

Melodische Tonfolgen im schulischen Musikunterricht

Eine korpusbasierte Analyse von Musikstücken und -werken verschiedener Epochen, Genres und Gattungen

Melodic patterns in school music education
A corpus-based analysis of works from various epochs, genres, and styles

Myrto Zarzalis¹ 
Daniel Fiedler² 
Jonas Zarzalis³ 
Johannes Hasselhorn¹ 

- ¹ Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)
- ² Staatliche Hochschule für Musik und Darstellende Kunst Stuttgart (HMDK)
- ³ TNG Technology Consulting GmbH

Zusammenfassung

Die Wahrnehmung musikalischer Strukturen ist zentral für das Hören und Verarbeiten von Musik. Aufbauend auf musikpsychologischen Ansätzen wie der Prototypentheorie und dem Predictive Coding sowie musiktheoretischen Konzepten können Wiederholung und Ähnlichkeit als verbindende Elemente betrachtet werden. In einem Korpus von 309 Musikstücken und -werken aus dem schulischen Musikunterricht an Gymnasien in Baden-Württemberg wurden häufig vorkommende Tonfolgen mithilfe einer Korpusanalyse identifiziert (Teilstudie 1) und mit einer Stichprobe bestehend aus Statusgruppen mit unterschiedlichem Grad an musikalischer Ausbildung unter Verwendung eines kumulativen Link-Mischmodells validiert (Teilstudie 2). Die Ergebnisse von Teilstudie 1 zeigten, dass 20 von 2759 Tonfolgeklassen etwa 52 % des gesamten Korpus abdeckten. Teilstudie 2 demonstrierte, dass Personen mit höherer musikalischer Ausbildung die im Korpus am häufigsten vorkommenden Tonfolgen auch als solche wahrnehmen. Die Befunde können als Grundlage für ein evidenzbasiertes Modell dienen, das als Ausgangspunkt für die Förderung der Wahrnehmung auditiver Strukturen in der Musik genutzt werden kann.

Summary

The perception of musical structures is central to listening to and processing music. Building on music-psychological approaches such as prototype theory and predictive coding, as well as music-theoretical concepts, repetition and similarity can be regarded as key unifying elements. In a corpus analysis of 309 musical pieces and works from high-track schools in Baden-Württemberg, frequently occurring tone sequences were identified using corpus-analytic methods (Study 1) and then validated in a sample of groups with different levels of musical training using cumulative link mixed models (Study 2). Study 1 showed that 20 out of 2,759 tone-sequence classes accounted for approximately 52 % of the entire corpus. Study 2 demonstrated that individuals with higher levels of musical training perceived the tone sequences that occurred most frequently in the corpus as correspondingly frequent. These findings may serve as a foundation for an evidence-based model that can be used to foster the perception of auditory structures in music education.

Schlagwörter:

Auditive Strukturerkennung, Korpusanalyse, Statistisches Lernen, melodisches Basismaterial

Keywords:

Auditory Structure Recognition, Corpus Analysis, Statistical Learning, Basic Melodic Material

1. Einleitung

Wie unterschiedlich Musik und ihre Strukturen wahrgenommen und beschrieben werden, können beispielsweise die von Meyer (2024) gefundenen stark divergierenden Beschreibungen von Musik durch Schüler:innen verdeutlichen. Dabei ist das Erkennen musikalischer Strukturen, verstanden als ein „nach Regeln aus Elementen zu einer komplexen Ganzheit aufgebautes Ordnungsgefüge“ (Brockhaus Enzyklopädie Online, o. J.), ein wesentlicher Bestandteil des Musikhörens und der Musikverarbeitung und trägt laut Altenmüller (2018) darüber hinaus zum Genuss von Musik bei. Während das Hören, Wahrnehmen und Beschreiben von Musik in den Lehr- und Bildungsplänen der verschiedenen Bundesländer in Deutschland eine zentrale Rolle spielt und nahezu in allen musikdidaktischen Konzeptionen (Jank, 2021) genannt wird, liegen bislang nur begrenzt modellhafte Ansätze zur Beschreibung von Hörkompetenz im schulischen Kontext vor¹ (Wolf, 2016), die zugleich einen Rahmen für den Aufbau auditiver Strukturerkennungskompetenz im schulischen Musikunterricht bieten.

Dabei können insbesondere musikalische Strukturen aus zwei Perspektiven betrachtet werden: Aus einer musikpsychologischen Perspektive werden musikalische Elemente als auditive Gestalten aufgefasst, deren Gruppierung mithilfe von Gestaltprinzipien beschrieben werden (Frieler, 2018). Das Erlernen und Verarbeiten dieser Strukturen lässt sich unter Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses als zentraler kognitiver Ressource zur temporären Speicherung und Verarbeitung von Informationen (Baddeley, 2003) durch Konzepte wie der Prototypentheorie (Deliège, 2001a; Taher et al., 2018) und des Predictive Coding (Friston & Kiebel, 2009; Garrido et al., 2009) erklären. Aus musiktheoretischer Perspektive werden Formbegriffe wie Motiv, Phrase oder Thema zur Beschreibung musikalischer Struktur herangezogen. In beiden Perspektiven spielen Wiederholungen und das Erkennen von (Selbst-)Ähnlichkeiten bei der Herausbildung musikalischer Strukturen eine zentrale Rolle (Basiński et al., 2023; Götte, 2020; Kühn, 2018; Loui et al., 2010).

Angesichts des Einflusses top-down gesteuerter Prozesse bei der Wahrnehmung und Verarbeitung auditiver Reize ist es nicht überraschend, dass der individuelle Grad der musikalischen Ausbildung² die kognitive Verarbeitung musikalischer Strukturen maßgeblich beeinflusst (Bonetti et al., 2022).

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel dieser Studie, mithilfe einer Korpusanalyse Musikstücke und -werke aus dem schulischen Musikunterricht an Gymnasien in Baden-Württemberg auf häufig vorkommende melodische Elemente hin zu untersuchen (Teilstudie 1), um diese anschließend verschiedenen Statusgruppen, d.h. Personen mit unterschiedlichem musikalischem Ausbildungsgrad (Schüler:innen, Musikstudierende, Musiklehrkräfte, Hochschuldozierende), zur Bewertung vorzulegen und damit die in Teilstudie 1 gefundenen häufig vorkommenden musikalischen Elemente zu validieren (Teilstudie 2). Damit schafft die vorliegende Studie einen Ausgangspunkt für weiterführende musikpädagogische und -psychologische Forschung, um nicht nur systematisch und evidenzbasiert die auditive Erkennung musikalischer Strukturen im Musikunterricht an allgemeinbildenden Schulen anzubahnen, sondern auch ein entsprechendes Hörkompetenzmodell zu entwickeln.

2. Forschungsstand

2.1 Musikalische Struktur aus musikpsychologischer Perspektive

Aus musikpsychologischer Perspektive werden einzelne musikalische Elemente als auditorische Gestalten verstanden, die durch die Organisation akustischer Ereignisse zu zusammenhängenden auditorischen Ereigniseinheiten gebildet werden (Koelsch & Schröger, 2018). Die Bildung dieser auditorischen Gestalten basiert auf Gestaltgesetzen wie etwa Nähe und gute Fortsetzung, nach denen das Gehirn eingehende Sinnesdaten zu kohärenten Mustern zusammenfasst (Frieler, 2018). So werden beispielsweise Töne, die nahe beieinanderliegen, eher als zusammengehörig wahrgenommen, während längere Pausen eine trennende Wirkung ent-

¹ Vgl. hierzu das Kompetenzmodell „Musik wahrnehmen und kontextualisieren“ (Jordan (2014); Knigge (2011)), in dem das Wahrnehmen als zentrale Dimension berücksichtigt wird, jedoch nicht als eigenständiger, spezifisch auf Hörprozesse ausgerichtetes Kompetenzmodell ausgearbeitet ist.

² Unter musikalischer Ausbildung verstehen wir einen formalen musikalischen Unterricht sowie die bewusste und angeleitete Auseinandersetzung mit Musik (beispielsweise im Rahmen eines Instrumental- oder Vokalunterrichts), die insbesondere auch außerhalb des regulären Schulunterrichts stattfindet.

falten (Frieler, 2018). Unterschiede in der Verarbeitung dieser Gestaltgesetze konnten empirisch in Abhängigkeit vom individuellen Grad der musikalischen Ausbildung nachgewiesen werden. So zeigte sich beispielsweise anhand der Messung der Mismatch Negativity (MMN), dass Tonfolgen, die dem Gesetz der Nähe widersprechen, bei allen Proband:innen eine MMN auslösten, während Regelverstöße gegen das Gesetz der guten Fortsetzung lediglich bei Proband:innen mit einem hohen Grad an musikalischer Ausbildung eine entsprechende neuronale Reaktion im Sinne der MMN evozierten (van Zuijlen et al., 2004).

2.2 Prototypentheorie

Während sich Gestaltgesetze wie etwa Nähe und gute Fortsetzung auf die Organisation und Gruppierung sensorischer Daten in der Wahrnehmung konzentrieren, spielt bei der Wahrnehmung musikalischer Strukturen das Erkennen von Selbstähnlichkeit, also das Konstatieren identischer Merkmale eines Musikstücks, eine entscheidende Rolle. Zur Erklärung des Erkennens von Selbstähnlichkeiten kann die Prototypentheorie (de la Motte-Haber, 2005) herangezogen werden. Diese geht auf kognitionspsychologische Arbeiten von Rosch (Mervis & Rosch, 1981; Rosch & Lloyd, 1978; Rosch & Mervis, 1975) zurück und ersetzt klassische, merkmalsbasierte Kategorisierungsmodelle durch ein ähnlichkeitsbasiertes Kategorienverständnis, in dem Begriffe um typische Repräsentanten (sogenannte Prototypen) organisiert sind. In der Übertragung auf die musikalische Wahrnehmung beschreibt Deliège (2001b) musikalische Prototypen als auditive Referenzschemata, die sich im Hörprozess herausbilden und die Erkennung sowie die Strukturierung musikalischer Muster und formaler Zusammenhänge ermöglichen. So haben beispielsweise Studien im Bereich der Musik gezeigt, dass Individuen charakteristische musikalische Elemente wie etwa Rhythmen oder Melodien als prototypische mentale Repräsentationen speichern, die beim weiteren Hören als Vergleichs- und Erwartungsgrundlage dienen (Deliège, 2001a; Taher et al., 2018).

2.3 Predictive Coding

Darüber hinaus wird die zentrale Bedeutung bereits verinnerlichter Muster und Strukturen durch das Erklärungsmodell des Predictive Coding (Koelsch et al., 2019) hervorgehoben. Predictive Coding beschreibt, wie das Gehirn kontinuierlich Erwartungen zum Fortgang musikalischer Ereignisse

auf Basis zuvor erworbener Muster generiert und diese mit tatsächlichen sensorischen Eingaben abgleicht (Friston & Kiebel, 2009; Garrido et al., 2009). Dabei können diese Erwartungen sowohl einfache auditive Muster (z. B. Tonhöhenabfolgen) als auch komplexe Strukturen wie Phrasen oder Formen betreffen (Basiński et al., 2023). Mechanismen wie das Predictive Coding beruhen maßgeblich auf impliziten Lernprozessen, die durch wiederholte Exposition angestoßen werden (Rohrmeier & Rebuschat, 2012). Es handelt sich also um eine Form des statistischen Lernens, bei der Häufigkeiten von Ereignissen erkannt und verallgemeinert werden (Loui et al., 2010). Ein computergestütztes Modell, das diesen Prozess formal abbildet, ist das Information Dynamics of Music Model (IDyOM; Pearce, 2005, 2018), das mithilfe probabilistischer Lernmechanismen die Vorhersagbarkeit musikalischer Ereignisse und deren informationstheoretische Eigenschaften beschreibt. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass beim statistischen Lernen musikalische Sozialisationsprozesse und damit auch der kulturellen Prägung eine entscheidende Bedeutung zukommt. So fanden Nan et al. (2009) beispielsweise heraus, dass die Wahrnehmung von Phrasengrenzen innerhalb eines Musikstücks durch kulturelle Vertrautheit stark beeinflusst wird. Darüber hinaus ist aus musikpsychologischer Perspektive der Einfluss des individuellen Grads an musikalischer Ausbildung auf die Strukturverarbeitung vielfach belegt: Personen mit einem höheren musikalischen Ausbildungsgrad weisen sowohl im rhythmischen (van Zuijlen et al., 2005; Zhao et al., 2017) als auch im melodischen Bereich (Bonetti et al., 2022; Bonetti et al., 2024) differenziertere mentale Modelle auf, die zu präziseren Erwartungen und effizienterer Verarbeitung führen. Daher wird im Rahmen der vorliegenden Studie das Predictive-Coding-Modell als theoretischer Bezugsrahmen verstanden, um anhand der Identifikation frequenzbasierter Strukturen die Rolle wiederkehrender musikalischer Muster für die Wahrnehmung von Struktur zu kontextualisieren.

