

mk MARSILIUS
KOLLEG



**UNIVERSITÄT
HEIDELBERG**
ZUKUNFT
SEIT 1386

**ANDRÉ RUPP
CHRISTIANE WIESENFELDT**

HELMHOLTZ REVISITED

Historische Heidelberger
Hörforschung im Praxistest



[https://doi.org/10.11588/
fmk.2025.25.109300](https://doi.org/10.11588/fmk.2025.25.109300)

**MARSILIUS-
KOLLEG**

2023 / 2024



Christiane Wiesenfeldt

HELMHOLTZ REVISITED

Historische Heidelberger Hörforschung im Praxistest

André Rupp · Neurophysiologie

Christiane Wiesenfeldt · Musikwissenschaft

OUVERTÜRE

Musik ist ein besonderer Stoff. Einerseits ist sie physikalisch begründbar, weil sie aus Zahlen, Proportionen und Verhältnissen besteht, die sich empirisch messen und entsprechend quantifizieren lassen. Andererseits ist sie etwas höchst individuell Empfundenes, jeder Mensch fühlt etwas anderes beim Anhören von Musik und favorisiert andere Musikstücke. Dieses Spannungsverhältnis hat die Beschäftigung mit Musik seit der Antike geprägt. Beide Pole erscheinen dabei unvereinbar: die harten Fakten, die Einsen und Nullen auf der einen Seite, die weichen Fakten, das subjektive Gefühl, auf der anderen Seite. Als Hermann von Helmholtz (1821–1894) sich in der Mitte des 19. Jahrhunderts mit eben diesem Spannungsfeld zu beschäftigen begann, war er in der seltenen Situation, beide Bereiche der Musik zu kennen: als Naturwissenschaftler überblickte er ihre physikalischen Gegebenheiten, als begeisterter Musiker war er tief vertraut mit dem Repertoire seiner Zeit, aber auch der gesamten Musikgeschichte. Wer also konnte besser geeignet sein, eine Brücke zu bauen, eine Verbindung zu suchen zwischen diesen beiden Polen? Helmholtz wirkte in den Jahren 1858 bis 1870 an der Universität Heidelberg und besetzte dort den überhaupt ersten Lehrstuhl für Physiologie. Mit seinen Untersuchungen wollte er die physiologischen Vorgänge im Ohr entschlüsseln. Zugleich interessierte ihn, ob seine Ergebnisse Aussagen über die Entwicklung der Musik in ihrer Geschichte treffen können: Musikgeschichte war für Helmholtz Hörgeschichte. Mit seiner 1863 veröffentlichten Studie *Die Lehre von den Tonempfindungen*, in der seine Ergebnisse zusammengefasst wurden, revolutionierte er ebenso die Natur- wie die Geisteswissenschaften und begründete sowohl die Physiologische Akustik als auch die Systematische Musikwissenschaft.

Das interdisziplinär zwischen Neurophysiologie und Musikwissenschaft angesiedelte Fellow-Projekt *Helmholtz revisited: Historische Heidelberger Hörforschung im Praxistest* überträgt Helmholtz' Hörforschungen mithilfe des Heidelberger 122-Kanal Ganzkopf MEG-Systems in die Gegenwart. Wir wollen fragen, ob wir mit denselben Hörbeispielen, die Helmholtz verwendete, Rückschlüsse auf aktuelle Hörgewohnheiten und -präferenzen ziehen können. Hören die Menschen heute dieselben Stücke anders? Und wenn ja: Wie? Und was sagt das über die Entwicklung der Musik aus?

