswahrnehmung (Studie 1) und zur Tempowahrnehmung (Studie 2) werden mit zunehmendem Alter genauer. Beide Wahrnehmungsfähigkeiten erreichen trotz der beobachtbaren Verbesserung auch im Alter von 8 Jahren nicht das Niveau von Erwachsenen. Die anhaltende Spezialisierung der Rhythmuswahrnehmung ist konsistent mit früheren Studien (Davidson & Colley, 1987; Hannon et al., 2018). Darüber hinaus unterstützen diese Ergebnisse auch die Annahme von Snyder und Kolleg:innen (2024), dass sich die in der Beherrschungsphase erworbene Fähigkeit zur Rhythmuswahrnehmung in der Imitationsphase noch grundlegend in der Imitationsphase verbessert. Ältere Kinder nehmen in der vorliegenden Arbeit feinere tempobasierte Unterschiede wahr und treffen dadurch häufiger korrekte Kategorisierungen zwischen gleichen und unterschiedlichen

rhythmischen Sequenzen. Dies bekräftigt eine sich weiter verbessernde Wahrnehmung von Tempoveränderungen mit zunehmendem Alter (Ellis, 1992).

Insgesamt betrachten ermöglichen die Ergebnisse der Untersuchung der basalen Wahrnehmungsfähigkeiten ein tieferes Verständnis der entwicklungsbedingten Veränderungen in zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten als die Ergebnisse zu den nicht-musikalisch motorischen oder musikalisch-produktiven Fähigkeiten. Die Ergebnisse aus Studie 1 weisen darauf hin, dass die nicht-musikalisch untersuchten motorischen Fähigkeiten (Handgeschicklichkeit, Ballfertigkeiten und Gleichgewichtsfähigkeiten) in der gemessenen Form weder in einem systematischen Zusammenhang mit der Reproduktionsfähigkeit stehen noch diese vorhersagen. Daher kann eine ungenaue Reproduktion ohne zukünftige Untersuchungen nicht auf eingeschränkte motorische Fähigkeiten zurückgeführt werden. Die Ergebnisse aus Studie 1 können daher weder unterstützen noch entkräften, dass Kinder mit höheren motorischen Fähigkeiten ihre eigenen Bewegungen zur Reproduktion von Rhythmen genauer abstimmen können (Miyamoto, 2007).

Anders fallen die Ergebnisse für die musikalisch-produktive Fähigkeit zur Beat-Produktion aus, die bei der Untersuchung der Synchronisationsfähigkeit als Kontrollvariable erhoben wurde. Die Fähigkeit zur Beat-Produktion hat bei 5- und 6-jährigen Kindern einen positiven Effekt auf die Synchronisationsgenauigkeit. Dies bedeutet, dass 5- und 6-jährige Kinder ihre Trommelbewegungen genauer synchronisieren, wenn sie bei der Aufgabe zur Beat-Produktion besser im Takt der Musik klatschen und im Raum umherlaufen. Allerdings bestand dieser Effekt bei älteren Teilnehmenden nicht mehr. Dies könnte im Einklang mit früheren Studien darauf zurückzuführen sein, dass die Genauigkeit mit dem Alter zunimmt und die absoluten Tempoabweichungen geringer werden (Wolff & Hurwitz, 1976). Daher unterstützen die Ergebnisse frühere Untersuchungen dahingehend, dass die Beat-Produktion nur bei jüngeren Kindern von Relevanz ist, deren Genauigkeit stärker schwankt (Reifinger, 2006). Die basale Tempowahrnehmung sagt hingegen für die gesamte untersuchte Altersspanne eine genauere Synchronisationsfähigkeit vorher.

Ein vertieftes Verständnis der Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten durch die Untersuchung basaler Wahrnehmungsfähigkeiten verbindet jedoch nicht nur die Reproduktions- und

Synchronisationsfähigkeit, sondern stellt auch eine Gemeinsamkeit mit der Entwicklung von Tonvorstellungsfähigkeiten dar. Die basale Fähigkeit zur Wahrnehmung von Unterschieden zwischen Tonalität und Atonalität sowie zwischen Konsonanz und Dissonanz verbessert sich mit zunehmendem Alter. In Studie 3 bestehen erste Hinweise auf eine Weiterentwicklung seit der Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) hinsichtlich der Wahrnehmung und der damit verbundenen Kategorisierung von Tonalität und Atonalität. Denn 6-jährige Kinder nehmen häufiger korrekte Kategorisierungen vor als jüngere Kinder. Die Ergebnisse stehen somit im Einklang mit der Erkenntnis, dass Kinder gegen Mitte der Imitationsphase melodische Veränderungen zunehmend differenzierter wahrnehmen (Miyamoto, 2007). Da in der vorliegenden Arbeit die Wahrnehmung von Unterschieden zwischen tonalen und atonalen Melodien untersucht wurde, lassen sich keine klaren Rückschlüsse zur Wahrnehmung von Unterschieden innerhalb der Melodien ziehen. Ein von Trehub und Kolleg:innen (1986) angenommener Verarbeitungsvorteil (besseres Erkennen von Veränderungen innerhalb von Melodien) für tonale Melodien bedarf daher weiterer Untersuchungen.

Stärker als die Tonalitätswahrnehmung scheint sich in der vorliegenden Arbeit die Konsonanzwahrnehmung zwischen 6-jährigen und jüngeren Kindern dahingehend zu verbessern, dass ältere Kinder Konsonanz und Dissonanz häufiger korrekt als unterschiedlich kategorisieren. Dies unterstützt die Annahme, dass basale Fähigkeit, Konsonanz und Dissonanz als unterschiedliche Kategorien wahrzunehmen, in der Imitationsphase zunimmt (Mendoza & Fausey, 2021). Die Ergebnisse deuten jedoch nicht erst ab dem Alter von 9 Jahren (Valentine, 1962) auf eine Verbesserung der basalen Fähigkeit zur Wahrnehmung von Unterschieden zwischen Konsonanz und Dissonanz hin, sondern bereits deutlich früher zwischen 4 und 6 Jahren. Hervorzuheben ist, dass in Studie 3 die Wahrnehmung von Unterschieden besser ist, wenn die Kontraste zwischen konsonanten und dissonanten Stimuli größer sind. Dies stellt eine Gemeinsamkeit mit der Entwicklung der Konsonanzpräferenz dar. Denn sowohl die Wahrnehmung von Unterschieden wird durch große Kontraste begünstigt als auch das frühere Eintreten der Präferenz.

Kurz zusammengefasst kann anhand der vorliegenden Arbeit das theoretische Wissen zur musikalischen Entwicklung dahingehend vertieft werden, dass in der Imitationsphase eine Beziehung

zwischen basalen Wahrnehmungsfähigkeiten und komplexen musikalischer Fähigkeiten besteht. In dieser Beziehung verbessern sich sowohl basale Wahrnehmungsfähigkeiten als auch komplexe musikalische Fähigkeiten während der Imitationsphase. Dies stellt eine Gemeinsamkeit zwischen der Entwicklung komplexer zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten und der Entwicklung komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten dar. Ein differenzierteres Bild zeigen die als Kontrollvariablen untersuchten produktiven musikalischen und nichtmusikalisch untersuchten motorischen Fähigkeiten. Während die Beat-Produktion als produktive musikalische Fähigkeit auf eine genauere Synchronisation bei jüngeren Kindern hinweist, wurden keine systematischen Zusammenhänge zwischen motorischen Fähigkeiten und der Reproduktion gefunden.

5.3 Intersensorische Erleichterung in der Entwicklung komplexer Fähigkeiten

Wie in der Einleitung beschrieben, stellten Bahrick und Lickliter (2000, 2002, 2014) die Hypothese auf, dass die multisensorische (auditive und visuelle) Darbietung von amodalen Eigenschaften wie Tempo und Rhythmen die selektive Aufmerksamkeit und den Informationsgewinn steigert. Bislang wurde davon ausgegangen, dass Säuglinge während der Beherrschungsphase durch die multisensorische Darbietung eine intersensorische Erleichterung erfahren (Bahrick & Lickliter, 2000, 2002, 2014). Nach Bahrick und Kolleg:innen (2002) führt diese intersensorische Erleichterung wiederum zu einem effektiveren wahrnehmungsgesteuerten Lernen. Für ältere Kinder und Erwachsene wurde bisher davon ausgegangen, dass die intersensorische Erleichterung nur bei Aufgaben mit hoher Schwierigkeit oder bei der Exposition mit neuen Reizen auftritt (Bahrick et al., 2011).

Inwiefern eine intersensorische Erleichterung zu einer genaueren Reproduktion und Synchronisation führt, wurde in der vorliegenden Arbeit untersucht. Hierzu wurden Unterschiede zwischen monosensorischer (auditiver) und multisensorischer (auditiver und visueller) Darbietung für beide komplexen zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten analysiert. Sowohl in Studie 1 zur Reproduktion als auch in Studie 2 zur Synchronisation ist die rhythmische Produktion der untersuchten 5- bis 8-jährigen Kinder genauer, wenn die Darbietung multisensorisch erfolgt. Für die Reproduktionsfähigkeit lässt sich

dieser Befund auch auf Erwachsene in der Metakognitionsphase erweitern, woraus sich mehrere Erkenntnisse ableiten lassen: Erstens zeigt sich die intersensorische Erleichterung nicht nur, wie bisher angenommen, auf der Wahrnehmungsebene nach vorheriger Exposition (Bahrick & Lickliter, 2000, 2002, 2014), sondern auch in der rhythmischen Produktion.

Zweitens führt die multisensorische Darbietung sowohl in der Reproduktion als auch in der Synchronisation zu genauerer rhythmischer Produktion. Während der multisensorischen Darbietung werden der Klang (auditiv) und die zur Erzeugung der Zielsequenz nötigen Bewegungen (visuell) durch die Versuchsleitung präsentiert. Ergänzend zeigt Studie 2 zur Entwicklung der Synchronisation, dass die intersensorische Erleichterung durch multisensorische Darbietung auch bei simultaner Darbietung und Bewegungsausführung auftritt. In bisherigen Studien wurde zuvor angenommen, dass der intersensorischen Erleichterung eine Exposition als multisensorische Darbietung vorausgeht (Bahrick & Lickliter, 2000, 2002, 2014).

Da die Teilnehmenden sowohl in der Reproduktion als auch in der Synchronisation eine genauere rhythmische Produktion zeigen, kann vor dem Hintergrund der Hypothese der intersensorischen Redundanz (Bahrick & Lickliter, 2000, 2002, 2014) davon ausgegangen werden, dass es sich um Aufgaben mit hoher Schwierigkeit handelt. Dies stellt die dritte Erkenntnis der vorliegenden Arbeit dar und legt die Vermutung nahe, dass die Teilnehmenden durch die multisensorische Darbietung effektiver Informationen sowohl über die verschiedenen Rhythmen als auch über die isochrone Zielsequenzen wahrnehmen können. Dieser effektivere Informationsgewinn scheint sich sowohl zeitversetzt positiv auf die Reproduktionsgenauigkeit als auch simultan auf die Synchronisationsgenauigkeit auszuwirken. Da diese positiven Effekte auch in der Imitationsphase und für die Reproduktion sogar noch bei den untersuchten Erwachsenen auftreten, kann davon ausgegangen werden, dass die multisensorische Darbietung einen wirkungsvollen Mechanismus für die Entwicklung komplexer zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten darstellt.

Es bleibt jedoch die Frage, wie genau diese intersensorische Erleichterung zustande kommt. Sowohl bei der Reproduktions- als auch bei der Synchronisationsaufgabe ist die intersensorische Erleichterung durch die Kombination zweier Aspekte geprägt, deren Einfluss in weiteren Studien noch

genauer untersucht werden sollte. Die Antwortform Trommeln-Sozial (Reproduktion) und die Personen-Bedingung (Synchronisation) sind die einzigen, bei denen die rhythmischen Zielsequenzen multisensorisch dargeboten wurden. Ein Ansatzpunkt für weitere Studien wäre daher, die restlichen Bedingungen nicht nur auditiv, sondern ergänzend auch visuell darzustellen. Es sollte darauf geachtet werden, dass die visuellen Informationen so realistisch wie möglich hinzugefügt werden, um den Unterschied zu den beiden Ausgangsbedingungen so gering wie möglich zu halten. Eine Möglichkeit zur Hinzunahme visueller Informationen wäre, dass die Versuchsleitung auch in den anderen Bedingungen die erforderlichen Bewegungen präsentiert.

Neben der Ergänzung visueller Informationen sollte in weiteren Studien auch untersucht werden, inwiefern die physische Anwesenheit der Versuchsleitung für die intersensorische Erleichterung verantwortlich ist. In der vorliegenden Arbeit findet nur in der Antwortform Trommeln-Sozial (Reproduktion) und in der Personen-Bedingung (Synchronisation) ein Austausch zur rhythmischen Produktion mit der Versuchsleitung statt. Um die Relevanz der physischen Anwesenheit der Versuchsleitung für die multisensorische Erleichterung zu untersuchen, könnten weitere Studien Videoaufnahmen der Versuchsleitung einsetzen und diese gegen die bestehenden Antwortformen testen.

Weniger stark im Fokus der vorliegenden Arbeit stand die intersensorische Erleichterung für die Entwicklung komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten. Bei der Entwicklung der Tonalitätspräferenz scheint die eingeschränkte multisensorische Darbietung in der vorliegenden Arbeit keinen Unterschied zur monosensorischen (auditiven) Darbietung in früheren Studien hervorzurufen. Sowohl in Studien mit auditiver Darbietung (Maier-Karius & Schwarzer, 2011) als auch in der vorliegenden Studie 3 zeigte sich eine Tonalitätspräferenz erst im Alter von 6 Jahren. Dennoch könnte sowohl für die Entwicklung der Tonalitätspräferenz als auch für die Entwicklung der Konsonanzpräferenz die weitere Untersuchung der multisensorischen Darbietung ein tieferes Verständnis ihrer Entwicklung ermöglichen.

Aus den Ergebnissen zur Konsonanzpräferenz ergeben sich Hinweise darauf, dass eine Konsonanzpräferenz bei multisensorischer Darbietung bereits im Alter von 4 Jahren auftritt und somit in der vorliegenden Arbeit früher als bei monosensorischer auditiver Darbietung in bisherigen Studien (Valentine, 1962; Weiss et al., 2020). Sowohl in der Aufgabe zur Präferenzmessung als auch in der

Messung der Wahrnehmung von Unterschieden zwischen Konsonanz und Dissonanz wurden den Teilnehmenden auditiv die Musikstücke und visuell dazu die Puppen am Klavier präsentiert. Allerdings sind dadurch streng genommen nicht die von Bahrick und Lickliter (2000, 2002, 2014) aufgestellten Kriterien zur multisensorischen Darbietung erfüllt, da sich die Puppen während der Darbietung nicht bewegten. Somit fehlt die visuelle Information zur Klangerzeugung durch die Bewegungen der Puppen am Klavier, obwohl die Puppen zeitlich synchron zur Klangerzeugung auf der Bühne erscheinen und danach wieder verschwinden. Daher werden weitere Studien benötigt, um die intersensorische Erleichterung für die Entwicklung von komplexen Tonvorstellungsfähigkeiten zu untersuchen. Eine Möglichkeit wäre hierzu auf die Puppen zu verzichten und Menschen die Klavierstücke vorspielen zu lassen. Dies würde die Vergleichbarkeit zur Entwicklung der Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeit zu erhöhen.

Einerseits könnte dies Bedenken hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Reaktionen oder Argumentationen von Kindern in Bezug auf Puppen und reale Personen entgegenwirken (Packer & Moreno-Dulcey, 2022). Andererseits scheinen Kinder jedoch bei Aufgaben mit Puppen und echten Personen im Wesentlichen die gleiche Leistung zu erbringen, wie eine Metaanalyse zeigt (Yu & Wellmann, 2022). Die Verwendung von Puppen bietet möglicherweise eine Grundlage für weniger sozial beeinflusste Reaktionen der Kinder. Ein erwachsener Mensch am Klavier anstelle einer Puppe könnte das Kind unter Druck setzen, sozial erwünschte Antworten zu geben (Will et al., 2024). Zusammenfassend wäre es daher sinnvoller, den bestehenden methodischen Ansatz aus Studie 3 weiter zu verwenden und um bewegliche Puppen für mehr visuelle Informationen während der multisensorischen Präsentation zu erweitern.

5.4 Exposition in der Entwicklung komplexer Fähigkeiten

Sowohl komplexe zeitlich-rhythmische Fähigkeiten als auch komplexe Tonvorstellungsfähigkeiten entwickeln sich über einen Zeitraum von mehreren Jahren (Trainor & Hannon, 2013). Im Verlauf dieser Entwicklung erfahren Kinder musikalische Exposition durch ihre umgebende Musikkultur. Diese

Exposition führt während der musikalischen Enkulturation zu einer Spezialisierung sowohl auf die Rhythmen als auch auf das tonale System der umgebenden Musikkultur (Soley & Hannon, 2010). Trainor und Hannon (2013) gingen davon aus, dass diese Spezialisierung in der Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) beginnt. Jedoch setzt sich die Spezialisierung im Verlauf der musikalischen Entwicklung fort und scheint nicht in den ersten Lebensmonaten abgeschlossen zu sein (Trainor & Hannon, 2013).

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit weisen für zeitlich-rhythmische Fähigkeiten darauf hin, dass sich die in der Beherrschungsphase begonnene Spezialisierung in der Imitationsphase (4 bis 9 Jahre) fortsetzt. Sowohl bei den basalen Wahrnehmungsfähigkeiten als auch bei den komplexen Fähigkeiten finden Verbesserungen während der Imitationsphase statt. Dabei spielen die basalen Fähigkeiten in allen Altersgruppen eine entscheidende Rolle für die Entwicklung der komplexeren Fähigkeiten der Reproduktion und Synchronisation. Sie sind so entscheidend für die Entwicklung komplexer Fähigkeiten, dass die basalen Fähigkeiten als Vorläuferfähigkeiten angesehen werden können.