2.4 Arbeitsgedächtnis

In unterschiedlichen theoretischen Modellen der auditiven Strukturwahrnehmung wie der Prototypentheorie und dem Predictive Coding spielt das Arbeitsgedächtnis eine zentrale Rolle, da es den Vergleich neuer musikalischer Informationen mit gespeicherten Repräsentationen ermöglicht (Baddeley et al., 2020; Koelsch, 2011; Koelsch & Schröger, 2018). So zeigten Studien, dass der Grad der

musikalischen Ausbildung mit der Kapazität des auditiven Arbeitsgedächtnisses zusammenhängt (George & Coch, 2011; Saarikivi et al., 2019). Dabei wird diese Kapazität nicht allein von der Anzahl der gespeicherten Informationseinheiten bestimmt, sondern auch von deren Länge, die je nach musikalischem Ausbildungsgrad variiert (Cowan, 2001; Miller, 1956). Darüber hinaus wird die Kapazität stark von der Komplexität und Dauer der Informationen (Lehmann & Goldhahn, 2016; Lothwesen & Frieler, 2013; Payk, 2021) sowie von der Aufgabenstellung und der Aufmerksamkeit der Proband:innen beeinflusst (Asp et al., 2021; Morra et al., 2024).

2.5 Musikalische Struktur aus musiktheoretischer Perspektive

Aus musiktheoretischer Perspektive wird musikalische Struktur anhand von Formelementen wie Motiv, Phrase und Thema beschrieben (Dahlhaus, 2016). Das Motiv gilt dabei als das kleinste dieser Elemente (Drabkin, 2001; Schilling-Wang, 2016). Es fungiert als Keimzelle größerer musikalischer Strukturen (Marx, 2017; Schilling-Wang, 2016; Schönberg, 1979). Während Schönberg (1979) das Motiv als die Kombination von Intervall und Rhythmus definiert (Schönberg, 1979, S. 15), hebt Dahlhaus (2016) den melodischen Aspekt hervor. Des Weiteren beschreibt der Begriff der Form die übergeordnete Organisation musikalischen Materials (Kühn, 2016), wobei zentrale formbildende Prinzipien Wiederholung und Variation sind (Kühn, 2018): Wiederholung bezeichnet die Wiederkehr musikalischer Gedanken in identischer Form, wobei sie insbesondere für die Identifikation und Repräsentation musikalischer Motive zentral ist, da sie die Verankerung im Gedächtnis ermöglicht (Götte, 2020). Variation beinhaltet hingegen die modifizierte Wiederholung unter Beibehaltung wesentlicher Merkmale (Kühn, 2018). Zu den variablen Elementen zählen hierbei beispielsweise Rhythmus, Tempo, Dynamik und Instrumentierung (Fischer & Dress, 2016), aber auch Tonhöhe, Harmonik (Cambouropoulos, 2021; Schönberg, 1979) sowie melodische Verfahren wie Sequenzierung oder Spiegelung (Marx, 2017).

2.6 Integration der musikpsychologischen und -theoretischen Perspektive

Beim Vergleich der musikpsychologischen und -theoretischen Perspektiven wird deutlich, dass die Blickwinkel unterschiedlich sind: Während in der

Musikpsychologie Musik als Perzept, also als auditorisch verstanden wird, steht in der Musiktheorie die Suche nach Theorien im Mittelpunkt, um Analysen durchzuführen (Butler, 1997; Wolf, 2016). Dennoch zeigt sich im Vergleich eine relevante inhaltliche Schnittmenge. Für die Wahrnehmung musikalischer Strukturen betonen beide Perspektiven die zentrale Rolle von Wiederholung und Variation der Elemente, die in der Musikpsychologie als auditive Gestalten und in der Musiktheorie als Motive konzeptualisiert werden. Verschiedene (instrumental-) didaktische Ansätze wie beispielsweise die Rhythmusvermittlung im arabischen Kulturraum (Tümä, 2010), das Erlernen eines Instrumentes im 17./18. Jahrhundert (Ganassi, 2011; Hotteterre, 2011; Quantz, 1988) oder die Singklasse (Schneider & Schnitzer, 2012) tragen dieser Tatsache Rechnung, indem sie den Schwerpunkt auf das Erlernen eines sogenannten ‚musikalischen Basismaterials‘ legen. Unter musikalischem Basismaterial subsumieren wir zentrale Elemente der jeweiligen Musiktradition, wie charakteristische Tonfolgen oder rhythmische Muster, die innerhalb der jeweiligen (Musik-)Kultur eine besondere Bedeutung haben.

3. Ziel der Studie

Auf der Grundlage der Prototypentheorie (Deliège, 2001a; Taher et al., 2018) und des Predictive Coding (Friston & Kiebel, 2009; Garrido et al., 2009), die die Bedeutung auditiver mentaler Repräsentanten zur Erkennung musikalischer Strukturen hervorheben, sowie den Annahmen zum Arbeitsgedächtnis und dessen Kapazität war das Ziel der vorliegenden Studie, einerseits zu untersuchen, welche grundlegenden melodischen Elemente in Musikstücken und -werken des schulischen Musikunterrichts wie häufig vorkommen (Teilstudie 1); andererseits zu analysieren, ob die am häufigsten vorkommenden musikalischen Elemente als solche mittels einer Stichprobe unterschiedlicher Statusgruppen (Schüler:innen, Musikstudierende, Musiklehrkräfte und Hochschuldozierende) auch als solche wahrgenommen werden (Teilstudie 2).

Basierend auf den Prinzipien des statistischen Lernens (Loui et al., 2010), den Ergebnissen bisheriger Korpusforschung (Frieler et al., 2018) sowie der zentralen Rolle von Wiederholung und Variation musikalischer Elemente (Götte, 2020; Kühn, 2018; Rohrmeier & Rebuschat, 2012) nehmen wir an, dass bestimmte melodische Tonfolgen deutlich häufiger vorkommen als andere und dadurch potentiell eine wichtige Rolle für das Erkennen musikalischer

Strukturen spielen können (Teilstudie 1). Zudem gehen wir davon aus, dass Personen mit einem hohen Grad an musikalischer Ausbildung, verglichen mit Personen mit einem niedrigen Grad, die mittels Korpusanalyse identifizierten und am häufigsten vorkommenden melodischen Tonfolgen auch als solche wahrnehmen (Teilstudie 2).

Mithilfe einer Korpusanalyse untersuchten wir zunächst, welche Klassen an melodischen Tonfolgen in Musikstücken und -werken des schulischen Musikunterrichts an Gymnasien in Baden-Württemberg am häufigsten vorkommen und ob sich ein musikalisches Basismaterial an melodischen Tonfolgen identifizieren lässt, das einen wesentlichen Anteil (> 50 %) des zur Verfügung stehenden musikalischen Korpus abdeckt. Anschließend validierten wir mittels Cumulative Link Mixed Models (CLMM, deutsch: kumulatives Link-Mischmodell) die identifizierten melodischen Tonfolgen mit verschiedenen Statusgruppen, indem Personen mit unterschiedlichem Grad an musikalischer Ausbildung die wahrgenommene Häufigkeit der melodischen Tonfolgen einschätzten.

4. Teilstudie 1: Korpusanalyse

4.1 Methodisches Vorgehen

Korpusanalyse

Die musikalische Korpusforschung hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen (Neuwirth & Rohrmeier, 2016). Sie bezieht sich auf die Analyse großer, maschinenlesbarer Datenmengen und ermöglicht, unter Einbezug verschiedener Algorithmen, eine quantitative, präzise Überprüfung generalisierbarer Aussagen, wodurch sich unbekannte Regularitäten und Muster identifizieren lassen (Huron, 2013; Neuwirth & Rohrmeier, 2016). Die Aussagekraft entsprechender Analysen hängt jedoch in hohem Maße von der Qualität der zugrunde liegenden Ground-Truth-Daten ab (Balke et al., 2016). Dabei handelt es sich um präzise, häufig manuell erstellte oder verifizierte Informationen über Musikstücke oder -werke, die als Referenz für die Bewertung und Validierung korpusbasierter Analysen dienen. Musikalische Korpusforschung findet unter anderem Anwendung in der Groove-Forschung (Hosken et al., 2021; Senn, Bechtold et al., 2023; Senn, Hoesl et al., 2023) sowie beim

Aufbau von Datenbanken zu charakteristischen Licks in Jazzsoli (Frieler et al., 2018; Henry et al., 2024). Zudem zeigten Studien (Perotti & Billoni, 2020; Zanette, 2006), dass die Verteilungen in vielen musikalischen Korpora, ähnlich wie in sprachlichen Korpora, häufig einem Power-Law-Verhalten im Sinne des Zipfschen Gesetzes entsprechen (Clauset et al., 2009; Zipf, 1949). Charakteristisch hierfür ist, dass wenige Elemente einen großen Teil des Materials abdecken, während der überwiegende Anteil nur selten auftritt. Für die Analyse melodischer Strukturen bedeutet dies, dass eine kleine Anzahl von Tonfolgen einen Großteil des Korpus repräsentiert, wohingegen viele weitere Tonfolgen lediglich sporadisch vorkommen.

Soweit wir beurteilen können, wurde die Korpusanalyse als Verfahren bislang nicht in musikpädagogischen Kontexten angewandt, erscheint jedoch vor dem Forschungsstand und dem Ziel der vorliegenden Studie bzw. der Teilstudie 1 als geeignete Methode, um systematisch wiederkehrende Tonfolgen und deren Häufigkeitsverteilung innerhalb des zugrundeliegenden Korpus identifizieren zu können. Dadurch lassen sich Intervallmuster erfassen, die wiederum potenzielle Grundlage für Lern-, Gedächtnis- und Erwartungsprozesse zur Ausbildung mentaler Repräsentationen sein können.

Materialien

Der von uns für die Korpusanalyse verwendete Datensatz umfasste 309 Musikstücke und -werke des schulischen Musikunterrichts am Gymnasium in Baden-Württemberg, die dem Landesbildungsserver Baden-Württemberg (Baden-Württemberg Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung [ZSL], o. J.a), dem Server Lehrer:innenfortbildung (ZSL, o. J.b)³ und dem Schulbuch MusiX1 (Detterbeck & Schmidt-Oberländer, 2019) entnommen wurden. Neben den Werkvorschlägen des Landes Baden-Württemberg wurde das Schulbuch *MusiX 1* gezielt ausgewählt, da es eine auffallend stilistische und kulturelle Vielfalt aufweist. Eine vollständige Auflistung der im Korpus enthaltenen Musikstücke und -werke ist in Anhang A⁴ enthalten. Es zeigt sich, dass ein erheblicher Anteil der Werke dem 20. und 21. Jahrhundert zuzuordnen ist. Dies steht im Zusammenhang mit der erhöhten stilistischen Differenzierung dieser Zeiträume. Die Genrezuordnung ergibt eine Häufung in den Bereichen Klassik/

³ Hierbei handelt es sich um ergänzende Seiten zum Bildungsplan, da dieser selbst keine konkreten Stück- bzw. Werkvorschläge beinhaltet.

⁴ Alle Anhänge sind auf OSF hinterlegt: <https://osf.io/c98de/overview>

Filmmusik/Musical sowie populäre Musik. Der Großteil der Werke stammt aus Mittel-, Süd- und Westeuropa und weist überwiegend vokale Besetzungen auf. Die Einordnung in Epochen und Genres erfolgte in vereinfachter Form und kann im musikwissenschaftlichen Sinne nur als Annäherung verstanden werden. Verteilungsdiagramme der genannten Merkmale finden sich in [Anhang B](#).

Insgesamt wurden von uns 26 Musikstücke und -werke aus dem Korpus ausgeschlossen, da sie entweder ausschließlich als Hörbeispiele vorlagen oder sich nicht in die westliche Notenschrift übertragen ließen. Die Transkription der Musikstücke und -werke in das MusicXML-Format erfolgte durch den Export aus dem Notationsprogramm Musecore (Version 4.6.2, 2024).

Funktionsweise des Algorithmus und statistische Analyse

Die Funktionsweise des für die Korpusanalyse verwendeten Algorithmus⁵ basiert auf der Idee des Constrained String Mining Algorithm (CSMA) wie er von Benammar et al. (2017) vorgestellt wurde. Dieser stringbasierte Algorithmus ermöglicht es, auf Grundlage einer vorgegebenen Tonfolgenlänge und einer maximalen Lückenbeschränkung identische Tonfolgen in einer Melodie zu identifizieren. Die Lückenbeschränkung gibt an, in welchem Ausmaß Sprünge zwischen den Positionen der Elemente erlaubt sind. Darüber hinaus fasst der CSMA Tonfolgen, die sich durch Variationen wie Rhythmus, Sequenzierung oder melodische Transformationen (z. B. Krebs oder Umkehrung) unterscheiden, zu gemeinsamen Tonfolgeklassen im Sinne melodischer Prototypen zusammen. Da in der vorliegenden Studie der Fokus auf der Gestalt melodischer Tonfolgen lag und klar voneinander abgrenzbare Strukturen identifiziert werden sollten, erwies sich der CSMA als geeignetes Analyseinstrument.