ALLEGRO MA NON TROPPO

Unser gemeinsames Projekt setzte im Oktober 2023 damit ein, dass wir die Hörbeispiele gemeinsam ausgewählt haben. Bei der Lektüre von Helmholtz' Studie wurde erkennbar, dass er Beispiele sowohl aus alter als auch aus zeitgenössischer Musik verwendet hatte. Zeitgenössische Musik um 1860 meinte zum Beispiel die Musikdramen Richard Wagners, aber auch große, klangvolle Sinfonik, etwa von Robert Schumann oder Felix Mendelssohn. Die Sichtung der Beispiele zeigte auch, dass Helmholtz die Musikgeschichte und damit seine Beispiele in verschiedene Etappen einteilte: die erste größere Etappe, nach der einstimmigen Musik, umfasste für ihn die Musik bis in das 16. Jahrhundert, wo er eine Wende im Komponieren beobachtet hatte: Besonders in der Figur Giovanni Gabrieli da Palestrina bündelte sich für ihn gleichsam die Entwicklung, Helmholtz beobachtete darin einen Umschlagpunkt von melodischem zu harmonischem Denken. Palestrinas Musik war nun einerseits im Stil alter Musik linear komponiert, in den Worten von Helmholtz „viestimmig, aber noch ohne Rücksicht auf die selbstständige musikalische Bedeutung der Zusammenklänge“ (6. Ausgabe von 1913, S. 390). Die Stimmen agierten also weitgehend selbstständig, zeigten aber andererseits auch viele Passagen neuer Klanglichkeit, indem die Stimmen parallel harmonisch geführt wurden und damit viestimmig auftraten. Mit letzterem griff Palestrina, wie Helmholtz das sah, auf moderne Musik voraus, die für ihn ab dem 17. Jahrhundert begann, nun „charakterisiert durch selbstständige Bedeutung, welche die Harmonie als solche gewinnt.“ (ebd.) Vor allem die Werke von Georg Friederich Händel – Helmholtz verwendete aus dem Oratorium *Samson* den Chor aus dem zweiten Akt *Hör, Jacob's Gott* (1743) als Beispiel – und Wolfgang Amadé Mozart – hier galt Helmholtz das *Ave verum corpus* (1791) als Prototyp – waren die Repräsentanten einer für Helmholtz neuen Musik, die nun nicht mehr primär linear, sondern klanglich gearbeitet war. Dies galt erst recht für die Werke Ludwig van

Beethovens – verwendet wurde von Helmholtz die *Klaviersonate op. 90, 1. Satz* (1814) – und Richard Wagners, von dem er die *Götterdämmerung* (1876) heranzog.

ANDANTE SOSTENUTO

Rasch wurde deutlich, dass die Menge an Beispielen insgesamt kaum bewältigt werden kann, aber auch nicht muss, um valente Ergebnisse zu erzielen. Stattdessen wählten wir mit Palestrina und Mozart zwei wichtige Beispiele aus, die für die Pilotmessungen mit dem MEG verwendet werden sollten. Ebenso wurden im ersten Halbjahr musikalische Probanden ausgewählt, deren Leistungen in einem psychometrischen validierten Musikalitätstest (Advanced Measures of Music Audiation) annähernd Profi-Musikerniveau erreichten. Sodann wurden die Computersimulationen durchgeführt, um die interne Repräsentation des *Stabat Mater* zu bestimmen. Gleichzeitig wurden die ersten Messungen im MEG vorgenommen. Derzeit liegen die kompletten psychometrischen Daten von zehn Versuchspersonen vor. Weitere zehn Probanden werden in Kürze untersucht. Die Erhebung und Auswertung der MEG-Daten finden im Rahmen der Masterarbeit von Antonia Schürg statt. In dieser Arbeit werden dann die MEG-Daten unter Rückgriff auf die Computersimulationen der „neuronalen Partitur“ mit dem Ziel analysiert, die spezifische Repräsentation von homophonen und polyphonen Abschnitten im Hörkortex darzustellen.

SCHERZO

Im Rahmen des Marsilius-Retreats im Mai 2024 erweiterten wir unseren Radius um ein Hörquiz mit allen Kollegiatinnen und Kollegiaten, in dem wir der Gruppe im Vorfeld sieben Hörbeispiele aus Helmholtz' Studie sowie drei weitere aus dem 20. Jahrhundert hören und bestimmen ließen, welche der Beispiele nach der eigenen Hörempfindung eher melodisch klangen, welche eher harmonisch klangen oder welche beide Merkmale aufwiesen. Musikalische Kenntnisse der Gruppe waren dabei eher weniger relevant als die Idee, durch spontanes Hören Tendenzen auszumachen, die unsere These stützen sollten, dass heutige Hörer im Gegensatz zu jenen, die Helmholtz um sich hatte, eher melodisch als harmonisch aufmerksam sind, sie also im Zweifelsfall eher auf Melodien oder einzelne Stimmen hörten als auf harmonisch komplexere Zusammenhänge. Interessanterweise bestätigte sich unsere Vermutung, wenn auch nur mit einer kleinen Nuance, denn wir konnten feststellen, dass Musikstücke mit linear-melodischen Strukturen und Anteilen nicht nur deut-