Gegen Ende dieses Entwicklungsprozesses zeigen sich bei Erwachsenen Unterschiede in zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten in Abhängigkeit von der Musikkultur, der die Erwachsenen während ihrer musikalischen Entwicklung ausgesetzt waren (Sloboda, 1985). Eine Studie von Cameron und Kolleg:innen (2015) verweist beispielsweise darauf, dass kulturelle Unterschiede beim Tippen zu einem Beat zwischen Teilnehmenden aus Nordamerika und Westafrika bestehen. Da in der vorliegenden Arbeit nur mit der westlichen Musikkultur sozialisierte Teilnehmende ähnlich zu denen aus Nordamerika untersucht wurden, sollten in einem nächsten Schritt eine kulturvergleichende Untersuchung angestrebt werden.

Die Wahl afrikanischer Teilnehmenden scheint besonders vielversprechend, da Kinder bereits in der Beherrschungsphase einen anderen Zugang zu Rhythmen und Musik im Allgemeinen erleben als in der westlichen Musikkultur (Polak & Doumbia, 2021). Im Vordergrund steht demnach das Lernen durch Imitation, welches die zweite Phase (Imitationsphase) des Spiralmodells (Swanwick & Tillman, 1986) darstellt. Jedoch scheint das Lernen durch Imitation in der afrikanischen Musikkultur nicht nur eine Phase der musikalischen Entwicklung zu charakterisieren, sondern auch den langfristigen Erwerb musikalischer Fähigkeiten zu prägen (Polak & Doumbia, 2021). Während dieses Fähigkeitserwerbs

erhalten afrikanische Kinder, die z.B. aus einem afrikanischen Dorf im Süden des afrikanischen Staates Mali stammen, keine expliziten Instruktionen durch Erwachsene, sondern Lernen durch das Beobachten anderer und trainieren sich selbst (Polak & Doumbia, 2021). Dies stellt womöglich einen großen Unterschied zum Erwerb zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten in der westlichen Musikkultur statt, welcher in der vorliegenden Arbeit näher untersucht wurde. Zukünftige Studien sollten dies zum Anlass nehmen, um die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zu basalen Wahrnehmungsfähigkeiten als Vorläufer komplexer zeitlich-rhythmische Fähigkeiten kulturvergleichend weiter zu vertiefen.

Nicht nur für die Entwicklung von zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten, sondern auch für die Entwicklung von Tonvorstellungsfähigkeiten findet musikalisches Lernen durch alltägliche Exposition mit der umgebenden Musikkultur statt (Trainor & Hannon, 2013). Dies deutet darauf hin, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen Erwachsenen und Kindern im Ausmaß ihrer Erfahrungen mit der sie umgebenden Musikkultur gibt. McDermott und Kolleg:innen (2016) konnten in einer kulturvergleichenden Studie zu komplexen Tonvorstellungsfähigkeiten bei Erwachsenen zeigen, dass ein Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der musikalischen Erfahrung mit einer Musikkultur und der Konsonanzpräferenz besteht. Im Erwachsenenalter zeigte sich keine Konsonanzpräferenz, wenn kaum Erfahrung mit der westlichen Musikkultur bestand (McDermott et al., 2016). Auch bei der Tonalitätspräferenz scheint die musikalische Erfahrung eine entscheidende Rolle zu spielen, wodurch diese spezifisch für die umgebende westliche Musikkultur auftritt (Lynch et al., 1990; Trainor & Unrau, 2012).

In der Kindheit durchgeführte Studien verweisen darauf, dass ein höheres Ausmaß an Musikerfahrung die Wahrnehmung von Tonalität verbessert (Corrigall & Trainor, 2010). Musikalische Erfahrung durch Exposition führt wiederum zu einer besseren Erkennung tonaler Veränderungen und einer robusteren Verarbeitung von Melodien (Trainor et al., 2011). Auch für das Auftreten der Konsonanzpräferenz verweisen bisherige Studien auf einen positiven Zusammenhang zwischen Musikerfahrung und einem früheren Beginn (Valentine, 1962; Weiss et al., 2020). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass die Konsonanzpräferenz mit 4 Jahren früher als in bisherigen Studien (Valentine, 1962; Weiss et al., 2020) auftritt.

In der vorliegenden Arbeit wurde anders als in den genannten bisherigen Studien musikalische Konsonanz untersucht. Diese zeichnet sich dadurch aus, dass musikalische Stimuli nicht isoliert sequentiell dargeboten werden, sondern simultan in einem musikalischen Kontext. Innerhalb des musikalischen Kontextes gibt es mehr Überschneidungen mit der realen Hörumwelt der untersuchten Teilnehmenden. Expositionseffekte könnten daher stärker wirken, weshalb eine Präferenz für Konsonanz in der vorliegenden Arbeit früher messbar war als bisher angenommen. Plantinga und Trehub (2014) nutzten dies, um zu zeigen, dass die Erfahrung mit musikalischer Konsonanz im Säuglingsalter durch direkte Exposition manipuliert werden kann. Die Autoren fanden eine Vertrautheitspräferenz sowohl für Konsonanz als auch für Dissonanz in Abhängigkeit von der Exposition (Plantinga & Trehub, 2014).

Sowohl bei der Entwicklung der Tonalitäts- als auch bei der Konsonanzpräferenz scheint die erlebte Exposition eine Schlüsselrolle zu spielen. Für beide Präferenzen stellt sich die Frage, wie robust diese gegenüber der Exposition sind. Um die Rolle der Exposition während des Erwerbs komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten noch tiefgreifender zu verstehen, wird eine Fortführung in zukünftigen kulturvergleichenden Studien benötigt. Die indische Musikkultur könnte aufgrund der häufigen Verwendung von Dissonanzen und der bestehenden Unterschiede in der Konsonanzpräferenz zwischen indischen und westlichen Erwachsenen als Vergleichskultur dienen (Maher, 1976).

Eine kulturvergleichende Studie könnte auch dazu dienen, um den Stellenwert basaler Wahrnehmungsfähigkeiten weiter zu vertiefen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liefern wichtige Hinweise darauf, dass die Wahrnehmung von Unterschieden zwischen Tonalität und Atonalität sowie zwischen Konsonanz und Dissonanz eine Vorläuferfähigkeit für die Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz darstellt. Dies stellt eine Gemeinsamkeit mit der Entwicklung komplexer zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten dar.

Zukünftige kulturvergleichende Studien zur Entwicklung musikalischer Fähigkeiten könnten daher von der Zusammenarbeit mit Musikpädagogen und Erziehern profitieren, die in der jeweiligen Musikkultur erfahren sind. Ein enger Austausch mit Musikpädagogen und Erziehern könnte die Berücksichtigung kultureller Praktiken in der Kindererziehung und in der Art des Lernens erleichtern. Wie die vorliegende Arbeit zeigt, ist die Entwicklung der vier untersuchten komplexen musikalischen

Fähigkeiten (Reproduktion, Synchronisation, Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz) in der westlichen Musikkultur bereits sehr facettenreich. Eine Erweiterung dieser Erkenntnisse in kulturvergleichenden Studien könnte diesen Eindruck verstärken, weshalb eine sorgfältige Einordnung der Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Experten innerhalb der Kulturen notwendig wird (Jacoby et al., 2020).

In zukünftigen Studien sollte jedoch kritisch reflektiert werden, welche Schlussfolgerungen aus expositionsbasierten Unterschieden abgeleitet werden. Kulturvergleichende Studien mit Expositionsphasen könnten in die bestehende Spezialisierung auf die umgebende Musikkultur eingreifen, welche bereits in der Beherrschungsphase beginnt (Lynch et al., 1990; Lynch & Eilers, 1992; Trainor & Trehub, 1992, 1994). Diese Spezialisierung ermöglicht jedoch eine effizientere Verarbeitung musikalischer Informationen. Da sich der auditorische Kortex zur Verarbeitung von musikalischen Informationen mit zunehmendem Alter entwickelt (Trainor & Unrau, 2012), könnte ein Eingreifen in diese Spezialisierung durch längerfristige Exposition zu einer Überforderung und fehlerhaften Verarbeitung führen.

5.5 Vergleich der Entwicklung komplexer Fähigkeiten

Eine Gemeinsamkeit der vier untersuchten komplexen musikalischen Fähigkeiten besteht darin, dass in allen durchgeführten Studien Veränderungen mit zunehmendem Alter beobachtet wurden. Dies greift eine These des Spiralmodells (Swanwick & Tillman, 1986) auf, in dem von einer universellen und sequentiellen Entwicklung musikalischer Fähigkeiten ausgegangen wird. Im Fokus der vorliegenden Arbeit steht die Imitationsphase des Modells, welche die Altersspanne von 4 bis 9 Jahren umfasst. Komplexe musikalische Fähigkeiten erlernen 4- bis 9-jährige Kinder in der Imitationsphase durch Nachahmung ihrer Umwelt. Dies wurde in der vorliegenden Arbeit für die komplexen Fähigkeiten der Reproduktion und Synchronisation in verschiedenen Bedingungen untersucht. Eine Gemeinsamkeit der beiden komplexen zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten liegt darin, dass Kinder bei der Nachahmung der Versuchsleitung die genauesten rhythmischen Bewegungen zeigen. Die Nachahmung der Versuchsleitung scheint somit für Kinder während der Entwicklung ihrer Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeit leichter zu sein als die Nachahmung einer rein auditiven Vorgabe durch ein Radio. Insgesamt

orientieren sich die untersuchten Teilnehmenden mit zunehmendem Alter stärker an den rhythmischen Vorgaben sowohl der Versuchsleitung als auch des Radios, sodass bei älteren Kindern genauere Reproduktion und Synchronisation zu beobachten war.

Auch für Tonvorstellungsfähigkeiten finden innerhalb Imitationsphase wesentliche Veränderungen in der Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz statt. Diese Veränderungen unterstützen die Annahme von Swanwick und Tillmann (1986), dass in der Imitationsphase ein Wechsel von der persönlichen zu einer gesellschaftlichen Zentrierung stattfindet. Diese Veränderung ermöglicht den Kindern eine stärkere soziale Teilhabe an der sie umgebenden Musikkultur (Hargreaves & Lamont, 2017). Eine Erklärung könnte an dieser Stelle sein, dass die untersuchten Kinder innerhalb der Imitationsphase die in ihrer umgebenden Musikkultur vorherrschenden Präferenzen verinnerlicht haben. Durch diese Kongruenz befinden sich die untersuchten Kinder in einem Äquilibrium und die persönlichen Präferenzen entsprechen der gesellschaftlichen soziokulturell verankerten Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz.

Die Autoren des Spiralmodells (Swanwick & Tillman, 1986) nahmen an, dass ab 7 bis 8 Jahren die Verinnerlichung musikalischer Konventionen der umgebenden Musikkultur erfolgt ist. Allerdings zeigen die durchgeführten Studien diesbezüglich widersprüchliche Ergebnisse. Gegen die Verinnerlichung musikalischer Konventionen ab 7 Jahren sprechen die Ergebnisse zur Entwicklung der Reproduktion, Rhythmuswahrnehmung sowie der Tempowahrnehmung. In allen drei Fällen unterscheiden sich die Fähigkeiten von Kindern bis zum Alter von mindestens 8 Jahren und von Erwachsenen. Vielmehr deutet dies darauf hin, dass die musikalischen Konventionen der umgebenden Musikkultur noch nicht vollständig verinnerlicht wurden. Wiederum für die Verinnerlichung musikalischer Konventionen sprechen die Ergebnisse zur Genauigkeit der Synchronisation, welche sich ab dem Alter von 8 Jahren nicht mehr von Erwachsenen unterscheidet. Genauso liegen ab dem Alter von 8 Jahren nur noch marginal signifikante Unterschiede in der Präzision im Vergleich zu Erwachsenen vor. Auch die Beat-Produktion, welche als Kontrollvariable für die Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit untersucht wurde, erreicht bereits im Alter von 7 Jahren das Niveau der Erwachsenen.

Erneut gegen einheitliche Phasen für die Verinnerlichung musikalischer Konventionen sprechen die Ergebnisse der untersuchten Entwicklung komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten. Während

eine Tonalitätspräferenz erst ab dem Alter von 6 Jahren beobachtet wird, tritt die Konsonanzpräferenz bereits ab 4 Jahren auf. Somit liegen bereits Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Präferenzen vor. Im Vergleich zu den untersuchten komplexen zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten zeigt sich, dass es für die komplexen Tonvorstellungsfähigkeiten schon früher Hinweise auf die Verinnerlichung musikalischer Konventionen der umgebenden Musikkultur gibt. Diese sind für die Tonalitätspräferenz ein Jahr und für die Konsonanzpräferenz sogar drei Jahre früher als im Spiralmodell angenommen (Swanwick & Tillman, 1986).

Neben den widersprüchlichen Befunden zur Verinnerlichung musikalischer Konventionen gibt es wiederum Gemeinsamkeiten in der Beteiligung basaler musikalischer Fähigkeiten an der Entwicklung komplexer zeitlich-rhythmischer und komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten. Sowohl für die Entwicklung der Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeit als auch für die Entwicklungen der Tonalitäts- und für Konsonanzpräferenz besteht eine enge Verbindung zu bereits in der Beherrschungsphase auftretenden basalen musikalischen Wahrnehmungsfähigkeiten. Je genauer die Teilnehmenden der vorliegenden Arbeit Rhythmen wahrnehmen und die Veränderungen zwischen ihnen (d.h. die Veränderungen zwischen zwei Rhythmen) erkennen, desto genauer ist ihre Rhythmusreproduktion. In Bezug auf die Synchronisationsfähigkeit zeigt sich dies in einer genaueren Synchronisation der Trommelbewegungen bei genauerer Wahrnehmung von Tempounterschieden.

Ein Erklärungsansatz ist, dass die feinere Wahrnehmung von Rhythmus- und Tempounterschieden es den Teilnehmenden ermöglichen könnte, ihre eigenen Trommelbewegungen genauer auf die Vorgaben abzustimmen. Durch das Erkennen von Tempo- und Rhythmusunterschieden zwischen dem eigenen Trommeln und der Vorgabe können die Teilnehmenden Abweichungen korrigieren und eine höhere Produktionsgenauigkeit erreichen. Für komplexe Tonvorstellungsfähigkeiten verweisen die Ergebnisse darauf, dass sich die basale Wahrnehmung von Unterschieden zwischen Tonalität und Atonalität bzw. Konsonanz und Dissonanz auch in den Präferenzurteilen widerspiegelt. Nur bei einer Kategorisierung von Tonalität und Atonalität bzw. Konsonanz und Dissonanz als unterschiedlich, zeigen die Teilnehmenden auch eine Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz. Zusammenfassend zeigt die vorliegende Arbeit, dass basale Wahrnehmungsfähigkeiten sowohl für zeitlich-rhythmische Fähigkeiten als

auch für Tonvorstellungsfähigkeiten einen wichtigen Bestandteil in der Entwicklung komplexer musikalischen Fähigkeiten darstellen.

Trotz dieser Gemeinsamkeit ist für den Vergleich zwischen zeitlich-rhythmische Fähigkeiten und Tonvorstellungsfähigkeiten zu berücksichtigen, dass in der vorliegenden Arbeit unterschiedliche Altersspannen untersucht wurden. Beide scheinen ähnliche Entwicklungsmechanismen aufzuweisen, jedoch zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Während die Studien für zeitlich-rhythmische Fähigkeiten 5- bis 8-jährige Kinder und Erwachsene umfassten, waren die Teilnehmenden in der Studie zur Entwicklung von Tonvorstellungsfähigkeiten jüngere Kinder im Alter von 4 bis 6 Jahren. Gewählt wurden diese unterschiedlichen Altersspannen, um mit den Studienergebnisse an frühere Untersuchungen anknüpfen zu können. Hinsichtlich der zeitlich-rhythmische Fähigkeiten sollten die Erkenntnisse aus der Studie von Kirschner und Tomasello (2009) durch eine Untersuchung mit älteren Kindern erweitert werden. Bei Tonvorstellungsfähigkeiten hingegen wurde der Schwerpunkt auf etwas jüngere Kinder gelegt, um altersmäßig vor den bereits durchgeführten Studien von Valentine (1962) sowie von Weiss und Kolleg:innen (2020) anzusetzen. In Folgestudien sollten die untersuchten Altersspannen in beide Richtungen einander angepasst werden. Dies könnte, aufbauend auf der vorliegenden Arbeit, weitere Erkenntnisse über Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten ermöglichen.

Zusammenfassend bestehen in der vorliegenden Arbeit sowohl Anhaltspunkte für Gemeinsamkeiten als auch für Unterschiede in der Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten. Für eine gemeinsame Entwicklung spricht, dass basale musikalische Wahrnehmungsfähigkeiten die Grundlage für die späte Entwicklung komplexer Fähigkeiten darstellen. Darüber hinaus konnte in allen untersuchten komplexen Fähigkeiten (Reproduktion, Synchronisation, Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz) eine Verbesserung ab Imitationsphase festgestellt werden. Allerdings unterscheiden sich die Verbesserungen innerhalb der Imitationsphase zeitlich voneinander. Dies verdeutlicht, wie vielfältig die musikalische Entwicklung der untersuchten komplexen zeitlich-rhythmische Fähigkeiten und Tonvorstellungsfähigkeiten ist.