Ursprünglich auf einstimmige Melodien ausgelegt, wurde der CSMA von uns für die Analyse mehrstimmiger Partituren angepasst. Durch diese Anpassung wurden alle Notenzeilen eines Systems separat eingelesen und gleichwertig behandelt, ohne zwischen ‚Melodiestimme‘ und ‚Begleitstimmen‘ zu unterscheiden. Unsere Entscheidung basierte auf der Annahme, dass die Melodieführung beispielsweise in sinfonischen Werken nicht durchgehend einem einzelnen Instrument zugewiesen ist. Zudem wird die Wahrnehmung einer Melodielinie maßgeblich durch top-down-gesteuerte Einflüsse

im Wahrnehmungsprozess beeinflusst und ist somit von den Erfahrungen mit der musikalischen Umwelt und deren Interpretationen abhängig, also auch vom individuellen Grad der musikalischen Ausbildung (Frieler, 2018). Zudem wurde bei Akkorden nur der höchste Ton berücksichtigt, da dieser in der auditiven Wahrnehmung häufig am deutlichsten hervortritt (Fastl & Zwicker, 2007). Diese Annahme überprüften wir im Rahmen von Sensitivitätsanalysen, für die wir zusätzliche Korpusanalysen durchführten, bei denen entweder ausschließlich der tiefste Ton eines Akkords berücksichtigt oder Mehrklänge vollständig ausgeschlossen wurden.

Um Tonfolgestrukturen unabhängig von Tonarten zu erhalten, wurden in einem weiteren Schritt die Versetzungszeichen entfernt. Anschließend wurden diatonische Intervalle aus den Tonhöheninformationen berechnet (z. B. 1 = Prime, 2 = Sekunde aufwärts, -2 Sekunde abwärts usw.) und mittels des CSMA identische Tonfolgen identifiziert. Dabei wurde die Lückenbeschränkung auf 0 gesetzt, um zusammenhängende Tonfolgen ohne Unterbrechungen zu generieren. Außerdem wurden Tonfolgen, die Pausen enthalten, ausgeschlossen, da Pausen häufig das Ende musikalischer Phrasen markieren (Finscher, 2016). Der potenzielle Nachteil, dass strukturell relevante Tonfolgen über Pausengrenzen hinweg nicht erfasst werden, wurde von uns als weniger gravierend eingestuft als das Risiko, nicht zusammenhängende Tonfolgen fälschlicherweise zu identifizieren. Diese Annahme wurde im Rahmen einer weiterführenden Sensitivitätsanalyse überprüft, indem eine Korpusanalyse durchgeführt wurde, bei der alle Pausen, die kürzer oder gleich lang wie eine Achtelpause waren, ausgeschlossen wurden.

In einem finalen Schritt wurde schließlich geprüft, ob erkannte Tonfolgen bereits als Spiegelungen (Krebs), Invertierungen (Umkehrung) oder gespiegelte Invertierungen (Krebsumkehrung) vorkamen. Diese melodischen Variationen wurden zu Klassen zusammengefasst, wobei die am häufigsten vorkommenden Tonfolgen als Repräsentanten der jeweiligen Tonfolgeklassen dienten (siehe Abbildungen 1 und 2). Auch wenn die Zusammenfassung dieser melodischen Variationen die Häufigkeitsverteilung der Tonfolgen beeinflusst, erscheint sie aus musikpädagogischer Sicht gerechtfertigt, da diese Variationsformen im schulischen Musikunterricht als wertvolles Mittel zur Erweite-

⁵ Der genaue Code kann unter folgendem Link eingesehen werden: <https://github.com/Jonas-Kellerer/motivsearch>

rung und Differenzierung von Übesequenzen dienen könnten.

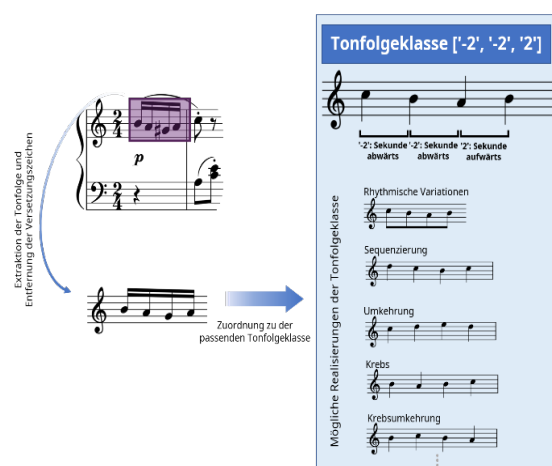


Abbildung 1: Darstellung der Funktionsweise des Algorithmus und seiner Zuordnung zu einer Tonfolgeklasse. Veranschaulicht am Beginn von Mozarts *Alla Turca. Allegretto* aus der Sonate Nr. 11 in A-Dur (KV 331).

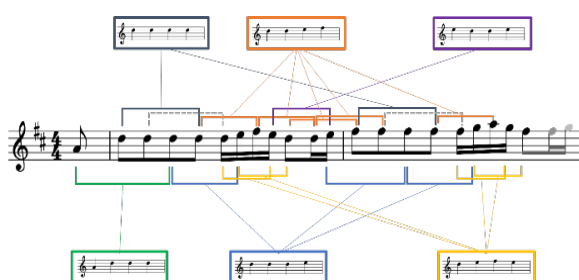


Abbildung 2: Darstellung der Zählweise des Algorithmus. Die Abbildung zeigt am Beispiel des Beginns von *La Réjouissance* aus Händels *Feuerwerksmusik* (HWV 351), welche Tonfolgen aus einem Musikstück extrahiert und den jeweiligen Tonfolgeklassen zugeordnet werden. Die Tonfolgeklasse [4, 1, 1] (grün) wird dabei einmal gezählt, während die Tonfolgeklasse [1, 1, 2] (blau) dreimal auftritt – beim zweiten Auftreten in Krebsumkehrung und beim dritten als Sequenz. Die Tonfolge [1, 1, 1] wird hingegen nur zweimal berücksichtigt, da bei der durch gestrichelte Klammern markierten Stelle der Überlappungsanteil zu hoch ist.

Mit diesem Vorgehen konnten wir schließlich eine Liste an Tonfolgeklassen (Trigramme) sowie deren Positionen in den einzelnen Musikstücken und -werken bestimmen.⁶ Auf der Basis der Positionsdaten wurde die Häufigkeit jeder Tonfolge unter der Bedingung ermittelt, dass sich diese maximal in einem Ton überlappen. Dadurch wurde

sichergestellt, dass in Tonleiterfiguren, Tonrepetitionen oder Pendelbewegungen die gleiche Tonfolge nicht mehrmals gezählt wird (siehe Abbildung 3). Auch diese Bedingung wurde im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse überprüft, indem Tonfolgen mit Ausschluss der Überlappungen mit jenen ohne Ausschluss der Überlappungen verglichen wurden. Zur Bestimmung der Sensitivität der geplanten Korpusanalyse untersuchten wir die Zusammenhänge zwischen den Häufigkeiten der im Rahmen dieser Analyse identifizierten Tonfolgen und den Häufigkeiten von Tonfolgen, die auf Basis ergänzender alternativer Analysen ermittelt wurden. Hierzu wurden sowohl der Pearson-Korrelationskoeffizient als auch der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient berechnet.

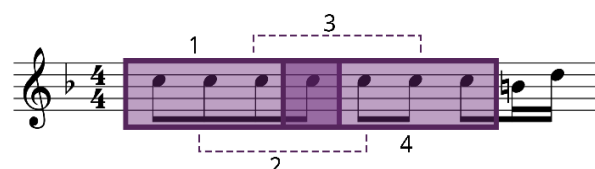


Abbildung 3: Darstellung der Zählweise bei überlappenden Tonfolgen am Beispiel von *An Mälzel* von Ludwig van Beethoven (WoO 162). Tritt dieselbe Tonfolge mehrfach hintereinander auf, werden in der Zählung nur jene Tonfolgen berücksichtigt, die sich in maximal einem Ton überschneiden (hier: Tonfolgen 1 und 4).

Anschließend wurde die absolute Häufigkeit der Tonfolgeklassen i in Stück bzw. Werk j ($|T_{i,j}|$) sowie die absolute Häufigkeit einer Tonfolgeklasse über alle Stücke bzw. Werke hinweg (beispielsweise für Motivklasse a: $\sum_{j=1} |T_{a,j}|$) berechnet. Zur Verringerung von Verzerrungen durch längere Musikstücke oder -werke mit hoher Wiederholungsfrequenz wurde zusätzlich die relative Häufigkeit einer Tonfolgeklasse mit

$$\left(\sum_{j=1} \frac{|T_{i,j}|}{\sum_{i=1} |T_{i,j}|} \right) \cdot \frac{1}{n},$$

berechnet, wobei n die Anzahl der Stücke bzw. Werke bezeichnet. Darüber hinaus wurde die Anzahl der Musikstücke und -werke berechnet, in denen die Tonfolgeklasse i vorkommt (n_{T_i}) (werkbasiert). Um die Beziehung zwischen der Länge eines Musikstücks bzw. -werks gemessen an der Anzahl der enthaltenen Motivklassen und der Anzahl unterschiedlicher Tonfolgeklassen innerhalb eines Musikstücks bzw. -werks untersuchen zu können, wurde zusätzlich der Pearson-Korrelationskoeffizient ermittelt.

⁶ Eine detaillierte Dokumentation des zugrunde liegenden Codes ist auf GitHub verfügbar (Zarzalis, 2024).

Vor dem Hintergrund der uneinheitlichen Studienlage zur Kapazität des auditiven Arbeitsgedächtnisses (Asp et al., 2021; Cowan, 2001; Glaser, 2019; Miller, 1956; Morra et al., 2024) sowie des vermuteten geringeren Grads an musikalischer Ausbildung der Statusgruppe Schüler:innen, der verglichen zu den anderen Statusgruppen u.a. durch das geringere Alter und damit auch durch unterschiedlich lange schulische und außerschulische musikalische Ausbildung wie etwa Instrumentalunterricht bedingt ist, wurde die Analyseeinheit auf Tonfolgen bestehend aus vier Tönen, sogenannte Vierton-Tonfolgen, begrenzt. Dies hat den Vorteil, dass die geringe Anzahl an Intervallen die Wahrscheinlichkeit für die Kombination kleiner Intervalle reduziert.

Obwohl Rhythmus zweifellos ein zentrales Element der Melodiewahrnehmung ist, entschieden wir uns, im Rahmen der vorliegenden Studie ausschließlich mit isochronen Tonfolgen zu arbeiten. Diese Entscheidung beruht zum einen auf der Annahme, dass Rhythmus als eine Form der Variation innerhalb eines melodischen Prototyps interpretiert werden kann; zum anderen auf dem derzeitigen Forschungsdefizit hinsichtlich der neuronalen Interaktion zwischen Rhythmus und Melodie (Baśiński et al., 2023).

4.2 Ergebnisse

Im Rahmen der Korpusanalyse wurden insgesamt 2.759 unterschiedliche Vierton-Tonfolgeklassen identifiziert. Zur Beschreibung der Verteilung wurden zentrale Lage- und Streuungsmaße berechnet (Tabelle 1). Im Mittel enthielten die Musikstücke bzw. -werke etwa 1,096 Tonfolgen ($SD = 2,337$) und 106 Tonfolgeklassen ($SD = 133$). Die deutliche Schiefe (Tonfolgen = 3.96; Tonfolgeklassen = 2.50) und hohe Wölbung (17.85 bzw. 8.70) verweisen auf eine stark rechtsschiefe Verteilung. Die Sensitivitätsanalysen ergaben eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen den ursprünglichen Ergebnissen und allen alternativen Analysevarianten (Tabelle 2). Die Pearson-Korrelationen lagen zwischen $r = .96$ ($p < .001$) und $r = .99$ ($p < .001$), die Spearman-Rangkorrelationen zwischen $\rho = .86$ ($p < .001$) und $\rho = .99$ ($p < .001$).

Abbildungen 4 und 5 (siehe S. 10) veranschaulichen darüber hinaus die Häufigkeitsverteilung der 20 häufigsten Tonfolgeklassen. Unabhängig von der jeweils betrachteten Häufigkeitsart (absolut, relativ oder werkbasiert) zeigte sich eine hohe Über-

einstimmung der zehn am häufigsten vorkommenden Tonfolgen mit Ausnahme der Tonfolgeklasse $[-2, 2, -2]$, deren Rangposition abweicht. Mit zunehmender Platzierung divergierten die Rangordnungen jedoch in Abhängigkeit der verwendeten Häufigkeitsmaßstäbe. Der Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen der Länge eines Musikstücks bzw. -werkes und der Anzahl der Tonfolgeklassen betrug $r = .78$ ($p < .001$).

Tabelle 1: Deskriptive Kennwerte wie arithmetisches Mittel (M) und Standardabweichung (SD) für die Anzahl der Tonfolgen und Tonfolgeklassen pro Stück

Kennwert	Tonfolgen / Stück	Tonfolgeklassen / Stück
M	1,095.52	105.53
SD	2,336.74	132.84
Median	214	43
Interquartilsabstand (IQR)	919	122
Median Absolute Deviation (MAD)	187	31
Schiefe (Skewness)	3.96	2.50
Wölbung (Kurtosis)	17.85	8.70

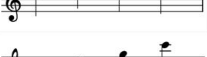
Anmerkung. Alle Kennwerte basieren auf den Stückmittelwerten. Die hohen Werte für Schiefe und Wölbung zeigen eine stark rechtsschiefe, spitzgipflige Verteilung. Daher werden ergänzend robuste Kennwerte (Median, IQR, MAD) berichtet.