licher gehört wurden, sondern die Kategorie linear-melodisch proportional etwas häufiger gewählt wurde als es dafür eindeutige Beispiele gab. Freilich waren die Ergebnisse aufgrund der Kürze der Beispiele und der nur kleinen Gruppe nicht überzubewerten, sie gaben jedoch eine gute Orientierung. Nicht zuletzt machte das Hörquiz großen Spaß.

FINALE: ALLEGRO MODERATO

Die Hörstudien mit dem MEG dauern zum Zeitpunkt der Abgabe dieses Berichtes noch an. Sie konzentrieren sich vor allem aufgrund der notwendigen Beschränkung durch die möglichen Rechnerleistungen der Messungen mittlerweile ausschließlich auf das Palestrina-Beispiel, das mit neun Minuten Spieldauer herkömmliche neurophysiologische Experimente der Hörforschung um ein Vielfaches überschreitet. Im aktuell laufenden Experiment hören die Versuchspersonen während der magnetoenzephalographischen Aufnahme das Stück erst in einem passiven Durchlauf ohne Aufgabe. Anschließend wird das gesamte Stück nochmals mit der Aufforderung vorgegeben, mittels Knopfdruck die gehörten Passagen als homophon oder polyphon zu kennzeichnen (vgl. unten). Durch die gut vorbereiteten Tests und die Erfahrungen über die Monate ist mit einem Abschluss zum Jahresende 2024 zu rechnen.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE MUSIKWISSENSCHAFT

(Christiane Wiesenfeldt)

Hermann von Helmholtz hatte die für die Musikwissenschaft visionäre Idee, dass es einen historischen Wandel vom Melodie-bezogenen Hören und Komponieren (in alter Musik) zum Harmonie-bezogenen Hören und Komponieren (in neuerer Musik) gegeben habe. Gehen wir mit Helmholtz davon aus, dass das Hören die Musik macht – also die Musik der jeweiligen Zeit deswegen so gebaut ist und klingt, weil sie den Hörempfindungen ihrer Zeit folgt –, so muss es möglich sein, aus älterer Musik auf die früheren Hörempfindungen rückzuschließen, ebenso wie wir mithilfe heutiger Hörempfindungen auf die Form und Struktur heutiger Musik rückschließen können. Mit unserer Konzentration auf das Hörbeispiel des *Stabat Mater* von Palestrina wurde in unserem Projekt aus musikhistorischer Perspektive ein Stück einer Schwellenzeit um 1600 ausgewählt, das beides anbietet: klanglich-harmonische Passagen zu Beginn in reinen Dur- und Mollakkorden (vgl. Abbildung 1), später wiederum linear-melodische Passagen, sodann im dauernden Wechsel.

Stabat Mater

Giovanni Pierluigi da Palestrina

- Durakkorde in Grundstellung
- Mollakkorde in Grundstellung
- besondere Wendepunkte

Stabat Mater do - lo - ro - sa

Jux - ta cru - cem la - cry -

dum pen-de-bat Fi - li - us,

mo - sa, cu - jus a - nimam ge - men - tem,

mo - sa, cu - jus a - nimam ge - men - tem, con - tri -

mo - sa, cu - jus a - nimam ge - men - tem, con - tri -

mo - sa, cu - jus a - nimam ge - men - tem,

homophon ← → polyphon

Abbildung 1: Giovanni Pierluigi da Palestrina: Stabat Mater, erste Seite der achttimmigen Partitur mit homophonem Beginn, vorwiegend mit Dur- bzw. Mollakkorden in Grundstellung