5.6 Praktische Implikationen

Aus dem erörterten Vergleich zwischen komplexen zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten und Tonvorstellungsfähigkeiten ergibt sich die Frage nach den praktischen Implikationen der vorliegenden Arbeit. Mit Hilfe der vorliegenden Arbeit konnte das theoretische Wissen über die musikalische Entwicklung dahingehend erweitert werden, dass die untersuchten basalen musikalischen Fähigkeiten zur späten Entwicklung komplexer Fähigkeiten beitragen. Während der späten Entwicklung komplexer Fähigkeiten verändert sich die Qualität der basalen Fähigkeiten. Basale Wahrnehmungsfähigkeiten treten bereits in der Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) auf. Die vorliegende Arbeit zeigt allerdings, dass sich diese während der späten Entwicklung komplexer Fähigkeiten in der Imitationsphase (4 bis 9 Jahre) dahingehend verändern, dass Kinder rhythmische und tempobezogene Unterschiede sowie Unterschiede zwischen Tonalität und Atonalität bzw. Konsonanz und Dissonanz genauer wahrnehmen.

Die Verbesserung basaler Fähigkeiten könnte in der Praxis (z.B. in der musikalischen Früherziehung oder in anderen musikalischen Trainings) genutzt werden, um die musikalische Entwicklung zu fördern. Zu diesem Zweck sollten die bereits vorhandenen Aufgaben zur Messung perceptiver und produktionsbezogener zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten stärker aufeinander abgestimmt werden. Zur engeren Abstimmung aufeinander könnte die Rhythmen aus der Wahrnehmungsaufgabe bspw. auch in der Reproduktionsaufgabe nachgespielt werden. Weiter könnte das Wahrnehmen von Tempoänderungen um das Zieltempo der Synchronisierungsaufgabe überprüft werden. Wie bereits in den Limitationen der einzelnen Studien vorgeschlagen, könnten die Wahrnehmungsaufgaben insgesamt vereinfacht werden (Wahrnehmung von gleich vs. unterschiedlich).

Die genauere Reproduktion und Synchronisation unter den Bedingungen der sozialen Interaktion im Kindesalter eröffnet einen weiteren praktischen Nutzen der vorliegenden Arbeit. Im Musikunterricht könnte die Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeit innerhalb der Zone der proximalen Entwicklung (Vygotzky, 1978) trainiert werden. Im Sinne der Zone der proximalen Entwicklung (Vygotzky, 1978) schlagen die Lehrenden über die soziale Interaktion eine Brücke zwischen den tatsächlichen Reproduktions- sowie Synchronisationsfähigkeiten und den potentiellen Fähigkeiten der unterrichteten Kinder. Währenddessen sollte ein Austausch darüber stattfinden, wie die Produktion erfolgt

(reproduziert oder synchronisiert). Laut Miller (2016b) ermöglicht dieser Austausch ein geteiltes Verständnis, gemeinsame Aufmerksamkeit und ein gemeinsames Ziel zwischen dem unterrichteten Kind und einer kompetenteren Person (Lehrende).

Während des Unterrichts würden die Lehrenden als kompetentere Person gemeinsam mit dem unterrichteten Kind Rhythmen produzieren, um dem Kind durch angeleitetes Üben zu einer höheren rhythmischen Fähigkeit zu verhelfen (Miller, 2016b). Durch die individuelle Zusammenarbeit zwischen den Lehrenden und den Kindern, könnte die Lehrenden die Kinder jeweils auf ihrem individuellen Fähigkeitsstand abholen und fördern. Diese individuelle Förderung könnte auch auf das Wahrnehmungsfähigkeiten erweitert werden. Durch angeleitetes Hören könnten die Lehrenden gemeinsam mit den unterrichteten Kindern rhythmische und tempobezogene Unterschiede entdecken. Wie in der angedachten angeleiteten Produktion, sollte vor dem Hintergrund der Zone der proximalen Entwicklung ein gemeinsamer Austausch zu den wahrgenommenen Unterschieden stattfinden.

In der vorliegenden Arbeit wurden nur Teilnehmende ohne motorische Einschränkungen untersucht. Ein lohnenswerter Schritt könnte sein, die Ergebnisse dieser Arbeit zu nutzen, um das Verständnis zur musikalischen Entwicklung von Kindern mit einer umschriebenen Entwicklungsstörung der motorischen Funktionen (UEMF) zu vertiefen. Die UEMF beinhaltet Defizite im Erwerb und der Ausführung motorischer Fähigkeiten (sowohl Fein- als auch Grobmotorik), welche alltägliche Aktivitäten beeinträchtigen. Allerdings sind diese Defizite nicht auf neurologische Erkrankungen oder geistige Beeinträchtigungen zurückzuführen (American Psychiatric Association, 2013). Kinder mit UEMF zeigen im Vergleich zu nicht beeinträchtigten Kindern Defizite in der Tempo- und Rhythmuswahrnehmung (Chang et al., 2017).

Trainor und Kolleg:innen (2018) schlagen vor, dass die zeitliche Abstimmung von rhythmischen Bewegungen und die Verarbeitung von Rhythmen grundlegende Defizite von Kindern mit UEMF sind. Darauf aufbauend gehen Trainor und Marsh-Rollo (2018) davon aus, dass Hör- und Bewegungsinterventionen im Rahmen von musikalischen Trainings bei Kindern mit UEMF wirkungsvoll sein könnten. Unterstützt wird diese Annahme dadurch, dass Kinder mit einem erhöhten Risiko für eine UEMF in Synchronisationsaufgaben signifikant schlechter abschneiden als gleichaltrige Kinder mit einer

typischen Entwicklung (Carrillo et al., 2024). Kurz zusammengefasst könnten die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sowohl für typisch entwickelter Kinder als auch von Kindern mit einer UEMF genutzt werden.

Zur Förderung der musikalischen Entwicklung wäre auch für Tonvorstellungsfähigkeiten ein gezieltes Training denkbar. Zur Vorbereitung dieses Trainings wäre es aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wichtig, die Aufgabenschwierigkeit in der Wahrnehmungsaufgabe zu reduzieren. Eine Möglichkeit hierzu wäre, dass nur eine der Puppen auftritt. Nach dem Auftritt beurteilen Kinder, ob die Puppe ein vorgegebenes Klavierstück korrekt aufgeführt hat. Alternativ könnten wieder zwei Puppen auftreten und die Kinder schätzen ein, ob die beiden vorgespielten Klavierstücke gleich oder unterschiedlich sind.

Nachdem mit dem in Studie 3 neu entwickelten methodischen Ansatz für die Altersspanne der 4- bis 6-jährigen Kinder die theoretischen Erkenntnisse zur Entwicklung von Tonalitäts- und Konsonanzpräferenzen vertieft werden konnten, wäre als nächster Schritt eine Erweiterung um eine Produktionsaufgabe vielversprechend. In einer Produktionsaufgabe könnte untersucht werden, inwiefern die Teilnehmenden genauer tonale oder atonale bzw. konsonante oder dissonante Musikstücke reproduzieren können. Dies würde den bestehenden methodischen Ansatz dahingehend erweitern, dass Zusammenhänge zwischen der Produktionsgenauigkeit, dem Präferenzurteil und der Wahrnehmungsgenauigkeit untersucht werden können. Dadurch würden die Teilnehmenden nicht nur ihre Präferenz mithilfe einer Skala ausdrücken, sondern auch in einem eigenen musikalischen Vortrag.

Sowohl für zeitlich-rhythmische Fähigkeiten als auch für Tonvorstellungsfähigkeiten verweisen die Ergebnisse aller Studien darauf, dass jüngere Kinder größere Schwierigkeiten in der Lösung der Wahrnehmungsaufgaben hatten. Eine bereits diskutierte Erklärung ist die Verbesserung der untersuchten basalen Wahrnehmungsfähigkeiten mit zunehmendem Alter, wonach ältere Kinder die Unterschiede zwischen Rhythmen, Tempi, Tonalität und Atonalität sowie Konsonanz und Dissonanz genauer wahrnehmen. Eine weitere Erklärung könnte die geringere kognitive Reife der jüngeren Kinder sein, die es ihnen erschwert, musikalische Unterschiede wahrzunehmen. Zwar verfügen die untersuchten jüngeren Kinder bereits über stabile mentale Repräsentationen von Ereignissen, jedoch können sie

mentale Operationen noch nicht vollständig durchführen (Schwarzer, 2011b). Laut Piaget (1975) gelingt es den jüngeren Kindern noch nicht mentale Repräsentationen wieder rückgängig zu machen. Diese mentalen Repräsentationen könnten wahrgenommene Unterschiede zwischen Rhythmen, Tempi, Tonalität und Atonalität sowie Konsonanz und Dissonanz sein. Es kann zu Fehlern in der mentalen Repräsentation zwischen dem Hören und der Bewertung kommen, da die jüngeren Kinder ihre Bewertung noch nicht umkehren können (Schwarzer, 2011b).

Die Untersuchung kognitiver Fähigkeiten scheint ein vielversprechender Ansatz zu sein, um das Verständnis der Entwicklung musikalischer Fähigkeiten weiter zu vertiefen und an die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit anzuknüpfen. Basierend auf den Erkenntnissen der vorliegenden Arbeit sollte das Arbeitsgedächtnis und die auditive Aufmerksamkeit eingehend untersucht werden. Denn die Aufgaben, die in der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurden, erforderten die Wahrnehmung, Aufrechterhaltung und den Abruf auditive Informationen.

5.7 Stärken und Grenzen der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ermöglicht ein tieferes Verständnis zur Entwicklung gleich mehrerer musikalischer Fähigkeiten. Für zeitlich-rhythmische Fähigkeiten wurden die Entwicklung der Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeit untersucht. Für Tonvorstellungsfähigkeiten stand die Entwicklung der Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz im Fokus. Die Untersuchung von zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten sowie von Tonvorstellungsfähigkeiten ermöglichte in der vorliegenden Arbeit die Überprüfung von Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der musikalischen Entwicklung. Hierzu wurde anhand von umfangreichen Stichproben Veränderungen in einer großen Altersspanne (4- bis 8-jährige Kinder und Erwachsene) betrachtet.

Eine Stärke der vorliegenden Arbeit lag in der Berücksichtigung von basalen musikalischen Wahrnehmungsfähigkeiten (Rhythmus- und Tempowahrnehmung, Wahrnehmung von Tonalität und Konsonanz), motorischen Fähigkeiten sowie musikalisch-produktiven Fähigkeiten (Beat-Produktion) für die späte Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten. Dazu wurden nicht nur bereits

bestehende methodische Ansätze ausgewählt, sondern auch neue Aufgaben entwickelt und erprobt. Bestehende musikalische Stimuli wurden durch neue Versionen ergänzt, um ein umfassenderes Bild der Entwicklung von Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeiten sowie von der Entwicklung der Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz zu erhalten.

Die Grenzen der vorliegenden Arbeit wurden bereits für die drei durchgeführten Studien getrennt voneinander erörtert. Ihnen ist übergreifend betrachtet gemeinsam, dass es sich um querschnittliche Untersuchungen handelt. Dadurch handelt es sich um Momentaufnahmen, die durch den Vergleich mehrere Altersgruppen Veränderungen zwischen den Altersgruppen implizieren. In der vorliegenden Arbeit zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Altersgruppen in der Reproduktions- und der Synchronisationsfähigkeit sowie in der Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz. Durch das Aufdecken dieser Unterschiede zwischen 5- bis 8-jährigen Kindern und Erwachsenen eröffnet die vorliegende Arbeit den Weg für Längsschnittstudien. Diese könnten an den Unterschieden zwischen den Altersgruppen ansetzen und diese durch ein längsschnittliches Design über mehrere Jahre verfolgen, um Schwankungen oder Stabilisierungen im Entwicklungsverlauf aufzuzeigen.

Während der Datenerhebung aller drei Studien kam es zu Einschränkungen durch die Corona-Pandemie. Aufgrund dessen musste Studie 3 zur Entwicklung der Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz statt im Labor online durchgeführt, wobei die Teilnehmenden und die Versuchsleitung an getrennten Orten waren. Obwohl dies bedeutet, dass die experimentelle Kontrolle im Vergleich zu Laborstudien geringer war, ergibt sich daraus auch eine besondere Stärke der Studie. Die Stärke der Studie liegt in der Erfassung der musikalischen Präferenzen von 4- bis 6-jährigen Kindern in ihrer gewohnten Umgebung. Kragness und Kolleg:innen (2022) gehen davon aus, dass Kinder in ihrem gewohnten Umfeld eine natürlichere musikalische Reaktion zeigen. Dies könnte ein Grund sein, warum sich in Studie 3 früher als in bisherigen Untersuchungen eine Konsonanzpräferenz beobachten ließ.

Da in der vorliegenden Arbeit die Entwicklung von zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten und von Tonvorstellungsfähigkeiten verglichen wurden, kann dieser Vergleich durch die unterschiedlichen Testungsorte eingeschränkt sein. Die Studien zur Entwicklung der zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten wurden nicht online im häuslichen Kontext der Teilnehmenden, sondern in Kindergärten und

Grundschulen sowie an Universitäten durchgeführt. Dies sollte bei der Interpretation des Vergleichs zwischen der Entwicklung zeitlich-rhythmische Fähigkeiten und Tonvorstellungsfähigkeiten berücksichtigt werden. Allerdings wurden die Studien zur Entwicklung der zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten auch Umgebungen durchgeführt, die teilnehmenden vertraut sind und in denen sie mehrere Tage pro Woche verbringen.

Bei der Verallgemeinerung der Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen zeitlich-rhythmische Fähigkeiten und Tonvorstellungsfähigkeiten sollte beachtet werden, dass diese anhand von vier komplexen musikalischen Fähigkeiten exemplarisch untersucht wurden. Es ist denkbar, dass sich Abweichungen in den Entwicklungsphasen ergeben könnten, wenn neben der Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeit sowie der Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz weitere musikalische Fähigkeiten betrachtet werden. Da die vorliegende Arbeit jedoch für die vier untersuchten komplexen Fähigkeiten starke Veränderungen in der Imitationsphase (4 bis 9 Jahre) aufzeigt und dies eine Gemeinsamkeit zwischen zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten und Tonvorstellungsfähigkeiten darstellt, könnte sich dies auch in der Entwicklung weiterer musikalischer Fähigkeiten wiederfinden.

Abweichend von früheren Untersuchungen konnte in keiner der drei Studien ein Zusammenhang zwischen der musikalischen Vorerfahrung und der Entwicklung einzelner musikalischer Fähigkeiten festgestellt werden (z.B. Corrigan & Trainor, 2009; Trainor & Trehub, 1994; Valentine, 1962; Weiss et al., 2020). Die musikalischen Vorerfahrungen könnten durch die Corona-Pandemie limitiert gewesen sein. Insbesondere bei der Stichprobe der Kinder berichteten die Eltern im Fragebogen zum musikalischen Hintergrund, dass musikalische Früherziehung und Instrumentalunterricht zwar geplant waren, aber noch nicht hätten stattfinden können. Zudem fand in vielen Kindergärten und Grundschulen zum Zeitpunkt der Datenerhebung kein regulärer Musikunterricht statt. Da die vorliegende Arbeit dennoch auf eine Verbesserung der musikalischen Fähigkeiten hinweist, scheinen sich diese auch ohne ein hohes Ausmaß an musikalischem Training weiterzuentwickeln. Dennoch sollten zukünftige Studien überprüfen, ob sich die der Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeit sowie die Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz bei umfangreicherer musikalischer Vorerfahrung wie durch musikalisches Training stärker verändern.

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung von Kindern und Erwachsenen mit regelmäßiger Exposition gegenüber dem westlichen Musiksystem. Daher kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit für andere Musikkulturen gelten. Es bleibt offen, wie Kinder die Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeit sowie den Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz in anderen Musikkulturen erwerben. Für die westliche Musikkultur konnten jedoch anhand der vorliegenden Arbeit umfangreiche Erkenntnisse sowohl über die Entwicklung zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten als auch über die Entwicklung von Tonvorstellungsfähigkeiten gewonnen werden. Diese Erkenntnisse basieren auf fortschrittlichen Messmethoden. Sie knüpfen an frühere Untersuchungen an, entwickeln diese weiter und gestalten diese kreativ zur kindgerechten Messung. Mit großem Aufwand wurden während der Corona-Pandemie über mehrere Jahre Daten erhoben. Die Datenanalyse umfasste über zwölftausend einzelnen Sequenzen, wozu innovative Auswertungsweisen (z.B. das dynamic time wrapping oder auch zirkuläre Statistik) angewandt wurden. Daher bietet die vorliegende Arbeit einen leistungsstarken Ansatz zur Untersuchung der Entwicklung von zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten und von Tonvorstellungsfähigkeiten.

5.8 Verbleibende Fragen

Übergreifend bleibt zu fragen, inwiefern die musikalische Entwicklung universell erfolgt. In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass sich die Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeit sowie die Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz in der Imitationsphase entwickeln. Allerdings wurden in der vorliegenden Arbeit Teilnehmende untersucht, die mit dem westlichen Musiksystem sozialisiert wurden. Darüber hinaus wurden musikalische Stimuli verwendet, die sich an der westlichen Musikkultur orientieren. Es ist daher fraglich, ob sich die in den Studien beobachteten Veränderungen der untersuchten musikalischen Fähigkeiten auch in anderen Musikkulturen in vergleichbarer Weise zeigen.

Für die westliche Musikkultur konnte anhand der vorliegenden Arbeit bereits gezeigt werden, dass die rhythmischen Bewegungen (Reproduktion und Synchronisation) der teilnehmenden Kinder

am genauesten sind, wenn sie diese in der Interaktion mit der Versuchsleitung ausführen. Die Interaktion mit der Versuchsleitung gibt den Kindern die Möglichkeit die Bewegungen der Versuchsleitung zu imitieren. Imitation scheint auch bei Kindern aus dem afrikanischen Staat Mali ein wichtiger Lernmechanismus für die Entwicklung zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten zu sein (Polak & Doumbia, 2021). Graf und Kolleg:innen (2014) beobachteten, dass sowohl afrikanische Säuglinge aus Kamerun als auch deutsche Säuglinge Imitation als Lernmechanismus für Handlungen nutzen. Allerdings wirkt sich dieser Lernmechanismus unterschiedlich auf die motorischen Fähigkeiten von Kindern aus Kamerun und Deutschland aus: Bereits in der Beherrschungsphase zeigen die kamerunischen Kinder bessere grob-motorische Fähigkeiten (Lohaus et al., 2011; Vierhaus et al., 2011). Mit zunehmendem Alter nehmen jedoch die Unterschiede in der Grobmotorik ab und die Unterschiede in der Feinmotorik zu (Lohaus et al., 2014). Dabei übertrifft die Feinmotorik deutscher Kinder die der kamerunischen Kinder (Lohaus et al., 2014). Eine Fortsetzung der vorliegenden Arbeit mit Kindern aus Deutschland und Afrika könnte die vermutete Universalität von Imitation als Lernmechanismus (Graf et al., 2014) weiter untersuchen.