Tabelle 2: Pearson- und Spearman-Korrelationen zwischen den Ergebnissen der beabsichtigten Korpusanalyse mit dem ursprünglichen Code und alternativen Korpusanalysen zur Bestimmung der Sensitivität (Zusammenhang zwischen beabsichtigter Korpusanalyse und der jeweiligen alternativen Korpusanalyse)

Analysevariante	Pearson's r	Spearman's ρ
Alternative Korpusanalyse 1 (Tonfolgen auch über Achtel- und kürzere Pausen hinweg)	.99	.98
Alternative Korpusanalyse 2 (Akkordreduktion auf tiefste Note)	.99	.88
Alternative Korpusanalyse 3 (Ausschluss von Akkordtönen)	.99	.86
Alternative Korpusanalyse 4 (Zulassung von beliebigen Überlappungen)	.96	.99

Anmerkung. Für alle Korrelationskoeffizienten gilt $p < .001$

Tabelle 3: Die 20 im Korpus am häufigsten vorkommenden Tonfolgeklassen basierend auf der beabsichtigten Korpusanalyse.

Rang	Absolute Häufigkeit		Relative Häufigkeit	Stückbasiert
1	['1', '1', '1']		['-2', '-2', '2']	['1', '-2', '-2']
2	['-2', '-2', '2']		['1', '1', '1']	['1', '1', '-2']
3	['-2', '-2', '-2']		['1', '1', '-2']	['-2', '-2', '2']
4	['1', '1', '-2']		['-2', '-2', '-2']	['-2', '-2', '-2']
5	['2', '2', '-3']		['1', '-2', '-2']	['1', '-2', '2']
6	['1', '-2', '-2']		['2', '2', '-3']	['1', '1', '1']
7	['-2', '2', '-2']		['1', '-2', '1']	['2', '2', '-3']
8	['1', '-2', '2']		['1', '-2', '2']	['1', '-2', '1']
9	['1', '-2', '1']		['-2', '2', '-2']	['-2', '1', '-2']
10	['-2', '1', '-2']		['1', '1', '-3']	['1', '1', '-3']
11	['-2', '1', '2']		['-2', '1', '-2']	['-2', '-2', '-3']
12	['1', '1', '-3']		['-2', '-2', '-3']	['-2', '1', '2']
13	['2', '-3', '2']		['-2', '1', '2']	['-2', '2', '-2']
14	['-2', '-2', '-3']		['1', '1', '4']	['1', '1', '4']
15	['1', '1', '4']		['-2', '2', '-3']	['-2', '2', '-3']
16	['-2', '2', '-3']		['-3', '-2', '2']	['-3', '-2', '2']
17	['4', '-2', '-2']		['2', '-3', '2']	['2', '-3', '1']
18	['3', '3', '4']		['4', '-2', '-2']	['2', '-3', '-2']
19	['2', '-3', '-2']		['2', '-3', '1']	['1', '2', '-3']
20	['3', '-3', '-3']		['2', '-3', '-2']	['4', '-2', '-2']

Anmerkung. Absolute Häufigkeit bezeichnet die Gesamtanzahl des Auftretens einer Tonfolgeklasse im gesamten Korpus. Relative Häufigkeit gibt deren durchschnittliches Vorkommen pro Werk an. Stückbasiert weist aus, in wie vielen Werken eine bestimmte Tonfolgeklasse jeweils vorkommt.

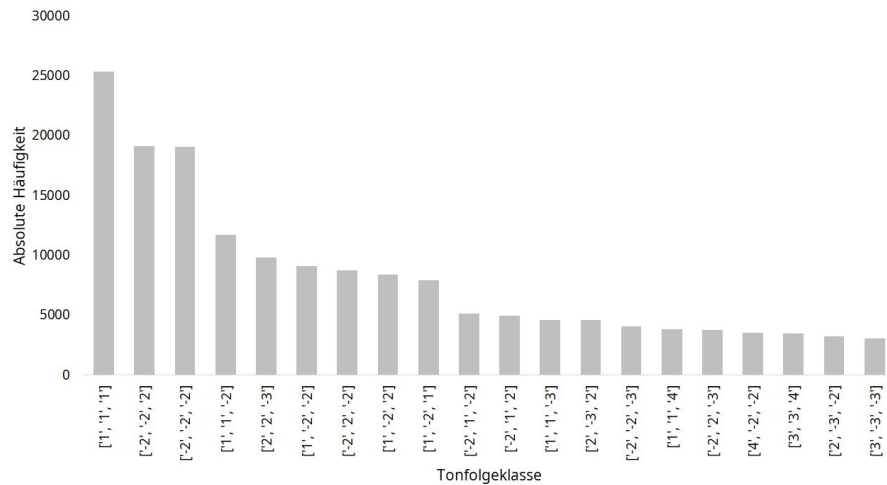


Abbildung 4: Absolute Häufigkeit der Tonfolgeklassen. Sortierung nach ihrer absoluten Häufigkeit über alle analysierten Stücke.

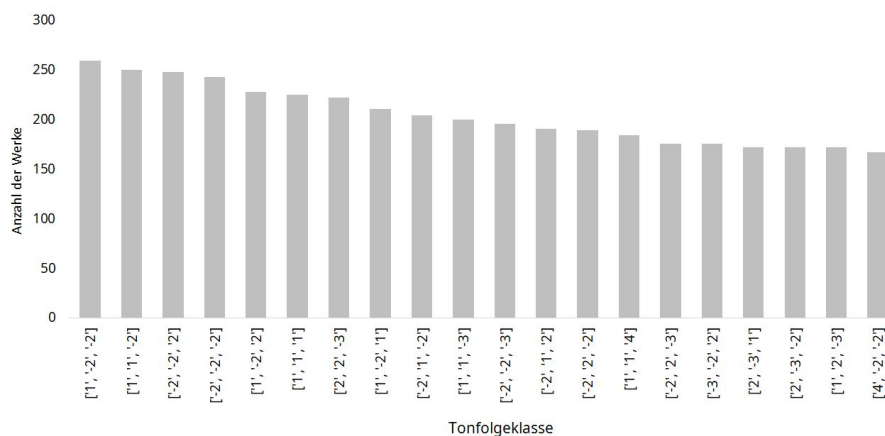


Abbildung 5: Vorkommenshäufigkeit der Tonfolgeklassen in den Stücken. Sortierung nach der Anzahl der Werke, in denen die Tonfolgeklassen vorkommen.

4.3 Diskussion

Die stark rechtsschiefen Verteilungen weisen auf eine ungleiche Verteilung von Tonfolgen und Tonfolgeklassen hin, bei der wenige Stücke bzw. Werke besonders viele Tonfolgeklassen beinhalten. Die durchgehend hohen Pearson- und Spearman-Korrelationskoeffizienten im Rahmen der Sensitivitätsanalysen bestätigen, dass unterschiedliche Annahmen bei der Kodierung, etwa der Umgang mit Pausen, die Auswahl dominanter Akkordtöne oder das Filtern von Überlappungen, keinen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis der von uns beabsichtigten Koprusanalyse haben.

Ein Unterschied zeigt sich in der Form der Abnahme der Werte: Während die Verteilungen der

absoluten und relativen Häufigkeit einem Power-Law-Verhalten im Sinne des Zipf'schen Gesetzes folgt (Clauset et al., 2009; Zipf, 1949), was sich auch daran zeigt, dass die ersten 20 Tonfolgeklassen etwa 52 % des gesamten Tonmaterials ausmachen (davon entfallen über 38 % auf die ersten zehn Tonfolgen), weist die werkbasierte Häufigkeitsverteilung einen eher linearen Verlauf auf. Dies kann darauf hindeuten, dass Tonfolgeklassen unabhängig von ihrer Gesamtverwendung in einer vergleichbaren Anzahl von Stücken bzw. Werken auftreten.

Dies zeigt auch der hohe Korrelationskoeffizient zwischen der Länge eines Musikstücks bzw. -werkes und der Anzahl der Tonfolgeklassen auf. Daraus lässt sich schließen, dass der Einfluss längerer Musikstücke bzw. -werke auf die Häufigkeit

einzelner Tonfolgeklassen gering ist, da mit steigender Stück- bzw. Werklänge auch die Anzahl unterschiedlicher Tonfolgeklassen steigt.

5. Teilstudie 2: Validierung der identifizierten Vierton-Tonfolgen aus der Korpusanalyse

5.1 Methodisches Vorgehen

Stichprobe

Die Rekrutierung der insgesamt $N = 132$ Studienteilnehmer:innen aus den Statusgruppen Schüler:innen, Musikstudierende, Musiklehrkräfte und Hochschuldozierende basierte vor allem auf persönlichen Kontakten, weshalb es sich um eine nicht zufällige Gelegenheitsstichprobe handelt. Dabei setzt sich die Stichprobe zum einen aus 37 Neuntklässler:innen eines Gymnasiums in Baden-Württemberg mit einer Altersspanne von 14 bis 16 Jahren ($M = 14.30$, $SD = 0.52$) zusammen (18 männlich) von denen 14 Schüler:innen angaben, ein Instrument (einschließlich Gesang) zu spielen. Zum anderen beinhaltete die Stichprobe 38 Studierende des Faches Musik (13 männlich) im Alter zwischen 18 und 29 Jahre ($M = 21.87$, $SD = 2.76$), die im zweiten bis 14. Fachsemester ($M = 5.13$, $SD = 4.09$) in den Studiengängen Lehramt für Primarstufe ($n = 11$), Sekundarstufe 1 ($n = 1$), Sekundarstufe 1/2 ($n = 20$) sowie künstlerische Studiengänge an einer Musikhochschule ($n = 6$) studierten. Darüber hinaus gaben die 41 (17 männlich) Musiklehrkräfte an, zum Zeitpunkt der Studie zwischen 26 und 64 Jahren alt zu sein ($M = 40.88$, $SD = 9.95$) und zwischen ein bis 34 Dienstjahren ($M = 11.20$, $SD = 8.78$) an einem Gymnasium unterrichtet zu haben. Schließlich wies die aus 16 (9 männlich) Hochschuldozierenden bestehende Teilstichprobe eine Altersspanne zwischen 32 und 57 Jahren auf ($M = 42.19$, $SD = 8.49$), wobei die Hochschuldozierenden an Musikhochschulen ($n = 9$), Universitäten ($n = 4$) und/oder Pädagogischen Hochschulen ($n = 3$) die Fächer Musikpädagogik ($n = 4$), Musikwissenschaften ($n = 6$) und/oder Musiktheorie ($n = 6$) unterrichteten.

Erhebungsinstrumente

Die verwendeten Stimuli (Vierton-Tonfolgen) stammten aus den Ergebnissen der Korpusanalyse (Teilstudie 1). Es wurden die ersten zehn Tonfolgeklassen, die Klassen auf den Plätzen 16 bis 20 sowie fünf zufällig ausgewählte Klassen aus den Plätzen 50 bis 150 ausgewählt (90 [-2, -2, 7], 97 [1, 6, -2], 103

[-2, -5, 1], 121 [4, -6, 3] und 140 [-2, 3, -6]). Die Häufigkeitssortierung entsprach dabei dem Vorkommen der Tonfolgeklassen, wie diese nach der Anzahl der Stücke bzw. Werke auftraten (werkbasiert). Diese Auswahl erfolgte vor dem Hintergrund des unterrichtlichen Kontexts, in dem Musikstücke bzw. -werke aufgrund der zeitlichen Einschränkung oftmals nur in Ausschnitten, dafür jedoch häufig mehrere im Vergleich erklingen. Um Reiheneffekte zu vermeiden, wurden die Stimuli in jedem Fragebogen zufällig angeordnet. Die Teilnehmenden konnten dabei die Vierton-Tonfolgen sowohl als Notenbild sehen als auch entsprechend anhören.

Die Online-Befragung wurde in Bezug auf Anrede, Erhebung und der demografischen Daten an die jeweilige Statusgruppe angepasst. Neben Angaben zu Alter, Geschlecht, Muttersprache, Hörbeeinträchtigungen und absolutem Gehör wurden Schüler:innen zusätzlich nach ihrer Klassenstufe und der Musiknote im letzten Zeugnis gefragt. Die Musikstudierenden gaben Auskunft über ihren Studiengang und ihr Fachsemester. Musiklehrkräfte sollten die Anzahl der Dienstjahre und die unterrichtete Schulform berichten. Hochschuldozierende wurden nach ihrer Lehrtätigkeit und der Art der Hochschule, an der sie zum Zeitpunkt der Studie unterrichteten, befragt. Bis auf die Abfrage der Musiknote und des Instruments bei den Schüler:innen wurden die demografischen Daten vor der Einschätzung der Häufigkeit der einzelnen Tonfolgeklassen erhoben.

Zur Einführung in die Häufigkeitsbewertung wurde eine Instruktion präsentiert (Anhang C), die die unterschiedliche Vorkommenshäufigkeit von Wörtern in der Sprache mit der von Tonfolgen in der Musik vergleicht. Die Teilnehmenden sollten anschließend die Aussage „Die Tonfolge wird sehr häufig in Kompositionen verwendet“ für jeden Repräsentanten der jeweiligen Tonfolgeklassen auf einer vierstufigen Likert-Skala bewerten. Die Antwortmöglichkeiten wurden in numerische Werte mit (1) „trifft nicht zu“, (2) „trifft eher nicht zu“, (3) „trifft eher zu“ und (4) „trifft zu“ kodiert.