Wenn wir mit den heutigen Methoden der physiologischen Hörforschung das aktuelle Verhältnis von melodischem und harmonischem Hören am Beispiel des *Stabat Mater* befragen, können wir an die Ergebnisse direkt Fragen richten, die für die historische Musikwissenschaft bedeutend sind: Denn ist es tatsächlich so, dass noch heute, 160 Jahre später, Harmonie-Verwandtschaften intensiver gehört werden als Melodie-Verwandtschaften? Oder kehrt sich das nicht eher wieder um, infolge einer medialen Dauerbeschallung mit Musik und grundsätzlicher Schallüberforderung im modernen Alltag? Die menschliche Hörerfahrung hat sich innerhalb der letzten beiden Jahrhunderte drastisch verändert. So wurde das aufmerksame, schweigende Hören von Musik unter minimaler Bewegung des Körpers erst im Laufe des 19. Jahrhunderts in Europa kulturelle Norm. Lesen stellte – anders als heute, wo das visuell initiierte, private stille Lesen den Regelfall bildet – bis weit ins 19. Jahrhundert hinein einen primär über das Gehör ablaufenden Kommunikationsprozess dar, der sich in einer Gruppendynamik aus Vorleser und Zuhörenden abspielte. Auch im Verlauf des 20. und 21. Jahrhunderts veränderten neue auditive Technologien (Telephonie, Radiophonie, Stereophonie, MP3) und daran gekoppelt (audio-) visuelle Medien (Schallplatte, Radio, Film, Fernsehen, DVD, Internet) die kulturelle und soziale Hörerfahrung von Musik, Sprache und Geräusch grundlegend und nachhaltig: Zum Beispiel wird Musik heute nur noch ausnahmsweise live und im Rahmen eines räumlich und zeitlich begrenzten Gemeinschaftserlebens erfahren, sondern primär solitär und digital über eine der genannten Reproduktionstechnologien konsumiert. Das Verständnis von Schall, Musik und Gehörsinn wandelte sich ebenfalls dramatisch: Stellten Antike, Mittelalter und Vormoderne bis ins 18. Jahrhundert durch das Konzept der „musica“ stets eine holistische Verbindung zwischen Kosmologie, Religion, Seele, psychischer und physischer Gesundheit und mit dem Gehör wahrnehmbaren Klängen her (vergleichbar übrigens ähnlichen Auffassungen außerhalb des christlichen Europa), so obliegen seither derartige Phänomene einem breiten Spektrum getrennter und oft als vermeintlich inkompatibel, zumindest aber als fundamental verschiedenartig wahrgenommener Disziplinen (Medizin, Psychologie, Astronomie, Religionswissenschaft, Musikwissenschaft).

Das von diesen Medien und Soundscapes noch größtenteils unberührte 19. Jahrhundert, in dem Helmholtz forschte, und eine weit höhere musikalische Literarisierung des Bürgertums als heute mögen dazu geführt haben, dass Helmholtz' Probanden 1863 intensivere Reaktionen in harmonischen Relationen zeigten. Helmholtz lebte zu einer Zeit, als Johannes Brahms seine Sinfonien und Richard

Wagner seine Musikdramen schrieb, also auf einem Komplexitätshöhepunkt. Demgegenüber lässt sich musikhistorisch, und dies sowohl in der populären wie auch der sog. „Kunstmusik“, heute eher eine Wende zur Transparenz, Schlichtheit und Sangbarkeit beobachten. Die wilde Phase der Hörer-Verschreckung der komponierenden Avantgarden der 1950er- bis 1970er-Jahre ist ebenso vorbei wie die Hochphase des rasend schnellen, Herzfrequenz-Störungen hervorrufenden Hardcore-Pops; Schlager und Volkslieder erleben heute wieder einen Aufschwung; noch nie gab es so viele Laien- und Gospelchöre.