Die Frage nach der Universalität und Generalisierbarkeit der Studienergebnisse stellt sich jedoch nicht nur für die Entwicklung der zeitlich-rhythmische Fähigkeiten, sondern auch für die Entwicklung der Tonvorstellungsfähigkeiten. Die indische Musikkultur könnte ein vielversprechender Ansatz für eine kulturvergleichende Studie zur Entwicklung von Tonvorstellungsfähigkeiten sein. Wie bereits beschrieben, bestehen im Erwachsenenalter kulturelle Unterschiede in der Konsonanzpräferenz zwischen indischen und westlichen (kanadischen) Erwachsenen (Maher, 1976). Innerhalb der indischen Musikkultur werden Dissonanzen häufiger verwendet, was die größere Toleranz der indischen Erwachsenen gegenüber Dissonanzen erklären könnte (Maher, 1976). Somit besteht eine stärkere Exposition zu dissonanten Klängen, die nicht wie in der westlichen Musikkultur unmittelbar nach einer Auflösung in Richtung Konsonanz streben. Daher könnten sich bereits im Kindesalter unterschiedliche Konsonanzpräferenzen zwischen beiden Kulturen zeigen. Die Konsonanzpräferenz könnte folglich von Vertrautheit und von der Musikkultur der umgebenden Kultur beeinflusst sein. Allerdings fehlt es bisher an kulturvergleichenden Studien in der Kindheit, weshalb unklar ist wie sich kulturelle Unterschiede bereits in der Kindheit entwickeln.

Für die westliche Musikkultur unterstreichen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, dass es sich bei der Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz um Spezialisierungsprozesse handelt. Diese Spezialisierung findet in der im Verlauf der Kindheit auf die umgebende westliche Musikkultur statt (Lynch & Eilers, 1992; Schwarzer, 2011a). Während der Spezialisierung erleben die Kinder die Exposition im Alltag. Sie werden mit der sie umgebenden Musikkultur vertrauter. Dies könnte ein Schlüsselmechanismus nicht nur für die Entwicklung der Konsonanzpräferenz, sondern auch für die Entwicklung der Tonalitätspräferenz sein. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit könnten daher durch kulturvergleichende Studien dahingehend vertieft werden, inwieweit sich kulturelle Unterschiede in den Tonalitäts- und Konsonanzpräferenzen bereits in der Kindheit ausdrücken.

5.9 Schlussfolgerungen

Die vorliegende Arbeit vertieft das theoretische Wissen zur musikalischen Entwicklung dahingehend, dass sowohl die Entwicklung komplexer zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten als auch die Entwicklung komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten ein über mehrere Jahre andauernder Prozess ist. Für komplexe zeitlich-rhythmische Fähigkeiten zeigt die vorliegende Arbeit, dass bei 5- bis 8-jährigen Kindern und bei Erwachsenen eine multisensorische (auditive und visuelle) Darbietung durch die Versuchsleitung zu einer höheren Reproduktionsgenauigkeit führt. Aus einer weiteren Studie zur Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit wird deutlich, dass nur 5- bis 8-jährigen Kindern nicht aber Erwachsene ihre Trommelbewegungen am genauesten zu einer multisensorischen Darbietung synchronisierten. Inwieweit die genauere rhythmische Produktion in der Reproduktion und der Synchronisation auf die soziale Interaktion zwischen den Teilnehmenden und der Versuchsleitung oder auf die multisensorische Darbietung zurückzuführen ist, konnte nicht vollständig beantwortet werden. Denkbar wäre auch eine Kombination beider Erklärungsansätze. Die Ergebnisse implizieren dennoch, dass sich die Fähigkeiten zur Reproduktion und Synchronisation im Verlauf der Imitationsphase aus dem Spiralmodell (Swanwick & Tillman, 1986) verbessern.

Während der Imitationsphase entwickeln sich auch die Tonalitäts- und Konsonanzpräferenz, welche in der vorliegenden Arbeit als komplexe Tonvorstellungsfähigkeiten untersucht wurden. Für die Tonalitätspräferenz konnte ein Beginn ab 6 Jahren bekräftigt werden. Die Konsonanzpräferenz trat hingegen bereits ab 4 Jahren auf, wenn starke Kontraste zwischen konsonanten und dissonanten Klavierstücken bestanden. Gemeinsam ist beiden Präferenzen, dass sie nur bei Kindern mit erfolgreicher Kategorisierung auftreten. Diese Kinder nehmen Unterschiede zwischen Tonalität und Atonalität sowie Konsonanz und Dissonanz wahr.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit implizieren, dass die Wahrnehmung von Unterschieden sowohl die Grundlage für die Entwicklung der Tonalitätspräferenz als auch der Konsonanzpräferenz bildet. Dies stellt eine Gemeinsamkeit zwischen der Entwicklung komplexer Tonvorstellungsfähigkeiten und der Entwicklung komplexer zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten dar. Auch in den untersuchten basalen Wahrnehmungsfähigkeiten zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede in Rhythmen und Tempi kategorisiert. Dies deutet darauf hin, dass die kategoriale Wahrnehmung (gleich oder unterschiedlich) eine Vorläuferfähigkeit sowohl für komplexe zeitlich-rhythmische Fähigkeiten als auch für komplexe Tonvorstellungsfähigkeiten sein könnte.

Die kategoriale Wahrnehmung von rhythmischen und tempobasierten Unterschieden trägt entscheidend zur Entwicklung der Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeit bei. Für die Entwicklung der Reproduktionsfähigkeit ist dieser Beitrag bei der Rhythmuswahrnehmung größer als der Beitrag nicht-musikalisch untersuchter motorischer Fähigkeiten. Ergänzend hierzu zeigt die vorliegende Arbeit einen Zusammenhang zwischen der Beat-Produktion und der Synchronisationsfähigkeit bei jüngeren Kindern. Dagegen bildete die Tempowahrnehmung als basale musikalische Fähigkeit die Grundlage für die Entwicklung der Synchronisationsfähigkeit in allen untersuchten Altersgruppen.

Die basalen musikalischen Wahrnehmungsfähigkeiten sind jedoch nicht nur an der Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten beteiligt, sondern sie verändern sich auch im Laufe dieses Entwicklungsprozesses. Wie zu Beginn dieser Arbeit vermutet ist die Entwicklung der basalen Wahrnehmungsfähigkeiten in der Beherrschungsphase, welche die grundlegende erste Phase des Spiralmodells (Swanwick & Tillman, 1986) ist, bereits weit fortgeschritten (Trainor & Hannon, 2013). Jedoch

endet die Entwicklung der untersuchten basalen Wahrnehmungsfähigkeiten nicht in der Beherrschungsphase (Snyder et al., 2024). Sowohl die Rhythmuswahrnehmung, Tempowahrnehmung als auch die Wahrnehmung von Unterschieden zwischen Tonalität und Atonalität bzw. Konsonanz und Dissonanz wird mit zunehmendem Alter feiner und besser abgestimmt auf das umgebende Musiksystem.

Allerdings scheint diese Weiterentwicklung der basalen Wahrnehmungsfähigkeiten auch in der in dieser Arbeit untersuchten Altersspanne noch nicht abgeschlossen zu sein. Sowohl die Rhythmuswahrnehmung als auch die Tempowahrnehmung unterschied sich im Alter von 8 Jahren noch qualitativ von Erwachsenen. Für die Entwicklung der Wahrnehmung von Unterschieden zwischen Tonalität und Atonalität bzw. Konsonanz und Dissonanz konnte durch die vorliegende Arbeit die Erkenntnis gewonnen werden, dass das Wahrnehmen und Erkennen von Unterschieden sich zwischen dem Alter von 4 bis 6 Jahren verbessert. Wie lange die beobachteten Verbesserungen der basalen Wahrnehmungsfähigkeiten anhalten, konnte im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht abschließend geklärt werden.

Sowohl die Verbesserung der basalen Wahrnehmungsfähigkeiten als auch die Entwicklung komplexer musikalischer Fähigkeiten stehen im Einklang mit der Annahme einer sequentiellen Entwicklung musikalischer Fähigkeiten nach dem Spiralmodell (Swanwick & Tillman, 1986). Demnach bilden basale Wahrnehmungsfähigkeiten die Grundlage für die Entwicklung komplexerer Fähigkeiten. Swanwick und Tillmann (1986) gingen bei der Konzeption des Modells davon aus, dass keine Phase des Modells übersprungen werden kann. Die vorliegende Arbeit konnte dahingehend zeigen, dass basale musikalische Fähigkeiten für die spätere Entwicklung komplexer Fähigkeiten benötigt werden und die Fähigkeiten innerhalb der Phasen des Spiralmodells aufeinander aufbauen.

Demnach bleiben die erstmals in der Beherrschungsphase (0 bis 4 Jahre) auftretenden basalen Wahrnehmungsfähigkeiten nicht isoliert in dieser Phase, sondern können sich gemeinsam mit später auftretenden komplexeren musikalischen Fähigkeiten weiterentwickeln. Dies trifft in der vorliegenden Arbeit sowohl auf zeitlich-rhythmische Fähigkeiten als auch auf Tonvorstellungsfähigkeiten zu. Allerdings gibt es trotz dieser Gemeinsamkeit zeitliche Unterschiede in der Entwicklung zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten und Tonvorstellungsfähigkeiten während der untersuchten Imitationsphase (4 bis 9

Jahre). Dadurch erwerben Kinder während der Imitationsphase in unterschiedlicher Geschwindigkeit mehr soziale Teilhabe an ihrer umgebenden Musikkultur.

An dieser Stelle wird deutlich, dass die Phasen des Spiralmodells (Swanwick & Tillman, 1986) keine ausreichende Möglichkeit bieten, die Entwicklungsprozesse zwischen zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten und Tonvorstellungsfähigkeiten zu differenzieren. Hilfreicher ist an dieser Stelle die zeitliche kleinschrittigere Einteilung allgemeinerer Entwicklungsprozesse nach Schneider und Lindberger (2012). Demnach unterteilt sich die Imitationsphase in die frühe Kindheit (3 bis 6 Jahre) und die mittlere bis späte Kindheit (6 bis 11 Jahre). Die beobachteten entwicklungsbedingten Veränderungen in Tonvorstellungsfähigkeiten scheinen eher in der frühen Kindheit aufzutreten und die der zeitlich-rhythmischen Fähigkeiten in der mittleren bis späten Kindheit (6 bis 11 Jahre).

Doch nicht für die Imitationsphase, sondern auch für die Metakognitionsphase konnte die vorliegende Arbeit die bestehenden Annahmen von Swanwick und Tillmann (1986) erweitern. Die untersuchten Erwachsenen waren den 5- bis 8-jährigen Kindern in ihren Produktions- und Wahrnehmungsfähigkeiten voraus. Swanwick und Tillmann (1986) setzten zum Erreichen dieser Weiterentwicklung musikalischer Fähigkeiten kontinuierliches musikalisches Training voraus. Jedoch zeigt die vorliegende Arbeit, dass auch nicht professionell musikalisch ausgebildete Erwachsene über höhere Produktions- und Wahrnehmungsfähigkeiten verfügten als Kinder. Demnach muss die musikalische Erfahrung, die zur Weiterentwicklung von basalen und komplexen musikalischen Fähigkeiten führt, nicht notwendigerweise auf musikalischem Training beruhen. Eine weitere Untersuchung der Veränderungen an musikalischer Erfahrung im Laufe des Heranwachsens scheint daher in zukünftigen Studien unverzichtbar (de Barbaro & Fausey, 2022).

Insgesamt zeigt die vorliegende Arbeit, dass die Berücksichtigung basaler musikalischer Wahrnehmungsfähigkeiten ein tieferes Verständnis der Entwicklung von Reproduktions- und Synchronisationsfähigkeiten sowie von Tonalitäts- und Konsonanzpräferenzen ermöglicht. Allerdings sollten diese Erkenntnisse in weiteren Untersuchungen vertieft werden, um festzustellen wie robust die entwicklungsbedingten Veränderungen gegenüber Exposition sind. Eine weitere wichtige Vertiefung wäre die Frage, inwieweit sich die Ergebnisse auf verschiedene Musikkulturen verallgemeinern lassen.

Weiterführend könnte auf Basis der vorliegenden Arbeit auch überprüft werden, inwieweit die vier untersuchten komplexen musikalischen Fähigkeiten trainierbar sind und ob sie sich im Längsschnitt in stabilen oder schwankenden Entwicklungsverläufen widerspiegeln.

Abschließend wird aus der vorliegenden Arbeit deutlich, dass die Entwicklung zeitlich-rhythmischer Fähigkeiten und Tonvorstellungsfähigkeiten in der Kindheit noch andauert. Kinder erlangen währenddessen durch vielfältige musikalische Erfahrungen zunehmend mehr soziale Teilhabe an ihrer umgebenden Musikkultur. Allen Kindern sollte daher ermöglicht werden, die Vielfalt musikalischer Erfahrungen zu entdecken.

6 Literaturverzeichnis

- Agostinelli, C., & Lund, U. (2011). *R package "circular": Circular Statistics (Version 0.4-95) [Computer Software]*. <https://r-forge.r-project.org/projects/circular/>
- American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed). American Psychiatric Publishing, Inc.. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- Audacity Team. (2021). *Audacity (R): Free Audio Editor and Recorder (Version 3.1.0) [Computer Software]*. <https://audacityteam.org/>
- Bahrack, L. E., Flom, R., & Lickliter, R. (2002). Intersensory redundancy facilitates discrimination of tempo in 3-month-old infants. *Developmental Psychobiology*, *41*(4), 352–363.
<https://doi.org/10.1002/dev.10049>
- Bahrack, L. E., Krogh-Jespersen, S., Naclerio, C., & Lau, Y. (2011). Tempo of Speech Discrimination in Preschool Children: The Roles of Intersensory Redundancy and Task Difficulty. *Cognitive Development Society*. http://infantlab.fiu.edu/publications/conferences/2011_bahrack-et-al_cds_tempo-of-speech-discrimination-in-preschool.pdf
- Bahrack, L. E., & Lickliter, R. (2000). Intersensory Redundancy Guides Attentional Selectivity and Perceptual Learning in Infancy. *Developmental Psychology*, *36*(2), 190–201.
<https://doi.org/10.1037/0012-1649.36.2>
- Bahrack, L. E., & Lickliter, R. (2002). Intersensory redundancy guides early perceptual and cognitive development. *Advances in Child Development and Behavior*, *30*, 153–187.
[https://doi.org/10.1016/s0065-2407\(02\)80041-6](https://doi.org/10.1016/s0065-2407(02)80041-6)
- Bahrack, L. E., & Lickliter, R. (2014). Learning to Attend Selectively: The Dual Role of Intersensory Redundancy. *Current Directions in Psychological Science*, *23*(6), 414–420.
<https://doi.org/10.1177/0963721414549187>

- Bahrack, L. E., Lickliter, R., & Flom, R. (2004). Intersensory Redundancy Guides the Development of Selective Attention, Perception, and Cognition in Infancy. *Current Directions in Psychological Science*, *13*(3), 99–102. <https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2004.00283.x>
- Baruch, C., & Drake, C. (1997). Tempo Discrimination in Infants. *Infant Behavior and Development*, *20*(4), 573–577. [https://doi.org/10.1016/s0163-6383\(97\)90049-7](https://doi.org/10.1016/s0163-6383(97)90049-7)
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Bonacina, S., Huang, S., White-Schwoch, T., Krizman, J., Nicol, T., & Kraus, N. (2021). Rhythm, reading, and sound processing in the brain in preschool children. *Npj Science of Learning*, *6*(1), 20. <https://doi.org/10.1038/s41539-021-00097-5>
- Bouvet, C. J., Varlet, M., Dalla Bella, S., Keller, P. E., & Bardy, B. G. (2020). Accent-induced stabilization of spontaneous auditory–motor synchronization. *Psychological Research*, *84*(8), 2196–2209. <https://doi.org/10.1007/s00426-019-01208-z>
- Bukato, D., & Deahler, M. W. (2012). Motor Skill Development. In *Child Development: A Thematic Approach* (6th ed., pp. 165–173). Wadsworth Cengage Learning.
- Butler, J., & Daston, P. (1969). Musical consonance as musical preference: A cross-cultural study. *The Journal of General Psychology*, *79*(1), 129–142. <https://doi.org/10.1080/00221309.1968.9710460>
- Cameron, D. J., Bentley, J., & Grahn, J. A. (2015). Cross-cultural influences on rhythm processing: Reproduction, discrimination, and beat tapping. *Frontiers in Psychology*, *6*, Article 366. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00366>
- Cameron, D. J., Zioga, I., Lindsen, J. P., Pearce, M. T., Wiggins, G. A., Potter, K., & Bhattacharya, J. (2019). Neural entrainment is associated with subjective groove and complexity for performed but not mechanical musical rhythms. *Experimental Brain Research*, *237*(8), 1981–1991. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05557-4>