Datenerhebung

Die Datenerhebungen fanden im schulischen Musikunterricht (Schüler:innen), in universitären Lehrveranstaltungen (Musikstudierende) oder privat am eigenen Endgerät (Musikstudierende, Musiklehrkräfte, Hochschuldozierende) statt, erstreckten sich von Oktober bis Dezember 2025 und erfolgten mithilfe von SoSci-Survey (Version 3.5.02; Leiner, 2024). Sie wurden zudem unter Einhaltung der

ethischen Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis sowie der Bestimmungen der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) durchgeführt. Alle Teilnehmenden wurden vorab über das Ziel, den Ablauf und den Umfang der Online-Befragung informiert. Bei minderjährigen Schüler:innen erfolgte die Aufklärung über einen Brief an die Erziehungsberechtigten; die Teilnahme setzte sowohl das schriftliche Einverständnis der Erziehungsberechtigten als auch das Einverständnis der Schüler:innen selbst voraus. Alle erhobenen Daten wurden anonymisiert erfasst, verarbeitet und ausschließlich zu Forschungszwecken verwendet.

Statistische Analyse

Zur Datenanalyse wurde die Statistiksoftware R (Version 4.5.2; R Core Team, 2025) verwendet. Die statistischen Auswertungen umfassten sowohl deskriptive Kennwerte wie Median und Interquartilsabstand (IQR) als auch inferenzstatistische Verfahren.

Zur Beurteilung der Übereinstimmung der Häufigkeitseinschätzungen zwischen den Teilnehmenden wurden zwei Maße der Interrater-Reliabilität berechnet: Zunächst wurde die Intraklassenkorrelation (ICC) auf Basis eines Zwei-Wege-Zufallseffektmodells mit absoluter Übereinstimmung bestimmt, wobei die Tonfolgen als Beurteilungsobjekte (Targets) definiert wurden. Berichtet werden sowohl die ICC(2,1) für Einzeleinschätzungen als auch die ICC(2,k) für Mittelwerte über die Teilnehmenden hinweg (Liddell & Kruschke, 2018; Shrout & Fleiss, 1979). Die Berechnungen wurden mithilfe des R Packages irr (Gamer et al., 2019) durchgeführt.

Zur Analyse der ordinalskalierten Häufigkeitseinschätzungen wurde ein kumulatives Link-Mischmodell (CLMM) mit Logit-Linkfunktion mit dem R Package ordinal (Christensen, 2023) geschätzt. Als feste Effekte gingen die Tonfolgeklassen-kategorie in vier Stufen (Tonfolgen der Plätze 1–5 (TF 01-05), 6–10 (TF 06-10), 16–20 (TF 16-20) sowie zufällig ausgewählte Plätze zwischen 50 und 150 (TF über 50)), die Statusgruppe (Schüler:innen, Musikstudierende, Musiklehrkräfte, Hochschuldozierende) sowie deren Interaktion (Tonfolgeklassen-kategorie $\times$ Statusgruppe) in das Modell ein. Zur Kontrolle der Abhängigkeit der Beobachtungen wurden zufällige Interzepte für Teilnehmende und

Tonfolgen spezifiziert. Zur Interpretation der Effekte wurden modellbasierte geschätzte marginale Mittelwerte der Häufigkeitseinschätzungen auf der latenten Skala des Modells berechnet und grafisch dargestellt. Zusätzlich wurden zur Beurteilung der Modellgüte ein marginales und ein konditionales Pseudo- R^2 bestimmt. Die Varianzkomponenten der zufälligen Effekte wurden zur Quantifizierung der interindividuellen sowie der itembezogenen Varianz berichtet.

Zur gezielten Überprüfung von Unterschieden zwischen den Statusgruppen wurden a priori definierte lineare Trendkontraste berechnet. Darüber hinaus wurden paarweise Post-hoc-Vergleiche der geschätzten marginalen Mittelwerte durchgeführt, um Unterschiede zwischen den Statusgruppen innerhalb der einzelnen Tonfolgeklassen-kategorie sowie Unterschiede zwischen Tonfolgeklassen-kategorie innerhalb der Statusgruppen zu untersuchen. Dies erfolgte mit dem R Package emmeans (Lenth & Piaskowski, 2025). Für die Post-hoc-Vergleiche wurden zusätzlich approximierte Effektstärken (Cohen's d auf der latenten Skala des Modells; Chinn, 2000)⁷ berechnet und berichtet.

5.2 Ergebnisse

Im Hinblick auf die Übereinstimmung der Häufigkeitseinschätzungen zeigten sich für die ICC[2,1] in allen Statusgruppen niedrige Werte. Hingegen wies die ICC[2,k] durchgängig mittlere bis hohe Werte auf. Besonders hohe Übereinstimmungen ergaben sich dabei für die Statusgruppe der Musiklehrkräfte (Tabelle 4).

Die Ergebnisse des CLMM zeigten signifikante Haupteffekte der Tonfolgeklassen-kategorie und der Statusgruppe sowie eine signifikante Interaktion zwischen Tonfolgeklassen-kategorie und Statusgruppe. Abbildung 6 (siehe S. 14) visualisiert die modellbasierten geschätzten marginalen Mittelwerte der Häufigkeitseinschätzungen auf einer latenten Skala des Modells getrennt nach Tonfolgeklassen-kategorie und Statusgruppe. Ergänzende deskriptive Kennwerte der beobachteten Bewertungen sind in [Anhang D](#) dargestellt. Die vollständigen Schätzungen der festen Effekte sind Tabelle 5 zu entnehmen. Für das Modell ergaben sich ein marginales Pseudo- R^2 von 0.33 sowie ein konditionales Pseudo- R^2 von 0.37. Die geschätzten Vari-

⁷ Die Umrechnung des Log-Odds-Koeffizienten (β) in die approximierte Effektstärke Cohen's d erfolgte nach der von Chinn (2000) vorgeschlagenen Methode: $d \approx \frac{\beta}{\pi/\sqrt{3}}$.

Diese Formel basiert auf der Annahme einer zugrunde liegenden latenten Variable mit einer logistischen Verteilung, deren Standardabweichung approximativ $\pi/\sqrt{3}$ beträgt (Agresti 2010).

anzkomponenten der zufälligen Effekte betrugen 0.11 ($SD = 0.33$) für Personen und 0.10 ($SD = 0.32$) für Tonfolgen.

Tabelle 4: Interrater-Übereinstimmung der Häufigkeitseinschätzungen nach Statusgruppen

Statusgruppe	ICC(2,1)	ICC(2,k)
Dozierende	.15 [.06; .31]	.73 [.52; .88]
Lehrkräfte	.47 [.33; .66]	.97 [.95; .99]
Studierende	.22 [.13; .39]	.92 [.86; .96]
Schüler*innen	.05 [.02; .13]	.69 [.43; .84]
Gesamt	.17 [.10; .30]	.96 [.94; .98]

Anmerkung. ICC = Interklassenkorrelation (Zwei-Wege-Zufallseffekte, absolute Übereinstimmung).

Tabelle 5: Lineare Trendkontraste über die geordneten Statusgruppen für jede Tonfolgenkategorie

Tonfolgenklassenkategorie	Linearer Trend (Estimate)	SE	z	95 %-KI
TF 01-05	4.20	0.91	4.61***	[2.41; 5.98]
TF 06-10	3.22	0.82	3.93***	[1.62; 4.83]
TF 16-20	-3.78	0.78	-4.86***	[-5.30; -2.25]
TF über 50	-8.60	0.97	-8.83***	[-10.51; -6.69]

Anmerkung. Berichtet sind a-priori definierte lineare Trendkontraste über die geordneten Statusgruppen (Schüler*innen → Studierende → Lehrkräfte → Dozierende) auf der latenten Skala des kumulativen Link-Mischmodells. *** $p < .001$.

Über alle Tonfolgeklassenkategorien hinweg zeigten sich lineare Trends in den geschätzten marginalen Mittelwerten auf der latenten Skala. Die Richtung dieser Trends variierte in Abhängigkeit von der Tonfolgeklassenkategorie: Für die Kategorien TF 01-05 und TF 06-10 ergaben sich positive lineare Trends, während für TF 16-20 und TF über 50 negative lineare Trends beobachtet wurden (Tabelle 6, siehe S. 14).

Paarweise Vergleiche der Statusgruppen (Anhang E) innerhalb der einzelnen Tonfolgeklassenkategorie zeigten signifikante Unterschiede zwischen Schüler:innen und den übrigen Statusgruppen (Musikstudierende, Musiklehrkräfte und Hochschuldozierende), während sich die Unterschiede zwischen Musikstudierenden, Musiklehrkräften und Hochschuldozierenden überwiegend als nicht signifikant erwiesen. Die entsprechenden Effekt-

stärken nach Cohen (1988) lagen für die Vergleiche mit Schüler:innen überwiegend im mittleren bis großen Bereich (approximiertes Cohen's $d \approx 0.5$ –1.5), während die nicht signifikanten Unterschiede zwischen den übrigen Statusgruppen durchgehend mit kleinen Effektstärken ($|d| < 0.3$) einhergingen. Innerhalb der Statusgruppen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kategorien TF 01-05 und TF 06-10. Musiklehrkräfte und Hochschuldozierende wiesen darüber hinaus signifikante Unterschiede zwischen allen weiteren Tonfolgeklassenkategorien (TF 16-20 und TF über 50) auf ($p < .01$), die mit überwiegend mittleren bis großen Effektstärken verbunden waren. Bei den Musikstudierenden traten signifikante Unterschiede ausschließlich zwischen der Tonfolgeklassenkategorie TF über 50 und allen übrigen Kategorien (TF 01-05, TF 06-10 und TF 16-20) auf, ebenfalls mit mittleren Effektstärken, während zwischen den übrigen Kategorien keine bedeutsamen Effekte beobachtet wurden. Für die Schüler:innen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tonfolgeklassenkategorien; entsprechend fielen die Effektstärken durchweg klein aus.

5.3 Diskussion

Die Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen zeigen eine geringe Übereinstimmung der Häufigkeitseinschätzungen auf der Ebene einzelner Einschätzungen, wie sie sich in niedrigen Intraklassenkorrelationswerten für Einzeleinschätzungen (ICC[2,1]) widerspiegeln. Demgegenüber weisen die ICC-Werte für aggregierte Urteile (ICC[2,k]) darauf hin, dass sich durch die Zusammenfassung mehrerer Beurteilungen stabile Einschätzungen auf der Ebene der Statusgruppen ergeben. Die signifikanten Haupteffekte der Tonfolgeklassenkategorie und der Statusgruppe sowie deren Interaktion im CLMM sprechen dafür, dass Häufigkeitseinschätzungen sowohl mit der Häufigkeit der Tonfolgen im Korpus als auch mit dem Grad an musikalischer Ausbildung (Statusgruppen) variieren. Der Unterschied zwischen marginalem und konditionalem Pseudo- R^2 ist vergleichsweise gering, was darauf hindeutet, dass die zufälligen Effekte für Personen und Tonfolgen einen begrenzten zusätzlichen Beitrag zur erklärten Varianz auf der latenten Skala leisten. Die linearen Trendanalysen liefern darüber hinaus Hinweise auf eine systematische Veränderung der Häufigkeitseinschätzungen, die sowohl mit der Häufigkeit der Tonfolgen im Korpus als auch mit dem Grad an musikalischer Ausbildung (Statusgruppen) variieren.