Durch die Zusammenarbeit mit der modernen empirischen Hörforschung gewinnt die Musikwissenschaft ein wichtiges Korrektiv ihrer ansonsten rein aus hermeneutischer Anschauung und Deutung historischer Textzeugnisse gewonnenen Aussagen zum Hörverhalten. Damit können wichtige Aussagen über sich verändernde Hörgewohnheiten in modernen Gesellschaften getroffen werden. Und zugleich kann die Musikwissenschaft damit Rückschlüsse über einen historischen Hörwandel – und implizit über einen Wandel der Musikästhetik – ziehen. Am Beispiel des *Stabat Mater* ließe sich somit greifbar machen – sofern die endgültigen Ergebnisse dies zulassen –, dass eine Erzählung von Musikgeschichte nicht nur auf der Basis von Ego-Dokumenten, Partitur-Analysen, der Auswertung von Rezeptionsmaterialien und Paratexten erfolgreich sein kann, sondern dass auch empirische Daten der Hörforschung helfen können, Stilwandel und Moden in der Musik besser zu erklären. So simpel das klingt, so wäre dies doch für die historische Musikwissenschaft nicht nur ein spektakuläres Ergebnis, sondern auch für zukünftige Forschungen eine große Chance.

PERSPEKTIVEN FÜR DIE PHYSIOLOGISCHE AKUSTIK (André Rupp)

Das Ziel unseres Projekts, die physiologische Basis des Hörens von Melodie- und Harmonieverwandtschaften zu entschlüsseln, greift den Ansatz von Helmholtz auf, die Wahrnehmung von Klängen und Musik unter Berücksichtigung der physiologischen Akustik zu untersuchen.

Nach vielen Ansätzen, Perzeption durch Rückgriff auf physikalische Reizeigenschaften zu verstehen – von Euclids mathematischer Intervallkonzeption bis zu Fouriers Ansatz, Schwingungsmuster in Sinus- und Cosinus-Funktionen zu zerlegen –, bedeutete Helmholtz' Resonanztheorie des Innenohrs eine bahnbrechende

Weiterentwicklung: Sie beschreibt erstmals, wie *unser Gehör* als System unabhängiger Resonatoren komplexe Schallsignale spektral zerlegt. Helmholtz schuf damit 1863 die Grundlage für eine Vielzahl hydro-mechanischer Cochlea-Modelle, deren Entwicklung bis heute andauert und die Geometrie sowie Innervierung des Innenohrs zunehmend realistischer abbilden. Neben der 1928 von Békésy gemachten Entdeckung, dass die cochleäre Wanderwelle neuronale Rezeptoren anregt, tragen aktuellere Modelle insbesondere auch dem Umstand Rechnung, dass das Innenohr kein passives Element ist, sondern in aktive *bottom-up/top-down* Regelkreise integriert ist. Dies führt beispielsweise dazu, dass Klänge mit drastisch verschiedener Pegeldynamik (vom Triangelton bis zum Orchestertutti, vom Flüstern bis zum AC/DC-Riff) verzerrungsfrei gehört werden können.

Moderne Cochlea-Modelle (auch als *auditory filterbanks* bezeichnet) integrieren zwei Verarbeitungsschritte: zum einen die auf Helmholtz zurückgehende spektrale Zerlegung von Klängen in „Kanälen“ entlang der Basilarmembran (spektrale Achse), zum anderen die in den 1950er Jahren von Licklider aufgezeigte periodische Aktivität innerhalb dieser Kanäle (zeitliche Achse). Diese spektrotemporale Repräsentation („Wo ist wann wie viel Aktivität?“) wird gemeinhin um eine Verarbeitungsstufe ergänzt, deren neuronale Basis im Hirnstamm vermutet wird und die eine gleitende zeitliche Integration mit Sub-Millisekunden-Präzision leistet. Das hieraus resultierende Muster wird als *auditory image* bezeichnet und reflektiert die wahrgenommene Höhe und Salienz eines Tons wesentlich valider als die oben genannten rein mathematisch-physikalischen Ansätze; es kann zum Beispiel auch verlässlicher vorhersagen, welche Stimme eines Duets in einem definierten Partiturabschnitt perceptuell dominanter in Erscheinung tritt. Werden nun diese *auditory images* für Tonsequenzen zeitlich aneinandergereiht, erhält man ein sogenanntes Pitchogramm, d.h. eine Abbildung des Tonhöhenverlaufs für gesungene oder gesprochene Stimmen.