- Cannam, C., Jewell, M. O., Rhodes, C., Sandler, M., & d'Inverno, M. (2010). Linked Data and You: Bringing music research software into the Semantic Web. *Journal of New Music Research*, 39(4), 313–325. <https://code.soundsoftware.ac.uk/projects/sonic-annotator/files>
- Carrer, L. R. J., Pompéia, S., & Miranda, M. C. (2023). Sensorimotor synchronization with music and metronome in school-aged children. *Psychology of Music*, 51(2), 523–540. <https://doi.org/10.1177/03057356221100286>
- Carrillo, C., Chang, A., Armstrong, H., Cairney, J., McAuley, J. D., & Trainor, L. J. (2024). Auditory rhythm facilitates perception and action in children at risk for developmental coordination disorder. *Scientific Reports*, 14(1), 12203. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62322-6>
- Chambers, C. T., & Johnston, C. (2002). Developmental differences in children's use of rating scales. *Journal of Pediatric Psychology*, 27(1), 27–36. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/27.1.27>
- Chang, A., Chan, J., Li, Y.-C., Cairney, J., & Trainor, L. J. (2017). Auditory timing deficits in Developmental Coordination Disorder. In W. H. Meck, H. Van Rijn, & A. Vatakis (Eds.), *Proceedings of the 1st Annual Conference of the Timing Research Forum, Strasbourg, France*.
- Chang, H. W., & Trehub, S. E. (1977). Infants' perception of temporal grouping in auditory patterns. *Child development*, 1666-1670. <https://doi.org/10.2307/1128532>
- Cockos Inc. (2021). REAPER (Rapid Environment for Audio Production, Engineering and Recording) [Computer Software]. <https://www.reaper.fm/>
- Cohen, A. J., Thorpe, L. A., & Trehub, S. E. (1987). Infants' Perception of Musical Relations in Short Transposed Tone Sequences. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 41(1), 33–47. <https://doi.org/10.1037/h0084148>
- Coplan, J. (1995). Normal speech and language development: an overview. *Pediatrics in Review / American Academy of Pediatrics*, 16(3), 91–100. <https://doi.org/10.1542/pir.16-3-91>
- Corrigall, K. A., & Trainor, L. J. (2009). Effects of musical training on key and harmony perception. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 164–168. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04769.x>

- Corrigall, K. A., & Trainor, L. J. (2010). Musical enculturation in preschool children: Acquisition of key and harmonic knowledge. *Music Perception, 28*(2), 195–200.
<https://doi.org/10.1525/mp.2010.28.2.195>
- Corrigall, K. A., & Trainor, L. J. (2014). Enculturation to musical pitch structure in young children: Evidence from behavioral and electrophysiological methods. *Developmental Science, 17*(1), 142–158. <https://doi.org/10.1111/desc.12100>
- Cuddy, L. L., & Badertscher, B. (1987). Recovery of the tonal hierarchy: Some comparisons across age and levels of musical experience. *Perception & Psychophysics, 41*(6), 609–620.
<https://doi.org/10.3758/bf03210493>
- Danielsen, A., Nymoene, K., Anderson, E., Câmara, G. S., Langerød, M. T., Thompson, M. R., & London, J. (2019). Where is the beat in that note? Effects of attack, duration, and frequency on the perceived timing of musical and quasi-musical sounds. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 45*(3), 402–418. <https://doi.org/10.1037/xhp0000611>
- Davidson, L., & Colley, B. (1987). Children's Rhythmic Development from Age 5 to 7: Performance, Notation and Reading of Rhythmic Patterns. In J. C. Peery, I. Weiss Peery, & T. W. Draper (Eds.), *Music and Child Development* (pp. 107–1136). https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8698-8_6
- de Barbaro, K., & Fausey, C. M. (2022). Ten Lessons About Infants' Everyday Experiences. *Current Directions in Psychological Science, 31*(1), 28–33. <https://doi.org/10.1177/09637214211059536>
- Demany, L., McKenzie, B., & Vurpillot, E. (1977). Rhythm perception in early infancy. *Nature, 266*(5604), 718–719. <https://doi.org/10.1038/266718a0>
- Derri, V., Tsapakidou, A., Zachopoulou, E., & Gin1, V. (2001). Complexity of rhythmic ability as measured in preschool children. *Perceptual and Motor Skills, 92*(3), 777–785.
<https://doi.org/10.2466/pms.2001.92.3.777>
- Di Stefano, N., Focaroli, V., Giuliani, A., Formica, D., Taffoni, F., & Keller, F. (2017). A new research method to test auditory preferences in young listeners: Results from a consonance versus dissonance perception study. *Psychology of Music, 45*(5), 699–712.
<https://doi.org/10.1177/0305735616681205>

- Drake, C. (1993a). Influence of Age and Musical Experience on Timing and Intensity Variations in Reproductions of Short Musical Rhythms. *Psychologica Belgica*, 33(2), 217–228.
<https://doi.org/http://doi.org/10.5334/pb.849>
- Drake, C. (1993b). Reproduction of musical rhythms by children, adult musicians, and adult nonmusicians. *Perception & Psychophysics*, 53(1), 25–33. <https://doi.org/10.3758/bf03211712>
- Drake, C. (1997). Motor and Perceptually Preferred Synchronization by Children and Adults: Binary and Ternary Ratios. *Polish Quarterly of Developmental Psychology*, 3(1), 41–59 .
- Drake, C. (1998). Psychological Processes Involved in the Temporal Organization of Complex Auditory Sequences: Universal and Acquired Processes. *An Interdisciplinary Journal*, 16(1), 11–26.
<https://doi.org/https://doi.org/10.2307/40285774>
- Drake, C., Dowling, W. J., & Palmer, C. (1991). Accent Structures in the Reproduction of Simple Tunes by Children and Adult Pianists. *An Interdisciplinary Journal*, 8(3), 315–334
<https://doi.org/10.2307/40285505>
- Drake, C., & Gérard, C. (1989). A psychological pulse train: how young children use this cognitive framework to structure simple rhythms. *Psychol Res*, 51, 16–22.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/bf00309271>
- Drake, C., Penel, A., & Bigand, E. (2000). Tapping in Time with Mechanically and Expressively Performed Music. *Music Perception*, 18(1), 1–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/40285899>
- Drake, C., Riess Jones, M., & Baruch, C. (2000). The development of rhythmic attending in auditory sequences: attunement, referent period, focal attending. *Cognition*, 77, 251–288.
[https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(00\)00106-2](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(00)00106-2)
- Drewing, K., Aschersleben, G., & Li, S. C. (2006). Sensorimotor synchronization across the life span. *International Journal of Behavioral Development*, 30(3), 280–287.
<https://doi.org/10.1177/0165025406066764>
- Duxbury, C., Bello, J. P., Davies, M., & Sandler, M. (2003). Complex domain Onset Detection for Musical Signals. *Proceedings of the 6th Conference on Digital Audio Effects (DAFx-03)*.

- Eerola, T., Luck, G., Toiviainen, P., & others. (2006). An investigation of pre-schoolers' corporeal synchronization with music. *Proceedings of the 9th International Conference on Music Perception & Cognition*, Bologna, 472–476. <http://www.marcocosta.it/icmpc2006/pdfs/235.pdf>
- Einarson, K. M., Corrigan, K. A., & Trainor, L. J. (2012). Assessing young children's musical enculturation: A novel method for testing sensitivity to key membership, harmony, and musical metre. *Proceedings of the 12th International Conference on Music Perception & Cognition*, Thessaloniki, Greece.
- Einarson, K. M., & Trainor, L. J. (2015). The Effect of Visual Information on Young Children's Perceptual Sensitivity to Musical Beat Alignment. *Timing and Time Perception*, 3(1–2), 88–101. <https://doi.org/10.1163/22134468-03002039>
- Einarson, K. M., & Trainor, L. J. (2016). Hearing the beat: Young children's perceptual sensitivity to beat alignment varies according to metric structure. *Music Perception*, 34(1), 56–70. <https://doi.org/10.1525/mp.2016.34.1.56>
- Elkoshi, R. (2024). Reproduction and representation of musical rhythms of increasing complexity: insights from children's home settings. *Music Education Research*, 26(5):1–18. <https://doi.org/10.1080/14613808.2024.2365717>
- Ellis, M. C. (1992). Tempo Perception and Performance of Elementary Students, Grade 3-6. *Journal of Research in Music Education*, 40(4), 329–341. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/3345840>
- Endedijk, H. M., Ramenzoni, V. C. O., Cox, R. F. A., Cillessen, A. H. N., Bekkering, H., & Hunnius, S. (2015). Development of interpersonal coordination between peers during a drumming task. *Developmental Psychology*, 51(5), 714–721. <https://doi.org/10.1037/a0038980>
- Expressive, E. (2021). Products of Interest. *Computer Music Journal*, 45(2), 91–106. https://doi.org/10.1162/comj_r_00601
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavioral Research Methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/https://doi.org/10.3758/bf03193146>

- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, *41*(4), 1149–1160.
<https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
- Frischen, U., Degé, F., & Schwarzer, G. (2022). The relation between rhythm processing and cognitive abilities during child development: The role of prediction. *Frontiers in Psychology*, *13*, 920513.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.920513>
- Fujii, S., Watanabe, H., Oohashi, H., Hirashima, M., Nozaki, D., & Taga, G. (2014). Precursors of dancing and singing to music in three- to four-months-old infants. *PLoS ONE*, *9*(5), e97680.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097680>
- Gembris, H. (2006). *Musical development from a lifespan perspective*. Lang.
- Gembris, H. (2009). *Grundlagen musikalischer Begabung und Entwicklung* (3rd ed.). Wißner.
- Geraedts, P. (2020). Phasen der motorischen Entwicklung. In *Motorische Entwicklung und Steuerung Eine Einführung für Physiotherapeuten, Ergotherapeuten und Trainer* (pp. 10–29). Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-58296-1>
- Giorgino, T. (2009). Computing and Visualizing Dynamic Time Warping Alignments in R: The dtw Package. *Journal of Statistical Software*, *31*(7), 1–21. <https://doi.org/10.18637/jss.v031.i07>.
- Gooding, L., & Standley, J. M. (2011). Musical Development and Learning Characteristics of Students. *Update: Applications of Research in Music Education*, *30*(1), 32–45.
<https://doi.org/10.1177/8755123311418481>
- Graf, F., Borchert, S., Lamm, B., Goertz, C., Kolling, T., Fassbender, I., Teubert, M., Vierhaus, M., Freitag, C., Spangler, S., Keller, H., Lohaus, A., Schwarzer, G., & Knopf, M. (2014). Imitative Learning of Nso and German Infants at 6 and 9 Months of Age: Evidence for a Cross-Cultural Learning Tool. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, *45*(1), 47–61.
<https://doi.org/10.1177/0022022113487075>
- Halpern, A. R., Bartlett, J. C., & Dowling, W. J. (1998). Perception of mode, rhythm, and contour in unfamiliar melodies: Effects of age and experience. *Music Perception*, *15*(4), 335–355.
<https://doi.org/10.2307/40300862>

- Hammerschmidt, D., Frieler, K., & Wöllner, C. (2021). Spontaneous motor tempo: Investigating psychological, chronobiological, and demographic factors in a large-scale online tapping experiment. *Frontiers in Psychology, 12*, 677201. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.677201>
- Hannon, E. E., Nave-Blodgett, J. E., & Nave, K. M. (2018). The Developmental Origins of the Perception and Production of Musical Rhythm. *Child Development Perspectives, 12*(3), 194–198. <https://doi.org/10.1111/cdep.12285>
- Hannon, E. E., Schachner, A., & Nave-Blodgett, J. E. (2017). Babies know bad dancing when they see it: Older but not younger infants discriminate between synchronous and asynchronous audiovisual musical displays. *Journal of Experimental Child Psychology, 159*, 159–174. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.01.006>
- Hannon, E. E., Soley, G., & Levine, R. S. (2011). Constraints on infants' musical rhythm perception: Effects of interval ratio complexity and enculturation. *Developmental Science, 14*(4), 865–872. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01036.x>
- Hannon, E. E., Vanden Bosch der Nederlanden, C. M., & Tichko, P. (2012). Effects of perceptual experience on children's and adults' perception of unfamiliar rhythms. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1252*(1), 92–99. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2012.06466.x>
- Hannon, E. E., & Johnson, S. (2005). Infants use meter to categorize rhythms and melodies: Implications for musical structure learning. *Cognitive Psychology, 50*(4), 354–377. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2004.09.003>
- Hannon, E., & Trehub, S. E. (2005a). Tuning in to musical rhythms: Infants learn more readily than adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102*(35), 12639–12643. <https://doi.org/10.1073/pnas.0504254102>
- Hannon, E. E., & Trehub, S. E. (2005b). Metrical Categories in Infancy and Adulthood. *Psychological Science, 16*(1), 48–55. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.00779.x>
- Hargreaves, D., & Lamont, A. (2017). Musical Development: Theoretical Models, Approaches, and Issues. In *The Psychology of Musical Development*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781107281868.003>

- Harrison, P. M. C., & Pearce, M. T. (2020). Simultaneous Consonance in Music Perception and Composition. *Psychological Review*, 127(2), 216–244. <https://doi.org/10.1037/rev0000169>
- Helmholtz, H. von. (1863). *Die Lehrer von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Musik*. Viewig. <https://doi.org/https://doi.org/10.3931/e-rara-9201>
- Henrich, J., Helne, J., & Norezayan, A. (2010). Most people are not WEIRD. *Nature*, 446, 29. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/466029a>
- Honing, H., Ladinig, O., Háden, G. P., & Winkler, I. (2009). Is beat induction innate or learned: Probing emergent meter perception in adults and newborns using event-related brain potentials. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 93–96. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04761.x>
- Hothorn, T., Bretz, F., & Westfall, P. (2008). Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal*, 50(3), 346–363. <https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>
- Ilari, B. (2015). Rhythmic engagement with music in early childhood: A replication and extension. *Journal of Research in Music Education*, 62(4), 332–343. <https://doi.org/10.1177/0022429414555984>
- Ilari, B., Fesjian, C., & Habibi, A. (2018). Entrainment, theory of mind, and prosociality in child musicians. *Music and Science*, 1, 1–11. <https://doi.org/10.1177/2059204317753153>
- Ireland, K., Parker, A., Foster, N., & Penhune, V. (2018). Rhythm and Melody tasks for school-aged children with and without musical training: Age-equivalent scores and reliability. *Frontiers in Psychology*, 9, 426. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00426>
- Ivy, R. B., & Hazeltine, E. (1995). Perception and Production of Temporal Intervals Across a Range of Durations: Evidence for a Common Timing Mechanism. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(1), 3–18. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.21.1.3>
- Jacoby, N., Margulis, E. H., Clayton, M., Hannon, E., Honing, H., Iversen, J., Klein, T. R., Mehr, S. A., Pearson, L., Peretz, I., Perlman, M., Polak, R., Ravignani, A., Savage, P. E., Steingo, G., Stevens, C. J., Trainor, L., Trehub, S., Veal, M., & Wald-Fuhrmann, M. (2020). Cross-cultural work in music

- cognition: Challenges, insights, and recommendations. *Music Perception*, 37(3), 185–195.
<https://doi.org/10.1525/MP.2020.37.3.185>
- Jentschke, S., Koelsch, S., & Friederici, A. D. (2005). Investigating the relationship of music and language in children: influences of musical training and language impairment. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 231–242. <https://doi.org/10.1196/annals.1360.016>
- Jungbluth, A., & Hafen, R. (2005). *Musik-Screening für Kinder* [Unpubliziertes Testmaterial]. Vechta.
- Kennedy, J., Kennedy, M., & Rutherford-Johnson, T. (2012). *Consonance*. The Oxford Dictionary of Music. <https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780199578108.001.0001/acref-9780199578108-e-10154>
- Kirschner, S., & Tomasello, M. (2009). Joint drumming: Social context facilitates synchronization in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102(3), 299–314.
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2008.07.005>
- Kirschner, S., & Tomasello, M. (2010). Joint music making promotes prosocial behavior in 4-year-old children. *Evolution and Human Behavior*, 31(5), 354–364. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2010.04.004>
- Koelsch, S., Grossmann, T., Gunter, T. C., Hahne, A., Schröger, E., & Friederici, A. D. (2003). Children processing music: Electric brain responses reveal musical competence and gender differences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(5), 683–693. <https://doi.org/10.1162/jocn.2003.15.5.683>
- Kotz, S. A., Ravignani, A., & Fitch, W. T. (2018). The Evolution of Rhythm Processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(10), 896–910. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.08.002>
- Kragness, H. E., Anderson, L., Chow, E., Schmuckler, M., & Cirelli, L. K. (2022). Musical groove shapes children's free dancing. *Developmental Science*, 26(1), e13249.
<https://doi.org/10.1111/desc.13249>
- Krumhansl, C. L., & Keil, F. C. (1982). Acquisition of the hierarchy of tonal functions in music. *Memory & Cognition*, 10(3), 243–251. <https://doi.org/10.3758/BF03197636>

- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, *82*(13), 1–26.
<https://doi.org/doi:10.18637/jss.v082.i13>
- Lenth, R. V. (2023). *emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means* (R package version 1.8.6). <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and Regression by randomForest. *R News*, *2*(3), 18–22.
<https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>
- Lohaus, A., Keller, H., Lamm, B., Teubert, M., Fassbender, I., Freitag, C., Goertz, C., Graf, F., Kolling, T., Spangler, S., Vierhaus, M., Knopf, M., & Schwarzer, G. (2011). Infant development in two cultural contexts: Cameroonian Nso farmer and German middle-class infants. *Journal of Reproductive and Infant Psychology*, *29*(2), 148–161. <https://doi.org/10.1080/02646838.2011.558074>
- Lohaus, A., Lamm, B., Keller, H., Teubert, M., Fassbender, I., Glüer, M., Borchert, S., Vöhringer, I., Teiser, J., Freitag, C., Suhrke, J., Knopf, M., & Schwarzer, G. (2014). Gross and Fine Motor Differences Between Cameroonian and German Children Aged 3 to 40 Months: Results of a Cross-Cultural Longitudinal Study. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, *45*(8), 1328–1341.
<https://doi.org/10.1177/0022022114537703>
- Lüdecke, D., Ben-Shachar, M. S., Patil, I., Waggoner, P., & Makowski, D. (2021). performance: An R Package for Assessment, Comparison and Testing of Statistical Models. *Journal of Open Source Software*, *6*(60), 3139. <https://doi.org/10.21105/joss.03139>
- Lynch, M. P., & Eilers, R. E. (1992). A study of perceptual development for musical tuning. *Perception & Psychophysics*, *52*(6), 599–608. <https://doi.org/10.3758/BF03211696>
- Lynch, M. P., Eilers, R. E., Oller, D. K., & Urbano, R. C. (1990). Innateness, Experience, and Music Perception. *Psychological Science*, *1*(4), 272–276. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1990.tb00213.x>
- Maher, T. F. (1976). “Need for resolution” ratings for harmonic musical intervals: A Comparison between Indians and Canadians. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, *7*(3), 259–276.
<https://doi.org/10.1177/002202217673001>