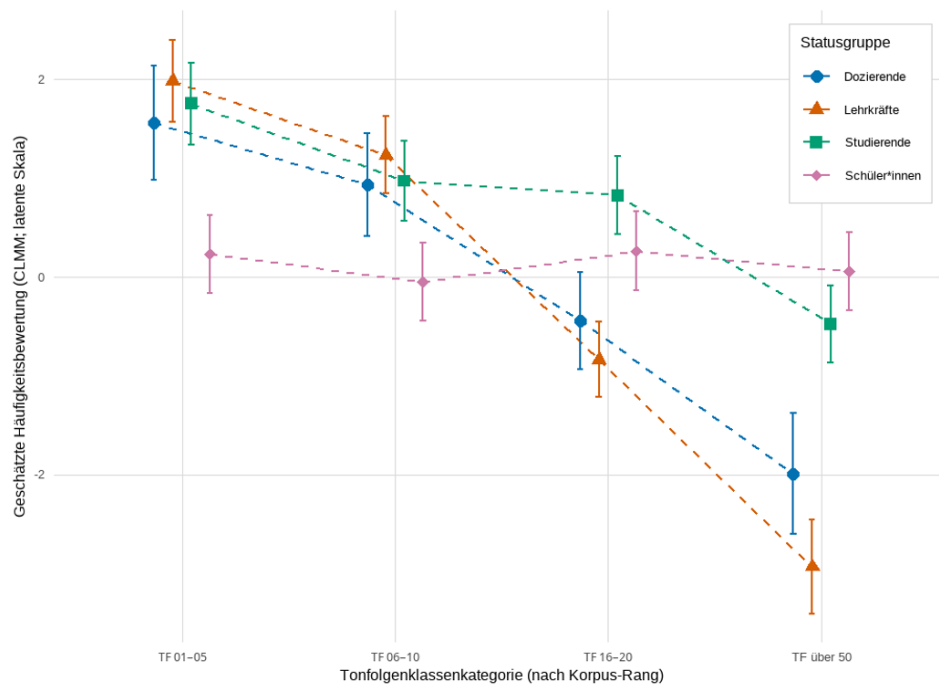


Abbildung 6: Geschätzte Häufigkeitsbewertungen der Tonfolgen in Abhängigkeit von Statusgruppe und Tonfolgeklassenkategorien

Tabelle 6: Haupteffekte (Tonfolgenkategorie und Statusgruppe) sowie deren Interaktionseffekte im kumulativen Link-Mischmodell zur Vorhersage der Häufigkeitseinschätzung musikalischer Vierton-Tonfolgen

Prädiktor	Estimate	SE	z	p	95 %-KI
Tonfolgenkassenkategorie					
TF 06-10	-0.62	0.38	-1.65	.100	[-1.36; 0.12]
TF 16-20	-2.00	0.37	-5.40	< .001	[-2.72; -1.27]
TF über 50	-3.55	0.41	-8.56	< .001	[-4.36; -2.74]
Statusgruppe					
Lehrkräfte	0.43	0.30	1.44	.151	[-0.16; 1.02]
Studierende	0.20	0.30	0.66	.508	[-0.39; 0.78]
Schüler:innen	-1.32	0.29	-4.49	< .001	[-1.90; -0.75]
Interaktion					
TF 06-10 × Lehrkräfte	-0.13	0.37	-0.35	.724	[-0.86; 0.60]
TF 16-20 × Lehrkräfte	-0.82	0.36	-2.30	.022	[-1.53; -0.12]
TF über 50 × Lehrkräfte	-1.37	0.43	-3.23	.001	[-2.21; -0.54]
TF 06-10 × Studierende	-0.16	0.38	-0.43	.664	[-0.90; 0.57]
TF 16-20 × Studierende	1.07	0.36	2.94	.003	[0.36; 1.78]
TF über 50 × Studierende	1.32	0.41	3.25	.001	[0.52; 2.11]
TF 06-10 × Schüler:innen	0.34	0.37	0.91	.362	[-0.39; 1.06]
TF 16-20 × Schüler:innen	2.03	0.36	5.62	< .001	[1.32; 2.73]
TF über 50 × Schüler:innen	3.37	0.41	8.30	< .001	[2.57; 4.17]

Anmerkung. Referenzkategorien waren TF 01-05 für die Tonfolgenkategorie und Dozierende für die Statusgruppe. Berichtet werden unstandardisierte Koeffizientenschätzungen auf der latenten Logit-Skala des kumulativen Link-Mischmodells. Bei der verwendeten Kodierung kennzeichnen positive Schätzwerte eine Verschiebung zu höheren Antwortkategorien. Angegeben sind 95%-Wald-Konfidenzintervalle. .

Die positiven linearen Trends für sehr häufige Tonfolgen sowie die negativen Trends für seltenere Tonfolgen sprechen dafür, dass sich die Bewertung der Tonfolgen in Abhängigkeit von der Statusgruppe und damit in Abhängigkeit vom Grad der musikalischen Ausbildung unterscheidet. Zugleich deuten die Ergebnisse aber auch darauf hin, dass sich mit zunehmendem Grad an musikalischer Ausbildung (Statusgruppe) die Unterschiede zwischen häufigen und seltenen Tonfolgen in den Einschätzungen stärker ausprägen. Die paarweisen Vergleiche ergänzen dieses Bild, indem sie darauf hinweisen, dass sich insbesondere die Häufigkeitseinschätzungen der Schüler:innen von denen der übrigen Statusgruppen unterscheiden, während zwischen Musikstudierende, Musiklehrkräften und Hochschuldozierenden überwiegend keine signifikanten Unterschiede beobachtet werden können. Innerhalb der Statusgruppen zeigen sich klare Differenzierungen zwischen den Tonfolgeklassenkategorie vor allem bei Musiklehrkräften und Hochschuldozierenden, während diese Differenzierungen bei Musikstudierenden eingeschränkt und bei Schüler:innen kaum ausgeprägt sind.

6. Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, aus Musikstücken und -werken des schulischen Musikunterrichts an Gymnasien in Baden-Württemberg die am häufigsten vorkommenden Tonfolgen zu extrahieren (Teilstudie 1), um diese mit einer Stichprobe, bestehend aus unterschiedlichen Statusgruppen (Schüler:innen, Musikstudierende, Musiklehrkräfte und Hochschuldozierende) im Hinblick auf Häufigkeitseinschätzungen zu validieren (Teilstudie 2). Dabei wurde von uns zum einen der Constrained String Mining Algorithm (CSMA), den wir zur Extraktion der am häufigsten vorkommenden Vierton-Tonfolgen eingesetzt haben, weiterentwickelt und für die Korpusanalyse entsprechend angepasst. Zum anderen wurden die durch den CSMA extrahierten, am häufigsten vorkommenden Tonfolgeklassen mithilfe eines kumulierten Link-Mischmodells validiert, um zu überprüfen, ob die am häufigsten vorkommenden Tonfolgen auch als solche in einer Stichprobe bestehend aus verschiedenen Statusgruppen wahrgenommen werden. Die Ergebnisse der Teilstudie 1 liefern unterschiedliche Vierton-Tonfolgeklassen, die nach Vorkommenshäufigkeit sortiert werden können. Besonders auf den oberen Plätzen ist die Gestalt der Tonfolgeklassen durch kleine Intervalle geprägt. Die ersten 20 der insgesamt 2,759 identifizierten Tonfolgeklassen umfassen etwa 52 % des gesamten musika-

lichen Korpus, wobei über 38 % allein durch die zehn häufigsten Vierton-Tonfolgeklassen abgedeckt werden können. Damit bestätigen die Ergebnisse der Korpusanalyse, dass es Unterschiede in der Vorkommenshäufigkeit melodischer Tonfolgen gibt. Die Gestalt der am häufigsten vorkommenden Tonfolgeklassen entspricht durch die Intervallstruktur den Erwartungen an melodische Teilelemente, die aufgrund ihrer kleinen Intervallabstände als zusammengehörig wahrgenommen werden (Frieler, 2018).

Die Ergebnisse der Teilstudie 2 zeigen, dass sich die Häufigkeitseinschätzungen der in Teilstudie 1 identifizierten Vierton-Tonfolgen sowohl zwischen den Tonfolgeklassenkategorie als auch zwischen den Statusgruppen (Schüler:innen, Musikstudierende, Musiklehrkräfte, Hochschuldozierende) systematisch unterscheiden. Die signifikante Interaktion zwischen Tonfolgeklassenkategorie und Statusgruppe weist darauf hin, dass die Häufigkeitseinschätzungen mit dem Grad an musikalischer Ausbildung (Statusgruppe) variieren. Die Ergebnisse der linearen Trendkontraste weisen insbesondere daraufhin, dass Personen mit einem höheren Grad an musikalischer Ausbildung stärker zwischen häufigen und seltenen Tonfolgen differenzieren können als Personen mit niedrigem Grad. Dies steht im Einklang mit Studien, die einen Unterschied zwischen Personen mit und ohne musikalischer Ausbildung im Hinblick auf die Verarbeitung melodischer Strukturen feststellten (Amemiya et al., 2014; Bonetti et al., 2022; Habibi et al., 2013). Ein möglicher Grund für die vergleichsweise differenzierte Bewertung der Tonfolgeklassen durch Musiklehrkräfte könnte darin liegen, dass sie aufgrund ihrer Nähe zum verwendeten Material (Musikwerke und -stücke des schulischen Musikunterrichts an Gymnasien) besonders vertraut mit den zugrunde liegenden musikalischen Strukturen sind. Dass die Tonfolgeklassenkategorie TF 06–10 sich in ihrer Bewertung nicht signifikant von der TF 01–05 unterscheiden, könnte darauf hindeuten, dass sich die Gestalt der Intervallstrukturen der einzelnen Tonfolgen zu stark ähnelt, um eine trennscharfe Unterscheidung zu ermöglichen.

Unsere Ergebnisse spiegeln zudem den Einfluss des Erklärungsmodells des Predictive Codings (Basiński et al., 2023) wider: Da während der Auseinandersetzung mit den Musikstücken bzw. -werken aus dem Korpus bestimmte Tonfolgeklassen um ein Vielfaches häufiger auftreten als andere, könnten sie im Rahmen statistischen Lernens stärker internalisiert worden sein. Dabei verfügen Personen mit

einem hohen Grad an musikalischer Ausbildung vermutlich aufgrund einer bewussten Auseinandersetzung mit Musik über vielfältige musikalische Erfahrungen und differenziertere mentale Modelle (Bonetti et al., 2022, 2024), die bei der Vorhersage dieser Melodieelemente eine zentrale Rolle spielen. Die Zusammenfassung einzelner Tonfolgen zu Tonfolgeklassen, wobei melodische Variationsformen wie beispielsweise Krebs und Umkehrung zusammengefasst wurden, legt nahe, dass vor allem Personen, die sich aufgrund ihrer musikalischen Ausbildung vertieft und bewusst mit Musik auseinandergesetzt haben, in der Lage sind, melodische Elemente als Prototypen (Deliège, 2001b) zu abstrahieren und diese aktiv für Einschätzungs- und Bewertungsprozesse zu nutzen.

6.1 Limitationen und Ausblick

Die vorliegende Studie weist einige Limitationen auf, die wir zur Einordnung der Ergebnisse diskutieren möchten. Korpusanalysen ermöglichen zwar differenzierte Einblicke in die Struktur von Musikstücken und Werken, sind jedoch methodisch mit bestimmten Einschränkungen verbunden. Wie Huron (2013) in diesem Kontext hervorgehoben hat, besteht eine zentrale Herausforderung bei großskaligen Datenauswertungen darin, Korrelationen nicht mit Kausalitäten zu verwechseln und die theoretische Fundierung der Analysen aufrechtzuerhalten. Korpusbasierte Ansätze tendieren dazu, bestehende musiktheoretische oder intuitiv bekannte Strukturen zu bestätigen, statt neuartige Phänomene zu identifizieren. Darüber hinaus kann die Aggregation umfangreicher Datensätze zu einem Verlust ästhetischer und kontextueller Differenzierungen führen, etwa durch Auswahl- und Abgewichtungsentscheidungen, oder unbewusste Verzerrungen im Material erzeugen (Neuwirth & Rohrmeier, 2016).

Der für diese Studie verwendete Korpus setzt sich aus einer Auswahl von Musikstücken und -werken des schulischen Musikunterrichts an Gymnasien in Baden-Württemberg zusammen, wie sie vom Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung sowie aus dem Schulbuch *MusiX1* (Detterbeck & Schmidt-Oberländer, 2019) vorgeschlagen werden. Diese Zusammenstellung wurde von studierten Musiklehrkräften und Musiker:innen vorgenommen, die weitestgehend in der westlichen Musikkultur sozialisiert wurden. Entsprechend spiegelt das Material primär ästhetische Perspektiven dieser kulturellen Prägung wider. Die Autor:innen von *MusiX* bringen zwar Expertise in Jazz und Welt-

musik ein, die Auswahl bleibt jedoch insgesamt im Rahmen westlich geprägter Musikvermittlung. Dies könnte auch die in den Verteilungsdiagrammen erkennbare Dominanz klassischer Musik erklären (Anhang B). Zudem wurde nicht untersucht, inwieweit diese Auswahl den tatsächlichen musikunterrichtlichen Kanon, also die Menge impliziter oder expliziter Unterrichtsinhalte, die eine Musiklehrkraft beispielsweise in Baden-Württemberg unterrichtet, abbildet oder auch über das Land Baden-Württemberg hinaus Gültigkeit beanspruchen kann.

Zudem ist zu berücksichtigen, dass der verwendete Korpus aufgrund des hohen Anteils klassischer Musik überwiegend Musikstücke und -werke umfasst, die möglicherweise nicht den Hörgewohnheiten der Schüler:innen entsprechen, da diese in der Regel stärker durch populäre Musik geprägt sind (Deutsches Musikinformationszentrum [miz], 2025). Die Diskrepanz zwischen dem didaktisch und kulturell kuratierten Korpus und den tatsächlichen Hörgewohnheiten der Schüler:innen könnte die Ergebnisse der Teilstudie 2 beeinflusst haben.