- Maier-Karius, J., & Schwarzer, G. (2011). Die Beziehung zwischen Tonalitätsverstehen und kognitiven Fähigkeiten. *Jahrbuch Der Deutschen Gesellschaft Für Musikpsychologie*, *21*, 164–184.
<https://doi.org/10.23668/psycharchives.2940>
- Marcus, S. M. (1981). Acoustic determinants of perceptual center (P-center) location. *Perception & Psychophysics*, *30*(3), 247–256. <https://doi.org/10.3758/BF03214280>
- Marmel, F., Tillmann, B., & Dowling, W. J. (2008). Tonal expectations influence pitch perception. *Perception and Psychophysics*, *70*(5), 841–852. <https://doi.org/10.3758/PP.70.5.841>
- Masataka, N. (2006). Preference for consonance over dissonance by hearing newborns of deaf parents and of hearing parents. *Developmental Science*, *9*(1), 46–50.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00462.x>
- Mauch, M., Cannam, C., Bittner, R., Fazekas, G., Salamon, J., Dai, J., Bello, J., & Dixon, S. (2015). Computer-aided melody note transcription using the software: Accuracy and efficiency. *Proceedings of the First International Conference on Technologies for Music Notation and Representation. Paris, France*. https://code.soundsoftware.ac.uk/attachments/download/1423/tony-paper_preprint.pdf
- McAuley, J. D., Jones, M. R., Holub, S., Johnston, H. M., & Miller, N. S. (2006). The Time of Our Lives: Life Span Development of Timing and Event Tracking The Function of Event Time Structure. *Journal of Experimental Psychology: General*, *135*(3), 348–367. <https://doi.org/10.1037/0096>
- McDermott, J. H., Lehr, A. J., & Oxenham, A. J. (2010). Individual differences reveal the basis of consonance. *Current Biology*, *20*(11), 1035–1041. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.04.019>
- McDermott, J. H., & Oxenham, A. J. (2008). Music perception, pitch, and the auditory system. *Current Opinion in Neurobiology*, *18*(4), 452–463. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2008.09.005>
- McDermott, J. H., Schultz, A. F., Undurraga, E. A., & Godoy, R. A. (2016). Indifference to dissonance in native Amazonians reveals cultural variation in music perception. *Nature*, *535*(7613), 547–550.
<https://doi.org/10.1038/nature18635>
- Mehler, J., Bertoncini, J., Barriere, M., & Jassik-Gerschenfeld, D. (1978). Infant recognition of mother's voice. *Perception*, *7*, 491–497. <https://doi.org/https://doi.org/10.1068/p070491>

- Mendoza, J. K., & Fausey, C. M. (2021). Everyday music in infancy. *Developmental Science, 24*(6), e13122. <https://doi.org/10.1111/desc.13122>
- Miller, P. H. (2016a). Piaget's Cognitive-Stage Theory and the Neo-Piagetians. In *Theories of Developmental Psychology* (6th ed., pp. 26–94). Worth Publishers.
- Miller, P. H. (2016b). Zone of Proximal Development. In *Theories of Developmental Psychology* (6th ed., pp. 163–167). Worth Publishers.
- Miyamoto, K. A. (2007). Musical Characteristics of Preschool-Age Students: A Review of Literature. *Update Applications of Research in Music Education, 26*(01), 26–40. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1177/87551233070260010104>
- Monier, F., & Droit-Volet, S. (2019). Development of sensorimotor synchronization abilities: Motor and cognitive components. *Child Neuropsychology, 25*(8), 1043–1062. <https://doi.org/10.1080/09297049.2019.1569607>
- Morrongiello, B. A., Trehub, S. E., Thorpe, L. A., & Capadilupo, S. (1985). Children's Perception of Melodies: The Role of Contour, Frequency, and Rate of Presentation. *Journal of experimental child psychology, 40*(2), 279-292. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(85\)90090-6](https://doi.org/10.1016/0022-0965(85)90090-6)
- Morton, J., Marcus, S., & Prankish, C. (1976). Perceptual Centers (P-centers). *Psychological Review, 83*(5), 405–408. <https://doi/10.1037/0033-295X.83.5.405>
- Nave, K. M., Carrillo, C., Jacoby, N., Trainor, L. J., & Hannon, E. E. (2024). The Development of Rhythmic Categories as Revealed Through an Iterative Production Task. *Cognition, 242*, 105634. <https://doi.org/10.31234/osf.io/wvb9k>
- Nave, K. M., Snyder, J. S., & Hannon, E. E. (2023). Sustained musical beat perception develops into late childhood and predicts phonological abilities. *Developmental Psychology, 59*(5), 829. https://osf.io/dnhv5/?view_only=db9fee9fdf274d868059af8ddc1fd2ab
- Nave-Blodgett, J. E., Snyder, J. S., & Hannon, E. E. (2021). Hierarchical beat perception develops throughout childhood and adolescence and is enhanced in those with musical training. *Journal of Experimental Psychology: General, 150*(2), 314–339. <https://doi.org/10.1037/xge0000903>

- Pearce, M. T., & Wiggins, G. A. (2012). Auditory Expectation: The Information Dynamics of Music Perception and Cognition. *Topics in Cognitive Science*, 4(4), 625–652.
<https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2012.01214.x>
- Petermann, F. (Ed.) (2009). Movement Assessment Battery for Children - Second Edition: 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Deutschsprachige Adaptation nach S. E. Henderson, D. A. Sugden und A. L. Barnett. Frankfurt: Pearson Assessment.
- Phillips-Silver, J., Hartmann, M., Fernández-García, L., Maurino, N. C. G., Toiviainen, P., & González, M. T. D. (2024). Development of full-body rhythmic synchronization in middle childhood. *Scientific Reports*, 14(1), 15741. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66438-7>
- Phillips-Silver, J., & Trainor, L. J. (2005). Psychology: Feeling the beat: Movement influences infant rhythm perception. *Science*, 308(5727), 1430. <https://doi.org/10.1126/science.1110922>
- Piaget, J. (1975). *Origins of intelligence in children*. International Universities Press.
- Plantinga, J., & Trehub, S. E. (2014). Revisiting the innate preference for consonance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(1), 40–49.
<https://doi.org/10.1037/a0033471>
- Plomp, R., & Levelt, W. J. (1965). Tonal consonance and critical bandwidth. *Journal of the Acoustical Society of America*, 38, 548-560.
- Polak, R., & Doumbia, N. (2021). Learning to dance in rural Mali. In A. v. N. Wharton & D. Urbanavičienė (Eds.), *Proceedings of the 31st Symposium of the International Council for Traditional Music (ICTM) Study Group on Ethnochoreology* (pp. 282–290). Publisher: Lithuanian Academy of Music and Theatre.
- Prosch, S., Comstock, D. C., Médé, B., Pabst, A., & Balasubramaniam, R. (2020). Motor and Predictive Processes in Auditory Beat and Rhythm Perception. In *Frontiers in Human Neuroscience* 14, 578546. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.578546>
- Provasi, J., Anderson, D. I., & Barbu-Roth, M. (2014). Rhythm perception, production, and synchronization during the perinatal period. *Frontiers in Psychology*, 5(SEP), 1–16.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01048>

- Provasi, J., & Bobin-Bègue, A. (2003). Spontaneous motor tempo and rhythmical synchronisation in 21/2- and 4-year-old children. *International Journal of Behavioral Development*, 27(3), 220–231. <https://doi.org/10.1080/01650250244000290>
- R Studio Team. (2022). *RStudio: Integrated Development for R*. (2022.07.2). [Computer Software].. <http://www.rstudio.com/>
- Reifinger, J. L. (2006). Skill Development in Rhythm Perception and Performance: A Review of Literature. *Update: Applications of Research in Music Education*, 25(1), 15–27. <https://doi.org/10.1177/87551233060250010103>
- Repp, B. H. (2006). Does an auditory distractor sequence affect self-paced tapping? *Acta Psychologica*, 121(1), 81–107. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2005.06.006>
- Repp, B. H., & Su, Y. H. (2013). Sensorimotor synchronization: A review of recent research (2006–2012). *Psychonomic Bulletin and Review*, 20(3), 403–452. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0371-2>
- Rice, T. (2001). *Enculturation*. Grove Music Online. <https://www.oxfordmusiconline.com/grovemusic/view/10.1093/gmo/9781561592630.001.0001/omo-9781561592630-e-0000046453>
- Rocha, S., & Mareschal, D. (2017). Getting into the Groove: The Development of Tempo-Flexibility Between 10 and 18 Months of Age. *Infancy*, 22(4), 540–551. <https://doi.org/10.1111/infa.12169>
- Rocha, S., Southgate, V., & Mareschal, D. (2021). Infant Spontaneous Motor Tempo. *Developmental Science*, 24(2), e13032. <https://doi.org/10.1111/desc.13032>
- Rose, D., Ott, L., Guérin, S. M. R., Annett, L. E., Lovatt, P., & Delevoeye-Turrell, Y. N. (2021). A general procedure to measure the pacing of body movements timed to music and metronome in younger and older adults. *Scientific Reports*, 11(1), 3264. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82283-4>
- Serafine, M. L. (1988). *Music as Cognition: The Development of Thought in Sound*. Columbia University Press.

- Schellenberg, E. G., & Trainor, L. J. (1996). Sensory consonance and the perceptual similarity of complex-tone harmonic intervals: Tests of adult and infant listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *100*(5), 3321–3328. <https://doi.org/10.1121/1.417355>
- Schellenberg, E. G., & Trainor, L. J. (2002). Consonance and the perceptual similarity of simultaneous complex tones. *Infant Behavior and Development*, *19*, 725. [https://doi.org/10.1016/s0163-6383\(96\)90779-1](https://doi.org/10.1016/s0163-6383(96)90779-1)
- Schellenberg, E. G., & Trehub, S. E. (1994). Frequency ratios and the perception of tone patterns. *Psychonomic Bulletin & Review*, *1*(2), 191–201. <https://doi.org/10.3758/BF03200773>
- Schneider, W., & Lindenberger, U. (2012). *Entwicklungspsychologie*. Beltz.
- Schönberg A. (1977). *Vorschule des Kontrapunkts*. Universal-Edition.
- Schwarzer, G. (2011a). *Entwicklung von Wahrnehmung und Motorik*. In *Entwicklungspsychologie - Kindes- und Jugendalter* (Hogrefe, pp. 65–81).
- Schwarzer, G. (2011b). *Entwicklung des Denkens*. In *Entwicklungspsychologie - Kindes- und Jugendalter* (pp. 83–92). Hogrefe.
- Schwarzer, G., & Degé, F. (2014). *Musikalische Fähigkeiten*. In A. Lohaus & M. Glüer (Eds.), *Entwicklungsförderung im Kindesalter. Grundlagen, Diagnostik und Intervention* (pp. 221–238). Hogrefe.
- Schwarzer, G., Siegesmund, A., & Wilkening, F. (1993). Entwicklung des Tonalitätsverstehens bei der Beurteilung und Produktion von Liedschlüssen. *Jahrbuch Der Deutschen Gesellschaft Für Musikpsychologie*, *10*, 75–89. <https://doi.org/10.23668/psycharchives.3289>
- Sims, W. L. (1985). Young children's creative movement to music: categories of movement, rhythmic characteristics, and reactions to changes. *Contributions to Music Education*, *12*, 42–50. <https://www.jstor.org/stable/24127425>
- Sloboda, J. A. (1985). Musical learning and development. In *The musical mind: The cognitive psychology of music* (1st ed., pp. 194–239). Oxford University Press.
- Smith, N. A., & Cuddy, L. L. (2003). Perceptions of Musical Dimensions in Beethoven's Waldsiein Sonata: An Application of Tonal Pitch Space Theory. *Music Scientiae*, *7*(1), 7–34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/102986490300700102>

- Snyder, J. S., Gordon, R. L., & Hannon, E. E. (2024). Theoretical and empirical advances in understanding musical rhythm, beat and metre. *Nature Reviews Psychology*, 3(7), 449–462.
<https://doi.org/10.1038/s44159-024-00315-y>
- Soley, G., & Hannon, E. E. (2010). Infants Prefer the Musical Meter of Their Own Culture: A Cross-Cultural Comparison. *Developmental Psychology*, 46(1), 286–292.
<https://doi.org/10.1037/a0017555.supp>
- Speer, J. R., Meeks, P. U., & Austin, S. F. (1985). School children's perception of pitch in music. *Psychomusicology: A Journal of Research in Music Cognition*, 5(1–2), 49–56.
<https://doi.org/10.1037/h0094200>
- Spence, C., & Di Stefano, N. (2022). Crossmodal Harmony: Looking for the Meaning of Harmony Beyond Hearing. *I-Perception*, 13(1), 20416695211073817.
<https://doi.org/10.1177/20416695211073817>
- Swanwick, K., & Tillman, J. (1986). The Sequence of Musical Development: A Study of Children's Composition. *British Journal of Music Education*, 3(3), 305–339.
<https://doi.org/10.1017/S0265051700000814>
- Thompson, E. C., White-Schwoch, T., Tierney, A., & Kraus, N. (2015). Beat synchronization across the lifespan: Intersection of development and musical experience. *PLoS ONE*, 10(6), e0128839.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128839>
- Tillmann, B., Bharucha, J. J., & Bigand, E. (2000). Implicit learning of tonality: A self-organizing approach. *Psychological Review*, 107(4), 885–913. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.107.4.885>
- Tillmann, B., & Lebrun-Guillaud, G. (2006). Influence of tonal and temporal expectations on chord processing and on completion judgments of chord sequences. *Psychological Research*, 70(5), 345–358. <https://doi.org/10.1007/s00426-005-0222-0>
- Trainor, L. J., Chang, A., Cairney, J., & Li, Y. C. (2018). Is auditory perceptual timing a core deficit of developmental coordination disorder? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1423(1), 30–39. <https://doi.org/10.1111/nyas.13701>

- Trainor, L. J., & Cirelli, L. (2015). Rhythm and interpersonal synchrony in early social development. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 45–52. <https://doi.org/10.1111/nyas.12649>
- Trainor, L. J., & Hannon, E. E. (2013). Musical Development. In *The Psychology of Music* (pp. 423–497). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381460-9.00011-0>
- Trainor, L. J., & Heinmiller, B. M. (1998). The development of evaluative responses to music: *Infant Behavior and Development*, 21(1), 77–88. [https://doi.org/10.1016/s0163-6383\(98\)90055-8](https://doi.org/10.1016/s0163-6383(98)90055-8)
- Trainor, L. J., Lee, K., & Bosnyak, D. J. (2011). Cortical plasticity in 4-month-Old infants: Specific effects of experience with musical timbres. *Brain Topography*, 24(3–4), 192–203. <https://doi.org/10.1007/s10548-011-0177-y>
- Trainor, L. J., & Marsh-Rollo, S. (2019). Rhythm, Meter, and Timing: The Heartbeat of Musical Development. In M. H. Thaut & D. A. Hodges (Eds.), *The Oxford Handbook of Music and the Brain* (pp. 592–662). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198804123.001.0001>
- Trainor, L. J., & Trehub, S. E. (1992). A Comparison of Infants' and Adults' Sensitivity to Western Musical Structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(2), 394–402. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.18.2.394>
- Trainor, L. J., & Trehub, S. E. (1994). Key membership and implied harmony in Western tonal music: Developmental perspectives. *Perception & Psychophysics*, 56(2), 125–132. <https://doi.org/10.3758/BF03213891>
- Trainor, L. J., Tsang, C. D., & Cheung, V. H. W. (2002). Preference for Sensory Consonance in 2- and 4-Month-Old Infants. *Music Perception*, 20(2), 187–194. <https://doi.org/10.1525/mp.2002.20.2.187>
- Trainor, L. J., & Unrau, A. (2012). Development of Pitch and Music Perception. In *Human Auditory Development* (pp. 223–254). https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1421-6_8
- Tranchant, P., Vuvan, D. T., & Peretz, I. (2016). Keeping the beat: A large sample study of bouncing and clapping to music. *PLoS ONE*, 11(7), e0160178. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160178>

- Trehub, S. E. (1987). Infants' perception of musical patterns. *Perception & Psychophysics*, 41(6), 635–641. <https://doi.org/10.3758/BF03210495>
- Trehub, S. E. (2003). The developmental origins of musicality. *Nature Neuroscience*, 6(7), 669–673. <https://doi.org/10.1038/nn1084>
- Trehub, S. E. (2012). Behavioral methods in infancy: Pitfalls of single measures. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), 37–42. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2012.06448.x>
- Trehub, S. E., Bull, D., & Thorpe, L. A. (1984). Infants' perception of melodies: the role of melodic contour. *Child Development*, 55(3), 821–830. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1984.tb03819.x>
- Trehub, S. E., Cohen, A. J., Thorpe, L. A., & Morrongiello, B. A. (1986). Development of the Perception of Musical Relations. Semitone and Diatonic Structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12(3), 295–301. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.12.3.295>
- Trehub, S. E., & Hannon, E. E. (2009). Conventional rhythms enhance infants' and adults' perception of musical patterns. *Cortex*, 45(1), 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.05.012>
- Trehub, S. E., Hill, D. S., & Kamenetsky, S. B. (1997). Parents' sung performances for infants. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 51(4), 385–396. <https://doi.org/10.1037/1196-1961.51.4.385>
- Trehub, S. E., & Thorpe, L. A. (1989). Infants' Perception of Rhythm: Categorization of Auditory Sequences by Temporal Structure. *Canadian Journal of Psychology*, 1989(2), 217–229. <https://doi.org/10.1037/h0084223>
- Trehub, S. E., Thorpe, L. A., & Morrongiello, B. A. (1985). Infants' perception of melodies: Changes in a single tone. *Infant Behavior and Development*, 8(2), 213–223. [https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(85\)80007-2](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(85)80007-2)
- Trehub, S. E., Thorpe, L. A., & Morrongiello, B. A. (1987). Organizational processes in infants' perception of auditory patterns. *Child Development*, 58(3), 741–749. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1987.tb01414.x>