Des Weiteren sind die Ergebnisse der Korpusanalyse dahingehend limitiert, als dass ausschließlich isochrone Tonfolgeklassen untersucht wurden. Diese methodische Vereinfachung ermöglicht zwar eine klare Vergleichbarkeit der melodischen Strukturen, reduziert jedoch zugleich die Komplexität musikalischer Gestalten und blendet rhythmisch-melodische Wechselwirkungen weitgehend aus. Obwohl empirische Studien darauf hindeuten, dass Melodie und Rhythmus teilweise über unterschiedliche kortikale Bahnen verarbeitet werden (Jerde et al., 2011; Lappe et al., 2016; Lappe et al., 2013), ist die Interaktion zwischen rhythmischen und melodischen Merkmalen in Bezug auf neuronale Substrate bisher nicht erforscht (Basiński et al., 2023). Dies wurde im Rahmen der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt, sodass eine Trennung von Rhythmus und Melodik dem Melodiebegriff vermutlich nicht gerecht wird (Götte, 2020). Zukünftige Arbeiten könnten diesen Ansatz erweitern, indem rhythmisch annotierte Variantenklassen einbezogen oder kombinierte Modelle entwickelt werden, die die Wechselwirkung zwischen melodischen und rhythmischen Parametern systematisch berücksichtigen.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Proband:innen in Teilstudie 2 jeweils einen konkreten Vertreter einer Tonfolgeklasse gesehen und gehört haben. Die Bewertung bezieht sich somit auf

eine spezifische Tonfolge und nicht auf das abstrakte Konstrukt der Tonfolgeklasse, das unseres Erachtens insbesondere für die Schüler:innen kaum fassbar gewesen wäre.

Bezüglich der melodischen Variation schätzen wir die Auswirkung auf das Ergebnis als gering ein, da die Bewertung lediglich die wahrgenommene Häufigkeit des Auftretens in der Musik betrifft und keine genaue Rangordnung der Tonfolgen erfordert. Hinsichtlich der isochronen Darstellung gehen wir allerdings davon aus, dass sie einen Teil der Bewertungsunterschiede erklären könnte, da Teilnehmende mit höherem musikalischen Ausbildungsgrad vermutlich zu einer stärkeren Abstraktion hinsichtlich der Trennung von Melodie und Rhythmus fähig sind. Des Weiteren ist die externe Validität der von uns extrahierten Vierton-Tonfolgeklassen begrenzt, da für die Bewertung eine nicht repräsentative Gelegenheitsstichprobe rekrutiert wurde. Zwar wurden die extrahierten Vierton-Tonfolgeklassen erwartungskonform durch die Statusgruppen mit einem hohen Grad an musikalischer Ausbildung, also Studierende des Faches Musik, Musiklehrkräfte und Hochschuldozierende, erkannt; jedoch bleibt unklar, welche Rolle oder Funktion die untersuchten melodischen Tonfolgen innerhalb der Gesamtstruktur verschiedener Musikstücke und -werke tatsächlich einnehmen. Die vorliegende Studie liefert diesbezüglich keine Erkenntnisse darüber, in welchen Stimmen oder an welchen Stellen der musikalischen Themen die Tonfolgen auftreten.

Zur Sicherung der hier erzielten Erkenntnisse sollte zukünftige Forschung untersuchen, welchen Einfluss verschiedene Variationsparameter, etwa der Rhythmus, sowohl auf die quantitative Häufigkeit als auch auf die Wahrnehmung melodischer Tonfolgen haben. Zudem könnte die Untersuchung der Auswirkungen des Einübens der 10 bis 20 häufigsten Tonfolgeklassen auf die Entwicklung der strukturellen Wahrnehmung von Musik aufschlussreiche Impulse für das Erlernen musikalischer Strukturen geben und somit einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung des schulischen Musikunterrichts in diesen Kontexten liefern.

6.2 Schlussfolgerung und Implikationen für die musikpädagogische Praxis

Die vorliegende Studie leistet einen wichtigen Beitrag zum in der Musikpädagogik bislang wenig beachteten und systematisch durchgeführten Aufbau auditiver Strukturerkennungskompetenz im (schulischen) Musikunterricht. Sie identifizierte mithilfe

von Korpusanalysen aus Musikstücken und -werken des schulischen Musikunterrichts an Gymnasien in Baden-Württemberg Vierton-Tonfolgen, brachte sie nach deren Vorkommenshäufigkeit in eine Reihenfolge und validierte, basierend auf dieser Reihenfolge, die am häufigsten vorkommenden Tonfolgen im Vergleich zu eher selten vorkommenden Tonfolgen mittels einer Stichprobe bestehend aus verschiedenen Statusgruppen. Da bereits 20 Tonfolgeklassen mehr als die Hälfte des Tonmaterials im untersuchten Korpus abdecken, erscheint es naheliegend, diese als Grundlage für ein Modell zur Förderung der auditiven Strukturerkennungskompetenz im Kontext des Aufbaus musikalischer Hörkompetenz im (schulischen) Musikunterricht zu nutzen. Durch die empirische Validierung der Häufigkeitseinschätzungen mittels einer Stichprobe bestehend aus verschiedenen Statusgruppen liegt ein evidenzbasiertes „musikalisches Basismaterial“ für die Entwicklung eines solchen Modells vor. Das gezielte Einüben häufig vorkommender melodischer Tonfolgen könnte einen wirksamen Beitrag zum Aufbau grundlegender auditiver Strukturerkennungskompetenzen leisten, wie dies bereits in anderen musikpädagogischen Kontexten Anwendung fand (Lively, 2017; Quantz, 1988; Schneider & Schnitzer, 2012; Tümmä, 2010). Darüber hinaus bilden die identifizierten Tonfolgeklassen eine empirisch fundierte Basis für weiterführende Forschung zur musikalischen Strukturwahrnehmung. So steht der entwickelte Algorithmus zur Durchführung weiterführender Korpusanalyseprojekte zur Verfügung.

Literaturverzeichnis

- Agresti, A. (2010). *Analysis of ordinal categorical data*. Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9780470594001>
- Altenmüller, E. (2018). Hirnphysiologie musikalischen Lernens. In W. Gruhn & P. Röbbke (Hrsg.), *Musiklernen: Bedingungen – Handlungsfelder – Positionen* (S. 43–69). Helbling.
- Amemiya, K., Karino, S., Ishizu, T., Yumoto, M. & Yamasoba, T. (2014). Distinct neural mechanisms of tonal processing between musicians and non-musicians. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 125(4), 738–747.
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.09.027>
- Asp, I. E., Störmer, V. S. & Brady, T. F. (2021). Greater visual working memory capacity for visually matched stimuli when they are perceived as meaningful. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 33(5), 902–918.
<https://doi.org/10.1162/jocn.2021.01693>
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829–839.
<https://doi.org/10.1038/nrn1201>
- Baddeley, A. D., Eysenck, M. W. & Anderson, M. C. (2020). *Memory* (3. Aufl.). Routledge.
- Baden-Württemberg Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung (Hrsg.). (o. J.a). *Fachportal Musik: Fachportal des Landesbildungsservers Baden-Württemberg*. Abgerufen am 16.04.2026 von <https://www.schule-bw.de/faecher-und-schularten/musische-faecher/musik>
- Baden-Württemberg Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung (Hrsg.). (o. J.b). *Lehrkräftefortbildung Baden-Württemberg: Bildungsplan 2016: Musik, Klassenstufen 5/6, 7/8, 9/10 und 11/12*. Abgerufen am 16.04.2026 von https://lehrerfortbildung-bw.de/u_mks/musik/gym/bp2016/fb4/index.html
- Balke, S., Abeßer, J., Driedger, J., Dittmar, C. & Müller, M. (2016). Towards evaluating multiple predominant melody annotations in jazz recordings. In J. Devaney, M. I. Mandel, D. Turnbull & G. Tzanetakis (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval* (S. 246–252).
- Basiński, K., Quiroga-Martinez, D. R. & Vuust, P. (2023). Temporal hierarchies in the predictive processing of melody: From pure tones to songs. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 145, 105007.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.105007>
- Benammar, R., Largeron, C., Eglin, V. & Pardoën, M. (2017). Discovering motifs with variants in music databases. In N. Adams, A. Tucker & D. Weston (Hrsg.), *Advances in Intelligent Data Analysis XVI* (Bd. 10584, S. 14–26). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-68765-0_2
- Bonetti, L., Carlomagno, F., Kliuchko, M., Gold, B. P., Palva, S., Haumann, N. T., Teräsväniemi, M., Huottilainen, M., Vuust, P. & Brattico, E. (2022). Whole-brain computation of cognitive versus acoustic errors in music: A mismatch negativity study. *NeuroImage: Reports*, 2(4), 100145.
<https://doi.org/10.1016/j.ynirp.2022.100145>
- Bonetti, L., Fernández-Rubio, G., Carlomagno, F., Dietz, M., Pantazis, D., Vuust, P. & Kringelbach, M. L. (2024). Spatiotemporal brain hierarchies of auditory memory recognition and predictive coding. *Nature Communications*, 15(1), 4313.
<https://doi.org/10.1038/s41467-024-48302-4>
- Butler, D. (1997). Why the gulf between music perception research and aural training? *Bulletin of the Council for Research in Music Education* 132, 38–48.
<http://www.jstor.org/stable/40375331>
- Cambouropoulos, E. (2021). Symbolic representation and processing of musical structure: Stream segments, pitch interval patterns, general chord types. In M. Rauterberg (Hrsg.), *Lecture Notes in Computer Science: Bd. 12794, Culture and Computing. Interactive Cultural Heritage and Arts* (S. 201–212). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-77411-0_14
- Chinn, S. (2000). A simple method for converting an odds ratio to effect size for use in meta-analysis. *Statistics in Medicine*, 19(22), 3127–3131.
[https://doi.org/10.1002/1097-0258\(20001](https://doi.org/10.1002/1097-0258(20001)

- [13019:22%3C3127::AID-SIM784%3E3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.13019/22%3C3127::AID-SIM784%3E3.0.CO;2-M)
- Christensen, R. H. B. (2023). *ordinal* (Version 2023.12-4.1) [R package]. <https://CRAN.R-project.org/package=ordinal>
- Clauset, A., Shalizi, C. R. & Newman, M. E. J. (2009). Power-law distributions in empirical data. *SIAM Review*, 51(4), 661–703. <https://doi.org/10.1137/070710111>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Aufl.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *The Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87–114. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01003922>
- Dahlhaus, C. (2016). Melodie: Systematisch, Thema, Motiv, Figur. In L. Lütteken (Hrsg.), *MGG Online*. Abgerufen am 16.04.2026 von <https://www.mgg-online.com/mgg/stable/46392>
- de la Motte-Haber, H. (2005). Modelle der musikalischen Wahrnehmung. In H. de la Motte-Haber & G. Rötter (Hrsg.), *Handbuch der systematischen Musikwissenschaft / hrsg. von Helga de la Motte-Haber: Bd. 3. Musikpsychologie* (S. 55–73). Laaber.
- Deliège, I. (2001a). Prototype effects in music listening: An empirical approach to the notion of imprint. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 18(3), 371–407. <https://doi.org/10.1525/mp.2001.18.3.371>
- Deliège, I. (2001b). Similarity perception <-> categorization <-> cue abstraction. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 18(3), 233–243. <https://doi.org/10.1525/mp.2001.18.3.233>
- Detterbeck, M. & Schmidt-Oberländer, G. (2019). *MusiX1* (1. Aufl.). Helbling.
- Drabkin, W. (2001). Motif. In S. Sadie (Hrsg.), *The New Grove Dictionary of Music and Musicians* (2. Aufl., Bd. 17, S. 227–228). Macmillan.
- Fastl, H. & Zwicker, E. (2007). Loudness. In H. Fastl & E. Zwicker (Hrsg.), *Psychoacoustics* (S. 203–238). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68888-4_8
- Finscher, L. (2016). Pause. In L. Lütteken (Hrsg.), *MGG Online*. Abgerufen am 16.04.2026 von <https://www.mgg-online.com/mgg/stable/14850>
- Fischer, K. von & Dress, S. (2016). Variation: Einführung, Systematisches. In L. Lütteken (Hrsg.), *MGG Online*. Abgerufen am 11.06.2026 von <https://www.mgg-online.com/mgg/stable/50602>
- Frieler, K. (2018). Gruppierung, Ordnung und Ähnlichkeit in der Musik. In A. C. Lehmann & R. Kopiez (Hrsg.), *Handbuch Musikpsychologie* (S. 513–544). Hogrefe.
- Frieler, K., Höger, F., Pfeleiderer, M. & Dixon, S. (2018). Two web applications for exploring melodic patterns in jazz solos. In E. Gómez, X. Hu, E. Humphrey & E. Benetos (Hrsg.), *Proceedings of the 19th International Society for Music Information Retrieval Conference* (777–783). International Society for Music Information Retrieval (ISMIR).
- Friston, K. & Kiebel, S. (2009). Predictive coding under the free-energy principle. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1521), 1211–1221. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0300>
- Gamer, M., Lemon, J. & Fellows, I. (2019). *irr* (Version 0.84.1) [R package]. 10.32614/CRAN.package.irr
- Ganassi, S. (2011). *La Fontegara: Schule des kunstvollen Flötenspiels und Lehrbuch des Diminuierens*. Faksimile der Ausgabe Venedig 1535. Robert Lienau.
- Garrido, M. I., Kilner, J. M., Stephan, K. E. & Friston, K. J. (2009). The mismatch negativity: A review of underlying mechanisms. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 120(3), 453–463. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.11.029>
- George, E. M. & Coch, D. (2011). Music training and working memory: An ERP study. *Neuropsychologia*, 49(5), 1083–1094. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.02.001>
- Glaser, C. (2019). Millersche Zahl. In C. Glaser (Hrsg.), *Risiko im Management* (S. 53–56). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25835-1_14
- Götte, U. (2020). *Wiederholung als zentrales universelles Gestaltungsmittel der Musik*. J.B.