- Trehub, S. E., Thorpe, L. A., & Trainor, L. J. (1990). Infants' perception of good and bad melodies. *Psychomusicology: A Journal of Research in Music Cognition*, *9*(1), 5–19.
<https://doi.org/10.1037/h0094162>
- Ullal-Gupta, S., Vanden Bosch der Nederlanden, C. M., Tichko, P., Lahav, A., & Hannon, E. E. (2013). Linking prenatal experience to the emerging musical mind. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *7*(SEP). <https://doi.org/10.3389/fnsys.2013.00048>
- Valentine, C. W. (1962). Musical intervals and attitudes in music. In *The experimental psychology of beauty* (pp. 196–227). Methuen & Co. Ltd.
- Vierhaus, M., Lohaus, A., Kolling, T., Teubert, M., Keller, H., Fassbender, I., Freitag, C., Goertz, C., Graf, F., Lamm, B., Spangler, S. M., Knopf, M., & Schwarzer, G. (2011). The development of 3- to 9-month-old infants in two cultural contexts: Bayley longitudinal results for Cameroonian and German infants. *European Journal of Developmental Psychology*, *8*(3), 349–366.
<https://doi.org/10.1080/17405629.2010.505392>
- Volman, M. J., & Geuze, R. H. (2000). Temporal stability of rhythmic tapping “on” and “off the beat”: A developmental study.” *Psychological Research*, *63*(1), 62–69.
<https://doi.org/10.1007/pl00008168>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: the development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Weiss, M. W., Cirelli, L. K., McDermott, J. H., & Trehub, S. E. (2020). Development of consonance preferences in western listeners. *Journal of Experimental Psychology: General*, *149*(4), 634–649.
<https://doi.org/10.1037/xge0000680>
- Whittall, A. (2011). *Tonality*. In *The Oxford Companion to Music*. Oxford University Press.
<https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780199579037.001.0001/acref-9780199579037-e-6829>.
- Will, J. K., Roeske, C., & Degé, F. (2024). Development of tonality and consonance categorization ability and preferences in 4- to 6-year-old children. *Frontiers in Psychology*, *15*, 1270114.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1270114>

- Winkler, I., Háden, G. P., Ladinig, O., Sziller, I., & Honing, H. (2009). Newborn infants detect the beat in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *106*(7), 2468–2471. <https://doi.org/10.1073/pnas.0809035106>
- Wolff, P. H., & Hurwitz, I. (1976). Sex differences in finger tapping: A developmental study. *Neuropsychologica*, *14*(1), 35–41. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(76\)90005-1](https://doi.org/10.1016/0028-3932(76)90005-1)
- Yu, C. Y., Cabildo, A., Grahn, J. A., & Vanden Bosch der Nederlanden, C. M. (2023). Perceived rhythmic regularity is greater for song than speech: examining acoustic correlates of rhythmic regularity in speech and song. *Frontiers in Psychology*, *14*, 1167003. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1167003>
- Yu, L., & Myowa, M. (2021). The early development of tempo adjustment and synchronization during joint drumming: A study of 18- to 42-month-old children. *Infancy*, *26*(4), 635–646. <https://doi.org/10.1111/infa.12403>
- Zentner, M., & Eerola, T. (2010). Rhythmic engagement with music in infancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *107*(13), 5768–5773. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000121107>
- Zentner, M. R., & Kagan, J. (1996). Perception of music by infants. *Nature*, *383*, 29. <https://doi.org/10.1038/383029a0>
- Zentner, M. R., & Kagan, J. (1998). Infants' perception of consonance and dissonance in music. *Infant Behavior and Development*, *21*(3), 483–492. [https://doi.org/10.1016/s0163-6383\(98\)90021-2](https://doi.org/10.1016/s0163-6383(98)90021-2)

Anhang

A Übersicht zur Entwicklung motorischer Fähigkeiten

Tabelle 14

Entwicklung motorischer Fähigkeiten

Altersspanne	Befunde
Früheste Kindheit (0 bis 2 Jahre)	<ul style="list-style-type: none"> • Kopf wird in aufrechter Position gehalten und anheben des Kopfes ab 2 Monaten (*) • Kopf wird stabil gehalten, während Kind herumgetragen wird und anheben von Kopf und Brust ab 3 Monaten (*) • Greifen eines Würfels ab 4 Monaten (*) • Sitzen ohne Hilfe ab 6 Monaten (*) • Umdrehen von Rückenlage auf Bauchlage und erste Versuche des Krabbelns ab 7 Monaten • Aufrichten zum Sitzen ohne Hilfe, Hochziehen zum Stehen und Laufen mit Festhalten entlang von Möbeln ab 9 Monaten (*) • Laufen mit Hilfe ab 10 Monaten (*) • Stehen ohne Hilfe ab 11 Monaten (*) • Laufen ohne Hilfe und erste Kritzeleien auf Papier ab 12 Monaten (*) • Seitwärts und rückwärts laufen ab 15 Monaten (*) • Hinauflaufen von Treppen ab 17 Monaten (*) • Rennen ab 18 Monaten (*) • Schießen eines Balles mit dem Fuß und Werfen eines Balles mit der Oberhand ab 20 Monaten (*) • Sprung mit beiden Beinen gleichzeitig um mehrere Zentimeter und Balancieren auf einem Fuß für wenige Sekunden ab 2 Jahren (*) • Werfen eines Balles, während die Füße an einer Stelle bleiben und Ausstrecken eines Armes zum Fangen eines Balles ab 2 Jahren (*) • Zeichnen hauptsächlich in Form von Kritzeleien ab 2 Jahren (*)
Frühe Kindheit (3 bis 6 Jahre)	<ul style="list-style-type: none"> • Hochlaufen einer Treppe mit sich abwechselnden Füßen ab 3 Jahren (*) • Weitsprung aus dem Stand und Hüpfen mit beiden Beinen gleichzeitig ab 3 Jahren (*) • Beugen des Armes beim Fangen eines Balles ab 3 Jahren (*) • Papier mit einer Schere durchschneiden und Verwenden von Linien als Begrenzung von Objekten beim Malen ab 3 Jahren (*) • Herunterlaufen einer Treppe mit sich abwechselnden Füßen ab 4 Jahren (*)


Altersspanne	Befunde
Frühe Kindheit (3 bis 6 Jahre)	<ul style="list-style-type: none"> • Galoppieren und Hüpfen mit einem Fuß voran ab 4 Jahren (*) • Beidhändiges Fangen wird versucht und währenddessen Gewichtsverlagerung nach vorne ab 4 Jahren (*) • Balancieren auf einem Schwebebalken ab 5 Jahren • Springen: Seitlich um eine Fußlänge, Weite ca. 1 Meter (*) • Werfen und Fangen auf Erwachsenenniveau (*) • Starke Leistungssteigerung und Verbesserung der Ausdauer (Geraedts, 2020)
Mittlere bis späte Kindheit (6 bis 11 Jahre)	<ul style="list-style-type: none"> • Schreiben erster Worte und Zahlen ab 6 Jahren (*) • Zunehmendes Wachstum führt zu verstärkter Entwicklung der Grobmotorik (Geraedts, 2020) • Geschlechtsunterschiede zwischen Jungen und Mädchen beginnen (Geraedts, 2020)
Jugend (11 bis 19 Jahre)	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkere Leistungsunterschiede abhängig vom Geschlecht (Geraedts, 2020; Schwarzer, 2011b) • Unterschiedlich schnelles Wachstum zwischen Jungen und Mädchen wirkt sich auf körperliche Leistungsfähigkeit aus (Geraedts, 2020) • Zunehmende Stabilisierung der Motorik nach der Pubertät (Geraedts, 2020)
Erwachsenenalter	<ul style="list-style-type: none"> • Ökonomischere Bewegungsabläufe mit zunehmender Automatisierung im Verlauf des frühen Erwachsenenalters (Geraedts, 2020) • Fortschreitende Abnahme der Koordinationsfähigkeit ab 35 Jahren und ausgeprägte Abnahme ab 60 Jahren (Geraedts, 2020) • Verlangsamung der Motorik, zunehmende Gefahr für Stürze und geringere Ausdauer im Seniorenalter ab 60 Jahren (Geraedts, 2020)


Anmerkung. Diese Tabelle wurde in Anlehnung an eine Übersicht zur Entwicklung von motorischen Fähigkeiten in Bukato und Deahler (2012) auf Seite 168 erstellt und durch weitere Befunde ergänzt. Die Befunde aus der ursprünglichen Übersicht sind mit einem Stern (*) markiert.


B Rhythmen der Reproduktionsstudie (Studie 1)


Abbildung 25


Rhythmen aus dem Musik-Screening-Verfahren von Jungbluth und Hafen (2005)


(1) 


(2) 


(3) 


(4) 


(5) 

(6) 

(7) 

(8) 

(9) 

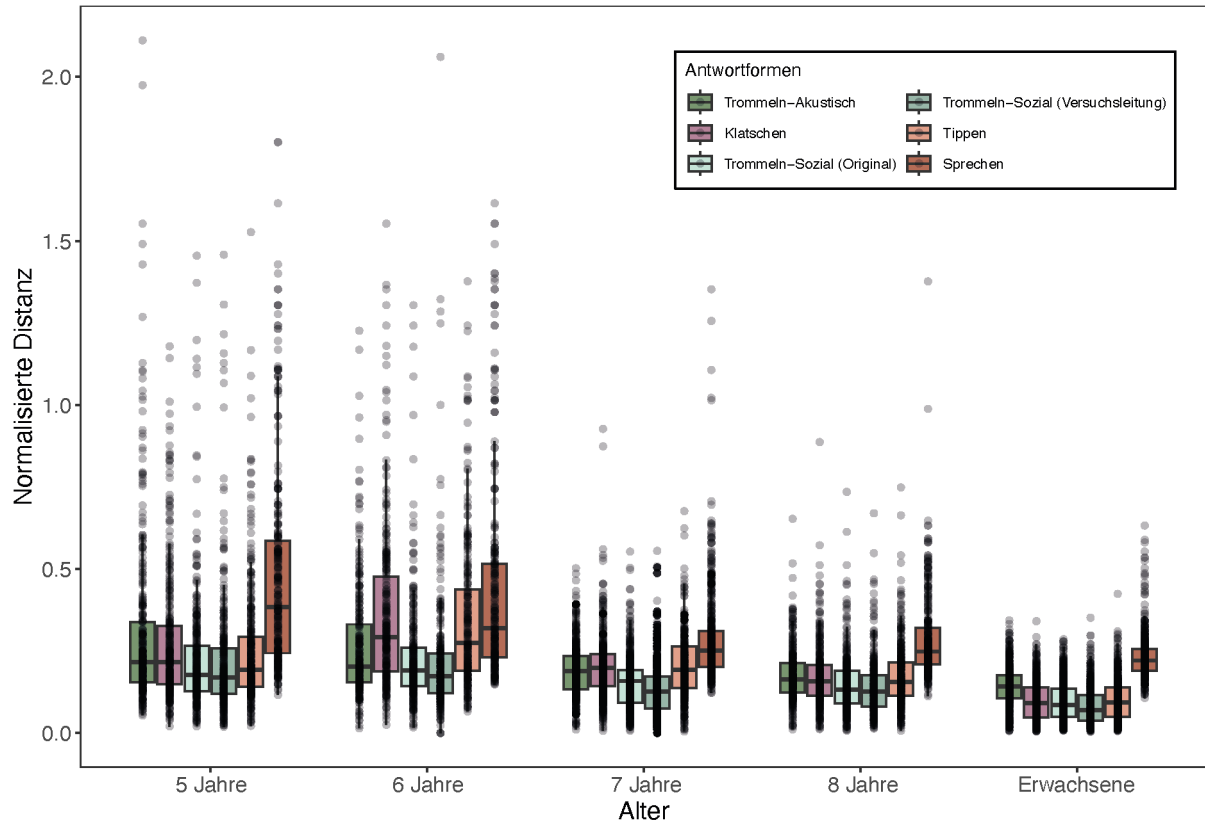
(10) 

Anmerkung. Die zehn Rhythmen wurden in Anlehnung an die Darstellung im Manual des Musik-Screening-Verfahrens (Jungbluth & Hafen, 2005) auf Seite 2 visualisiert.

C Voranalyse der Antwortformen anhand der normalisierten Distanz (Studie 1)

Abbildung 26

Voranalyse der Antwortformen anhand der normalisierten Distanz



D Modellierungsschritte zur Vorhersage der Reproduktionsfähigkeit (Studie 1)

Tabelle 15

Anpassungsparameter für der drei besten lineare Modelle je Analyseschritt

	npar	AIC	BIC	logLik	Abwei- chung	df	p
Schritt 1							
log(norm_dist) ~ Alter + Antwortform + (1 Rhythmusversion) + (1 Teilnehmende)	12	16062	16150	-8019.1	16038		
log(norm_dist) ~ Alter * Antwortform + (1 Rhythmusversion) + (1 Teilnehmende)	28	14557	15651	-7695.3	15391	16	<.001
Schritt 2							
log(norm_dist) ~ Alter * Antwortform + Rhythmuswahrnehmung + (1 Rhythmusversion) + (1 Teilnehmende)	29	14539	15651	-7690.7	15381	1	.002
Schritt 3							
log(norm_dist) ~ Alter * Antwortform + Rhythmuswahrnehmung + HG + (1 Rhythmusversion) + (1 Teilnehmende)	30	15441	15659	-7690.3	15381	1	.380
log(norm_dist) ~ Alter * Antwortform + Rhythmuswahrnehmung + BF + (1 Rhythmusversion) + (1 Teilnehmende)	30	15440	15659	-7690.3	15380	0	
log(norm_dist) ~ Alter * Antwortform + Rhythmuswahrnehmung + GF + (1 Rhythmusversion) + (1 Teilnehmende)	30	15439	15658	-7689.7	15379	0	
log(norm_dist) ~ Alter * Antwortform + Rhythmuswahrnehmung + HG + BL + (1 Rhythmusversion) + (1 Teilnehmende)	31	15441	15667	-7689.5	15379	1	.593
log(norm_dist) ~ Alter * Antwortform + Rhythmuswahrnehmung + HG + BF + (1 Rhythmusversion) + (1 Teilnehmende)	31	15442	15668	-7689.9	15380	0	
log(norm_dist) ~ Alter * Antwortform + Rhythmuswahrnehmung + BF + BL + (1 Rhythmusversion) + (1 Teilnehmende)	31	15441	15667	-7689.3	15379	0	
log(norm_dist) ~ Alter * Antwortform + Rhythmuswahrnehmung + HG + BF + BL + (1 Rhythmusversion) + (1 Teilnehmende)	32	15442	15676	-7689.2	15378	1	.619

Anmerkung. Die zehn aufgeführten Modelle wurden hinsichtlich ihrer Vorhersagekraft für der Reproduktionsfähigkeit anhand der logarithmierten normalisierten Distanz (log(norm_dist)) miteinander verglichen. Die ab Schritt 2 aufgenommene Rhythmuswahrnehmung ist alterszentriert. HG = Handgeschwindigkeit. BF = Ballfertigkeiten. GF = Gleichgewichtsfertigkeiten. Das in Schritt 2 dargestellte Modell wurde zur weiteren Analyse der Daten in Studie 1 ausgewählt.

E Geschätzte Reproduktionsgenauigkeit und Standardfehler je Antwortform (Studie 1)

Tabelle 16

Mittelwerte (M) und Standardfehler (SE) der geschätzten Reproduktionsgenauigkeit je Antwortform

Antwortform	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	Erwachsene
Trommeln-Sozial	M = -1.74 (SE = 0.07)	M = -1.74 (SE = 0.07)	M = -2.09 (SE = 0.05)	M = -2.10 (SE = 0.06)	M = -2.54 (SE = 0.05)
Klatschen	M = -1.66 (SE = 0.07)	M = -1.51 (SE = 0.07)	M = -1.81 (SE = 0.06)	M = -1.92 (SE = 0.06)	M = -2.57 (SE = 0.05)
Tippen	M = -1.67 (SE = 0.07)	M = -1.41 (SE = 0.07)	M = -1.71 (SE = 0.06)	M = -1.88 (SE = 0.06)	M = -2.50 (SE = 0.05)
Trommeln-Akustisch	M = -1.60 (SE = 0.07)	M = -1.63 (SE = 0.07)	M = -1.82 (SE = 0.06)	M = -1.81 (SE = 0.06)	M = -2.06 (SE = 0.05)
Sprechen	M = -1.25 (SE = 0.07)	M = -1.27 (SE = 0.07)	M = -1.41 (SE = 0.06)	M = -1.35 (SE = 0.06)	M = -1.47 (SE = 0.05)

F Überprüfung der Rhythmusschwierigkeit (Studie 1)

Abbildung 27

Vergleich der mittleren logarithmierten normalisierten Distanz pro Rhythmusversion



Anmerkung zu Abbildung 27 (Seite 206). Die logarithmierte normalisierte Distanz zeigt das Ausmaß an Abweichung zwischen den vorgegebenen Rhythmen und den reproduzierten Rhythmen. Da Unterschiede zwischen den Rhythmen und deren Versionen bestanden, ist anzunehmen, dass die Rhythmen unterschiedlich schwierig waren. Insgesamt reproduzierten die Teilnehmenden 10 Rhythmen pro Antwortform, welche als Gesamtproduktionsleistung pro Rhythmus

sind. Pro Rhythmus gab es jeweils 4 Varianten, ausgenommen sind jedoch die Rhythmen fünf (x) und neun (ix) für die keine zusätzlichen Versionen erstellt werden konnten. Zur besseren Lesbarkeit wurden die Codes der Rhythmusvarianten mit Zahlen abgekürzt. Die einzelnen Rhythmen setzten sich aus verschiedenen Elementen zusammen: a = eine Viertelnote, b = zwei Achtelnoten, c = eine Achtelnote, d = punktierte Achtelnote mit anschließender Sechzehntelnote und e = eine Achteltriolen. Die Übersetzung der Zahlen in Codes ist in der folgenden Tabelle 17 aufgeschlüsselt.

Tabelle 17

Zuordnung der Codes aus Abbildung 27 zu den entsprechenden Rhythmusversionen

i	ii	iii	iv	v	vi	vii	viii	xi	x
1 = aaab	5 = aabb	9 = aabc	13 = aaaab	17 = aaaa	18 = aacb	22 = aadd	26 = aaae	30 = bbbb	31 = adbb
2 = aaba	6 = abba	10 = abca	14 = aabaa		19 = acba	23 = adda	27 = aaea		32 = badb
3 = abaa	7 = baab	11 = bcaa	15 = abaaa		21 = baac	24 = daad	28 = aeaa		33 = bbad
4 = baaa	8 = bbaa	12 = caab	16 = baaaa		21 = cbaa	25 = ddaa	29 = eaaa		34 = dbba

Anmerkung. a = eine Viertelnote, b = zwei Achtelnoten, c = eine Achtelnote, d = punktierte Achtelnote mit anschließender Sechzehntelnote und e = eine Achteltriolen.

G Finale lineare Modelle zur Vorhersage der Synchronisationsfähigkeit (Studie 2)

Tabelle 18

Anpassungsparameter für die finalen linearen Modelle zur Vorhersage der Synchronisationsfähigkeit anhand der Genauigkeit und Präzision

	npar	AIC	BIC	logLik	Abweichung	df	p
Genauigkeit							
Tempo_Abw ~ Alter * Bedingung + Geschwindigkeit + (1 Teilnehmende)	13	-2359.7	-2299.8	1192.8	-2385.7		
Tempo_Abw ~ Alter * Bedingung + Geschwindigkeit + Beat-Produktion + Beat-Produktion : Alter + (1 Teilnehmende)	18	-2354.2	-2271.2	1195.1	-2390.2	4.49	5 .480
log(Tempo_Abs_Abw) ~ Alter * Geschwindigkeit + Bedingung + (1 Teilnehmende)	13	1826.7	1886.6	-900.4	1800.7	5.87	
log(Tempo_Abs_Abw) ~ Alter * Geschwindigkeit + Bedingung + Beat-Produktion + Beatproduktion : Alter + (1 Teilnehmende)	18	1798.9	1881.9	-881.5	1762.9	37.79	5 <.001
Präzision							
log(SD ₁₀₁) ~ Alter * Bedingung + Geschwindigkeit + (1 Teilnehmende)	13	1578.7	1638.8	-776.3	1552.7		
log(SD ₁₀₁) ~ Alter * Bedingung + Geschwindigkeit + Beat-Produktion + Tempo-wahrnehmung + (1 Teilnehmende)	15	1560.7	1629.8	-765.4	1530.7	21.92	2 .117

Anmerkung. Tempo_Abw = Tempoabweichung, log(Tempo_Abs_Abw) = Logarithmierte absolute Tempoabweichung, log(SD₁₀₁) = Logarithmierte Standardabweichung der Inter-Onset-Intervalle. Die Modelle in blauer Schrift wurden zur weiteren Analyse der Daten in Studie 2 verwendet.

H Linear Gemischtes Modell für die Genauigkeit mittels Tempoabweichung (Studie 2)

Tabelle 19

Lineares gemischtes Modell für die Synchronisationsgenauigkeit (logarithmierte Tempoabweichung)

Parameter	Schätzwerte	Konfidenzintervall	<i>p</i>
Erwachsene (Referenz)	-0.00	-0.02 – 0.02	.935
5 Jahre	0.00	-0.02 – 0.03	.727
6 Jahre	-0.03	-0.06 – 0.00	.069
7 Jahre	0.00	-0.02 – 0.03	.765
8 Jahre	-0.00	-0.04 – 0.03	.825
Bedingung: Person	0.00	-0.01 – 0.01	.863
Geschwindigkeit: slow	-0.01	-0.01 – 0.00	.136
Beat-Produktion	-0.00	-0.00 – 0.00	.926
5 Jahre x Personen-Bedingung	-0.01	-0.03 – 0.01	.499
6 Jahre x Personen-Bedingung	0.00	-0.02 – 0.02	.944
7 Jahre x Personen-Bedingung	0.00	-0.02 – 0.02	.982
8 Jahre x Personen-Bedingung	0.00	-0.02 – 0.02	.842
5 Jahre x Beat-Produktion	0.00	-0.00 – 0.01	.411
6 Jahre x Beat-Produktion	0.01	-0.00 – 0.01	.098
7 Jahre x Beat-Produktion	0.00	-0.00 – 0.01	.776
8 Jahre x Beat-Produktion	0.00	-0.00 – 0.01	.679

I Ergebnisse der Homogenitätstests nach Watson für Altersgruppenvergleiche (Studie 2)

Tabelle 20

Zusammenfassung der Altersgruppenvergleiche bezüglich der Phase

	Altersgruppe 1	Altersgruppe 2	df	U^2	p (low)	p (high)	
Schnell - Metronom	5 Jahre - 43 ms	7 Jahre - 5 ms	67	0.31	.0001	.001	
	5 Jahre - 43 ms	Erwachsene -24 ms	85	0.60	0	.001	
	6 Jahre - 7 ms	Erwachsene - 24 ms	82	0.57	0	.001	
	7 Jahre - 5 ms	Erwachsene - 24 ms	94	0.51	0	.001	
	8 Jahre - 28 ms	Erwachsene -24 ms	84	0.35	.001	.01	
	Schnell - Person	5 Jahre - 15 ms	Erwachsene - 40 ms	84	0.22	.01	.05
		7 Jahre 28 ms	Erwachsene - 40 ms	93	0.37	.001	.01
Langsam - Metronom		5 Jahre - 29 ms	7 Jahre 22 ms	65	0.19	.01	.05
	5 Jahre - 29 ms	8 Jahre - 27 ms	55	0.19	.01	.05	
	5 Jahre - 29 ms	Erwachsene - 8 ms	82	0.71	0	.001	
	6 Jahre - 24 ms	Erwachsene -8 ms	81	0.45	0	.001	
	7 Jahre - 4 ms	Erwachsene - 8 ms	93	0.52	0	.001	
	8 Jahre - 27 ms	Erwachsene - 8 ms	83	0.44	0	.001	
	Langsam – Person	5 Jahre - 78ms	Erwachsene - 27 ms	83	0.30	.001	.01
		6 Jahre - 72 ms	Erwachsene - 27 ms	81	0.31	.001	.01
7 Jahre - 107 ms		Erwachsene - 27 ms	93	0.49	0	.001	
8 Jahre - 98 ms		Erwachsene - 27 ms	83	0.35	.001	.01	

J Ergebnisse der Homogenitätstests nach Watson für Bedingungsvergleiche (Studie 2)

Tabelle 21

Zusammenfassung der Bedingungsvergleiche bezüglich der Phase

Altersgruppe	Geschwindigkeit	Metronom	Person	df	U^2	p (low)	p (high)
6 Jahre	Schnell	-7 ms	-84 ms	54	0.20	.01	.05
7 Jahre	Schnell	-5 ms	-12 ms	77	0.33	.001	.001
Erwachsene	Schnell	-24 ms	-40 ms	114	0.77	0	.001
7 Jahre	Langsam	-4 ms	-107 ms	78	0.38	.001	.01
8 Jahre	Langsam	-27 ms	-98 ms	58	0.32	.001	.01
Erwachsene	Langsam	-8 ms	-27 ms	112	0.48	0	.001

K Ergebnisse der Homogenitätstests nach Watson für Geschwindigkeitsvergleiche (Studie 2)

Tabelle 22

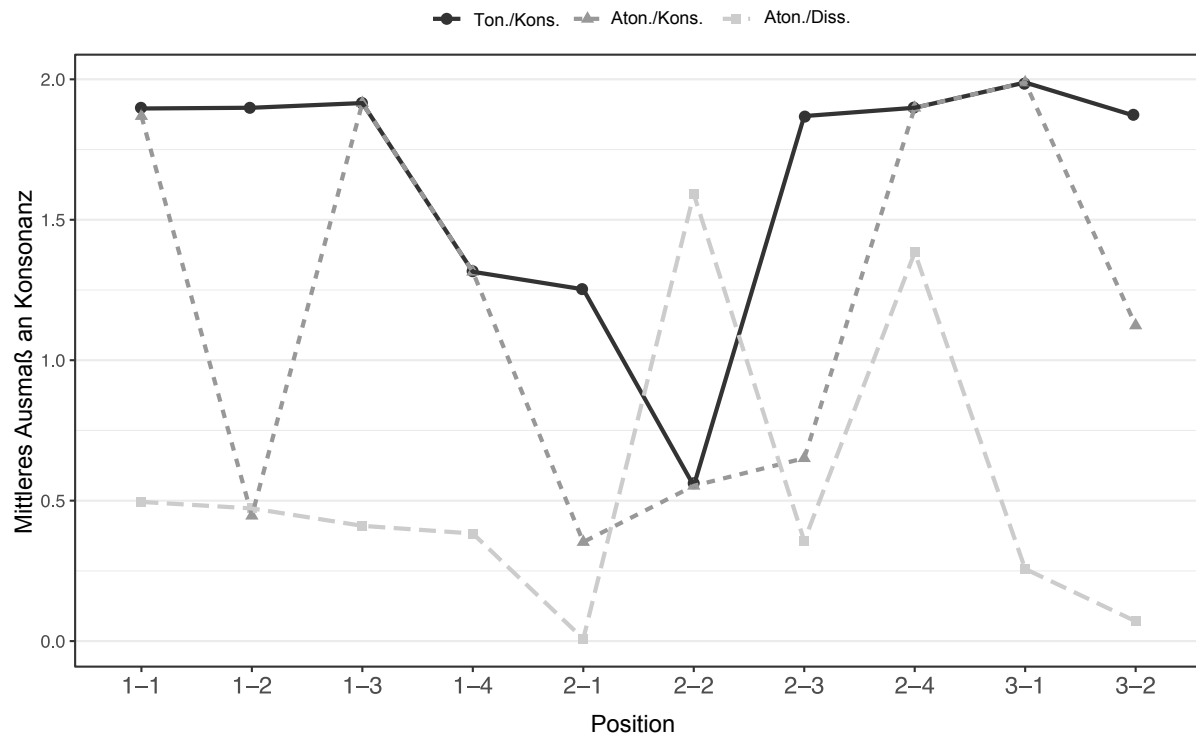
Zusammenfassung der Geschwindigkeitsvergleiche bezüglich der Phase

Altersgruppe	Bedingung	Schnell	Langsam	df	U^2	p (low)	p (high)
Erwachsene	Metronom	-24 ms	-8 ms	113	0.67	0	.001
7 Jahre	Person	28 ms	-107 ms	77	0.55	0	.001
Erwachsene	Person	-40 ms	-27 ms	113	0.22	.01	.05

L Verlauf des Konsonanzniveaus des dritten Experiments (Studie 3)

Abbildung 28

Verlauf des mittleren Ausmaßes an Konsonanz über die in Experiment 3 präsentierten Klavierstücke

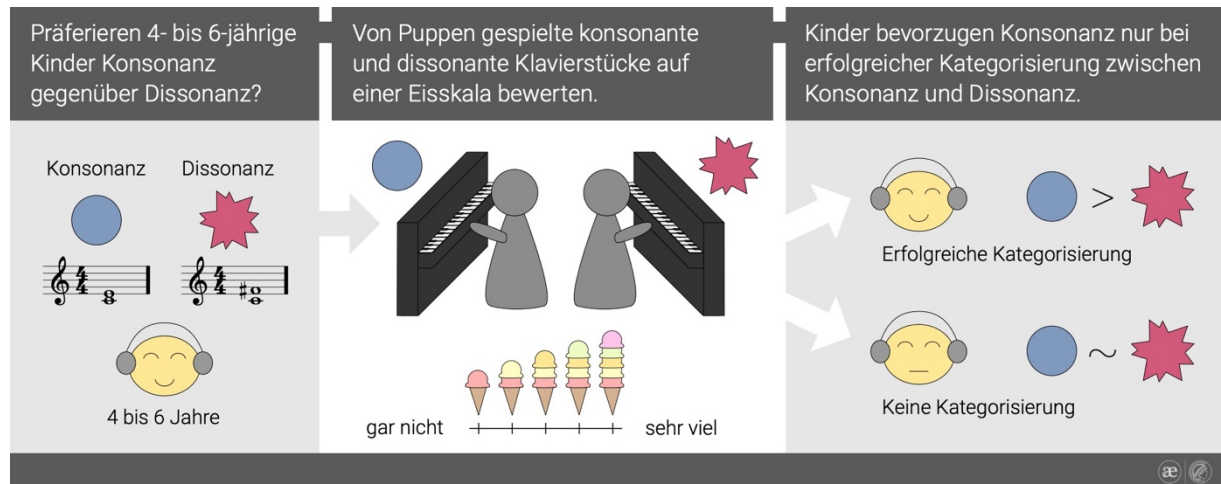


Anmerkung. Die Position beschreibt das Ausmaß an Konsonanz innerhalb der Zählzeiten der jeweiligen Takte. Die Position 1-3 gibt dabei beispielsweise an, wie hoch das mittlere Ausmaß an Konsonanz in den drei verglichenen Stimulusvarianten ist bei der dritten Zählzeit des ersten Taktes ist. Insgesamt hatte jedes Musikstück drei Takte, wobei diese auf die zweite Zählzeit des dritten Taktes endeten. Eine der drei verglichenen Stimulusvarianten umfasst tonale Melodien mit konsonanten Harmonien (Ton./Kons.), die in der Abbildung als Punkten auf einer durchgehenden schwarzen Linie dargestellt sind. Zusätzlich wurden das Ausmaß an Konsonanz von atonalen Melodien mit konsonanten Harmonien (Aton./Kons) als Dreiecke auf einer dunkelgrau gestrichelten Linie dargestellt. Schließlich wurde der Verlauf des Ausmaßes an Konsonanz für atonale Melodien mit dissonanten Harmonien (Aton./Diss.) analysiert, visualisiert durch Quadrate auf einer hellgrauen gestrichelten Linie. Das Ausmaß an Konsonanz wurde über alle Transpositionen hinweg gemittelt.

M Grafische Zusammenfassung des dritten Experiments (Studie 3)

Abbildung 29

Graphische Zusammenfassung der Hauptergebnisse des dritten Experiments



Publikationsliste

Zeitschriftenartikel

Will, J. K., Frieler, K., Polak, R. & Degé, F. (eingereicht). The Development of Sensorimotor Synchronization in 5- to 8-year-old Children: Exploring the Aspects of Tempo Perception and Beat Production.

Will, J. K., Roeske, T., & Degé, F. (2024). Development of Tonality and Consonance Categorization Ability and Preferences in 4- to 6-year-old Children. *Frontiers in Psychology*. 15:1270114. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1270114>

Manuskripte

Will, J. K., Frieler, K., Polak, R. & Degé, F. (in Vorbereitung). The Development of Rhythm Reproduction in 5- to 8-year-old Children: Exploring the Aspects of Rhythm Perception and Motor Skills.

Konferenzbeiträge

Will, J. K., Frieler, K., Polak, R., & Degé, F. (2023, März). Die Verbindung von Tempowahrnehmung und Beat-Produktion bei 5- bis 8-jährigen Kindern und Erwachsenen [Poster]. Biennial Meeting of the Society for Research in Child Development (SRCD), Salt Lake City, UT, USA.

Will, J. K., & Degé, F. (2022, September). Entwicklung von Rhythmuswahrnehmung und Rhythmusproduktion bei 5- bis 8-jährigen Kindern und Erwachsenen [Poster]. 38. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie (DGM), Würzburg, Germany.

- Will, J. K., & Degé, F. (2022, August). Entwicklung von Rhythmuswahrnehmung und Rhythmusproduktion bei 5- bis 8-jährigen Kindern und Erwachsenen [Poster]. Biennial Conference of the Society for Music Perception and Cognition (SMPC 2022), Portland, OR, USA.
- Will, J.K., Roeske, T., & Degé, F. (2021, September). Konsonanzpräferenz im Vorschulalter. 37. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie (DGM), online.
- Will, J.K., Roeske, T., & Degé, F. (2021, Juli) Angeborene oder erworbene Konsonanzpräferenz? [Vortrag]. 16th International Conference on Music Perception and Cognition and 11th Triennial Conference of the European Society for the Cognitive Sciences of Music (ICMPC-ESCOM2021), online.
- Will, J.K., Degé, F., Roeske, T., & Schwarzer, G. (2021, April) Konsonanz- und Dissonanzwahrnehmung bei Kindern im Vorschulalter [Poster]. 2021 Virtual Biennial Meeting of the Society for Research in Child Development (SRCD), online.
- Will, J.K., Degé, F., & Schwarzer, G. (2020, September) Wie nehmen vierjährige Kinder Konsonanz und Dissonanz wahr? [Poster]. 36. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie (DGM), online.