- Metzler. <https://doi.org/10.1007/978-3-476-05635-1>
- Habibi, A., Wirantana, V. & Starr, A. (2013). Cortical activity during perception of musical pitch. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 30(5), 463–479. <https://doi.org/10.1525/mp.2013.30.5.463>
- Henry, L., Frieler, K., Solis, G., Pfeleiderer, M., Dixon, S., Höger, F., Weyde, T. & Crayencour, H.-C. (2024). Dig that lick: Exploring patterns in jazz with computational methods. In C. Bruckner-Haring & A. Doebling (Hrsg.), *Jazz Journeys* (S. 249–271). Hol-litzer.
- Hosken, F., Bechtold, T., Hoesl, F., Kilchenmann, L. & Senn, O. (2021). Drum groove corpora. *Empirical Musicology Review*, 16(1), 114–123. <https://doi.org/10.18061/emr.v16i1.7642>
- Hotteterre, J. (2011). *L'art de préluder sur la flûte traversière, sur la flûte à bec, sur le haut-bois et autres instruments de dessus: Paris 1719*. Faksimile der Ausgabe Paris 1719. Walhall.
- Huron, D. (2013). On the virtuous and the vexatious in an age of big data. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 31(1), 4–9. <https://doi.org/10.1525/MP.2013.31.1.4>
- Jank, W. (Hrsg.). (2021). *Musik-Didaktik: Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (9. Aufl.). Cornelsen.
- Jerde, T. A., Childs, S. K., Handy, S. T., Nagode, J. C. & Pardo, J. V. (2011). Dissociable systems of working memory for rhythm and melody. *NeuroImage*, 57(4), 1572–1579. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.05.061>
- Jordan, A.-K. (2013). *Empirische Validierung eines Kompetenzmodells für das Fach Musik: Teilkompetenz "Musik wahrnehmen und kontextualisieren"* [Dissertation]. *Empirische Erziehungswissenschaft: Bd. 43*. Waxmann.
- Knigge, J. (2010). *Modellbasierte Entwicklung und Analyse von Testaufgaben zur Erfassung der Kompetenz "Musik wahrnehmen und kontextualisieren"* [Dissertation]. *Empirische Forschung zur Musikpädagogik: Bd. 2*. Lit.
- Koelsch, S. (2011). Toward a neural basis of music perception: A review and updated model. *Frontiers in Psychology*, 2, 110. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00110>
- Koelsch, S. & Schröger, E. (2018). Neurowissenschaftliche Grundlagen der Musikverarbeitung. In A. C. Lehmann & R. Kopiez (Hrsg.), *Handbuch Musikpsychologie* (S. 461–481). Hogrefe.
- Koelsch, S., Vuust, P. & Friston, K. (2019). Predictive processes and the peculiar case of music. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(1), 63–77. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.10.006>
- Kühn, C. (2016). Form. In L. Lütteken (Hrsg.), *MGG Online*. Abgerufen am 16.04.2026 von <https://www.mgg-online.com/mgg/stable/397449>
- Kühn, C. (2018). *Formenlehre der Musik* (11. Aufl.). Bärenreiter.
- Lappe, C., Lappe, M. & Pantev, C. (2016). Differential processing of melodic, rhythmic and simple tone deviations in musicians: An MEG study. *NeuroImage*, 124, 898–905. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.09.059>
- Lappe, C., Steinsträter, O. & Pantev, C. (2013). Rhythmic and melodic deviations in musical sequences recruit different cortical areas for mismatch detection. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 260. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00260>
- Lehmann, A. C. & Goldhahn, S. (2016). Duration of playing bursts and redundancy of melodic jazz improvisation in John Coltrane's "Giant Steps". *Musicae Scientiae*, 20(3), 345–360. <https://doi.org/10.1177/1029864916649637>
- Leiner, D. J. (2024). *SoSci Survey* (Version 3.5.02) [Computer software]. <https://www.sosicisurvey.de>
- Lenth, R. V. & Piaskowski, J. (2025). *emmeans* (Version 2.0.0) [R package]. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.emmeans>
- Lessing, W. (2025). *Amateurmusizieren*. Abgerufen am 16.04.2026 von <https://miz.org/de/beitraege/amateurmusizieren>
- Liddell, T. M. & Kruschke, J. K. (2018). Analyzing ordinal data with metric models: What could possibly go wrong? *Journal of Experimental Social Psychology*, 79, 328–348. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2018.08.009>
- Lively, M. T. (2017). Teaching materials and strategies for the AP Music Theory Exam. *Music Educators Journal*, 104(1), 47–54. <https://doi.org/10.1177/0027432117709504>

- Lothwesen, K. & Frieler, K. (2013). Gestaltungsmuster und Ideenfluss in Jazzpiano-Improvisationen. Eine Pilotstudie zum Einfluss von Tempo, Tonalität und Expertise. In A. C. Lehmann, A. Jeßulat & C. Wunsch (Hrsg.), *Kreativität: Struktur und Emotion* (S. 256–265). Königshausen & Neumann.
- Loui, P., Wessel, D. L. & Hudson Kam, C. L. (2010). Humans rapidly learn grammatical structure in a new musical scale. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 27(5), 377–388. <https://doi.org/10.1525/mp.2010.27.5.377>
- Marx, A. B. (2017). *Die Lehre von der musikalischen Komposition: Praktisch-theoretisch - 1. Teil*. Neu bearbeitet von Hugo Riemann, Nachdruck der Ausgabe von 1871. Hanser books.
- Mervis, C. B. & Rosch, E. (1981). Categorization of natural objects. *Annual Review of Psychology*, 32(1), 89–115. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.32.020181.000513>
- Meyer, T. (2024). Von Wellenformen, schleichenden Löwen und ausgerutschten Tönen. *Beiträge empirischer Musikpädagogik*, 15, 1–13. <https://doi.org/10.62563/bem.v2024236>
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- Morra, S., Patella, P. & Muscella, L. (2024). Modeling working memory capacity: Is the magical number four, seven, or does it depend on what you are counting? *Journal of Cognition*, 7(1), 60, 1–32. <https://doi.org/10.5334/joc.387>
- MuseScore Studio. (2024). *MuseScore* (Version 4.6.2) [Computer software]. MuseGroup. <https://musescore.org/de/download>
- Nan, Y., Knösche, T. R. & Friederici, A. D. (2009). Non-musicians' perception of phrase boundaries in music: A cross-cultural ERP study. *Biological Psychology*, 82(1), 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.06.002>
- Neuwirth, M. & Rohrmeier, M. (2016). Wie wissenschaftlich muss Musiktheorie sein? Chancen und Herausforderungen musikalischer Korpusforschung. *ZGMTH (Zeitschrift der Gesellschaft für Musiktheorie)*, 13(2), 171–193. <https://doi.org/10.31751/915>
- Payk, T. R. (2021). Bewusstsein. Wahrnehmung. In T. R. Payk (Hrsg.), *Psychopathologie* (S. 137–183). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-63574-2_3
- Pearce, M. T. (2005). *The construction and evaluation of statistical models of melodic structure in music perception and composition* [Dissertation]. City University London.
- Pearce, M. T. (2018). Statistical learning and probabilistic prediction in music cognition: Mechanisms of stylistic enculturation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1423(1), 378–395. <https://doi.org/10.1111/nyas.13654>
- Perotti, J. I. & Billoni, O. V. (2020). On the emergence of Zipf's law in music. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 549, 124309. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.124309>
- Quantz, J. J. (1988). *Versuch einer Anweisung die Flöte traversiere zu spielen*. Faksimile der Ausgabe Berlin 1752. Breitkopf & Härtel.
- R Core Team. (2025). *R* (Version 4.5.2) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
- Rohrmeier, M. & Rebuschat, P. (2012). Implicit learning and acquisition of music. *Topics in Cognitive Science*, 4(4), 525–553. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2012.01223.x>
- Rosch, E. & Lloyd, B. B. (Hrsg.). (1978). *Cognition and categorization*. Lawrence Erlbaum.
- Rosch, E. & Mervis, C. B. (1975). Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. *Cognitive Psychology*, 7(4), 573–605. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(75\)90024-9](https://doi.org/10.1016/0010-0285(75)90024-9)
- Saarikivi, K. A., Huottilainen, M., Tervaniemi, M. & Putkinen, V. (2019). Selectively enhanced development of working memory in musically trained children and adolescents. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 13, 62. <https://doi.org/10.3389/fnint.2019.00062>
- Schilling-Wang, B. (2016). Thema und Motiv: Definitionen. In L. Lütteken (Hrsg.), *MGG Online*. Abgerufen am 16.04.2026 von <https://www.mgg-online.com/mgg/stable/13620>

- Schneider, H. & Schnitzer, R. (2012). *Singen ist Klasse 5/6: Schülerheft für die Klassen 5 und 6 an allgemeinbildenden Schulen* (1. Aufl.). Schott.
- Schönberg, A. (1979). *Die Grundlagen der musikalischen Komposition*. Universal-Edition.
- Senn, O., Bechtold, T. A., Jerjen, R., Kilchenmann, L. & Hoesl, F. (2023). Three psychometric scales for groove research: Inner representation of temporal regularity, time-related interest, and energetic arousal. *Music & Science*, 6. <https://doi.org/10.1177/20592043231185663>
- Senn, O., Hoesl, F., Jerjen, R., Bechtold, T. A., Kilchenmann, L., Rose, D. & Alessandri, E. (2023). A stimulus set of 40 popular music drum patterns with perceived complexity measures. *Music & Science*, 6. <https://doi.org/10.1177/20592043231202576>
- Shrout, P. E. & Fleiss, J. L. (1979). Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin*, 86(2), 420–428. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.2.420>
- Struktur (allgemein). (o. J.). In *Brockhaus Enzyklopädie Online*. Abgerufen am 16.04.2026 von <https://brockhaus.de/ecs/enzy/article/struktur-allgemein>
- Taher, C., Hasegawa, R. & McAdams, S. (2018). Effects of musical context on the recognition of musical motives during listening. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 36(1), 77–97. <https://doi.org/10.1525/mp.2018.36.1.77>
- Tümä, H. H. (2010). *Die Musik der Araber* (4. Aufl.). Noetzel Heinrichshofen-Bücher.
- van Zuijlen, T. L., Sussman, E., Winkler, I., Näätänen, R. & Tervaniemi, M. (2004). Grouping of sequential sounds: An event-related potential study comparing musicians and nonmusicians. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(2), 331–338. <https://doi.org/10.1162/089892904322984607>
- van Zuijlen, T. L., Sussman, E., Winkler, I., Näätänen, R. & Tervaniemi, M. (2005). Auditory organization of sound sequences by a temporal or numerical regularity: A mismatch negativity study comparing musicians and non-musicians. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 23(2–3), 270–276. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.10.007>
- Wolf, A. (2016). *“Es hört doch jeder nur, was er versteht”: Konstruktion eines kompetenzbasierten Assessments für Gehörbildung* [Dissertation]. wvb.
- Zanette, D. H. (2006). Zipf’s law and the creation of musical context. *Musicae Scientiae*, 10(1), 3–18. <https://doi.org/10.1177/102986490601000101>
- Zarzalis, J. (2024). *Motivsearch*. GitHub. Abgerufen am 16.04.2026 von <https://github.com/jonasKellerer/motivsearch>
- Zarzalis, M. (2026). *Melodische Tonfolgen im schulischen Musikunterricht*. Abgerufen am 18.06.2026 von osf.io/c98de
- Zhao, T. C., Lam, H. T. G., Sohi, H. & Kuhl, P. K. (2017). Neural processing of musical meter in musicians and non-musicians. *Neuropsychologia*, 106, 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.10.007>
- Zipf, G. K. (1949). *Human behavior and the principle of least effort: An introduction to human ecology*. Addison-Wesley.

Autor:innen

Myrto Zarzalıs

Lehrstuhl für Musikpädagogik und -didaktik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)

myrto.zarzalıs@fau.de

Daniel Fiedler

Institut für Musikwissenschaft, Musikpädagogik und Ästhetik, HMDK Staatliche Hochschule für Musik und Darstellende Kunst Stuttgart

daniel.fiedler@hmdk-stuttgart.de

Jonas Zarzalıs

TNG Technology Consulting GmbH

jonas.zarzalıs@tngtech.com

Johannes Hasselhorn

Lehrstuhl für Musikpädagogik und -didaktik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)

johannes.hasselhorn@fau.de

Autor:innenbeiträge

MZ konzipierte und führte die Forschungsarbeit durch und analysierte die Daten. JZ und MZ entwickelten den Algorithmus. MZ übernahm die Hauptverantwortung für das Verfassen des Manuskripts. Alle Autor*innen leisteten entscheidende Beiträge, gaben kritisches Feedback und wirkten an der Ausgestaltung der Forschung, der Analyse und des Manuskripts mit. DF unterstützte die formale Fertigstellung des Manuskripts.

Zarzalıs et al. (2026)

CC BY-NC 4.0

b-em 18(2), S. 1-23

ISSN: 2190-317

DOI: 10.62563/bem.v18i2.286

Elektronische Version / Electronic Version:

<https://bem.publia.org/bem/article/view/286>

This paper is published under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. To read the license text, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>. Parts of an article may be published under a different license. If this is the case, these parts are clearly marked as such.