In seinem Werk hat Hermann von Helmholtz das *Stabat Mater* von Giovanni Pierluigi da Palestrina als exemplarisches Musikstück gewürdigt, woran sich zentrale Aspekte seiner Überlegungen veranschaulichen lassen. Innerhalb unseres Projekts haben wir die oben beschriebenen Modelle der Hörwahrnehmung genutzt, um die Mehrstimmigkeit des *Stabat Mater* psychophysiologisch valide entlang der Zeitachse abzubilden. Dadurch wurde das Pitchogramm zu einer „neuronalen Partitur“ erweitert (vgl. Abbildung 2), welche die Tonhöhen in den einzelnen Registern mit Intensität, Timing, Dynamik und v.a. Intervallstruktur widerspiegelt. Das Er-

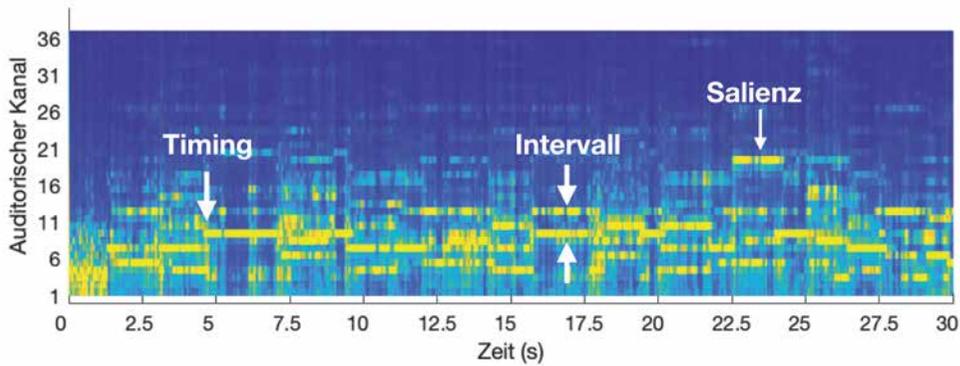


Abbildung 2: „Neuronale Partitur“ zur Darstellung der simulierten Aktivität auf Ebene des Hirnstamms. Aus diesem Zeit-Frequenzmuster lassen sich musikalische Variablen wie die Tonhöhe und Salienz einzelner Stimmen, Intervalle, Dynamik sowie die Zeitstruktur ableiten.

gebnis ist ein wesentlicher Schritt zur physiologischen Abbildung homophoner und polyphoner musikalischer Sequenzen auf Ebene des Hirnstamms; es verbindet musikwissenschaftliche und psychophysiologische Zugänge zu Klangstrukturen in einer ganz neuartigen Weise und bedeutet zugleich die konsequente Fortführung dessen, was Helmholtz in seinem wegweisenden Werk begonnen hatte.

Jenseits subcortikaler Prozesse ist für das Verständnis der Musikwahrnehmung natürlich der auditorische Cortex von entscheidender Relevanz; zahlreiche Arbeiten (u. a. aus unserer Gruppe) weisen nach, dass die Wahrnehmung von Tonhöhe, Klangfarbe und Melodien eng mit spezifischer Aktivität auf kortikaler Ebene korrespondieren. Für das vorliegende Projekt haben wir deshalb unseren Ansatz erweitert und nutzen derzeit die o. g. neuronale Partitur als Ausgangspunkt, um die Aktivität des Hörcortex in Reaktion auf Palestrinas *Stabat Mater* zu untersuchen. Das hierbei eingesetzte Verfahren der Magnetencephalographie (MEG) weist eine zeitliche Auflösung im Millisekundenbereich auf, wurde aber bislang nur selten mit Blick auf reale, nicht-artifizielle Musik eingesetzt. Während der Messung werden die Versuchspersonen gebeten, homophone und polyphone Abschnitte per Knopfdruck zu markieren; in Kombination mit der neuronalen Partitur wird so eine Untersuchung homo-/polyphonie-spezifischer Hirnaktivität bei realer Musik möglich (vgl. Abbildung 3). Die bereits seit Jahren in unserem Labor etablierte Quellenanalysemethodik erlaubt zudem eine Rückrechnung der am Skalp gemessenen Aktivität auf die zugrundeliegenden intracerebralen Generatoren. So können wir der mehrstimmigen Struktur des *Stabat Mater* auf neuronaler Ebene nicht nur ein zeitliches, sondern auch ein anatomisches Komplement gegenüberstellen.

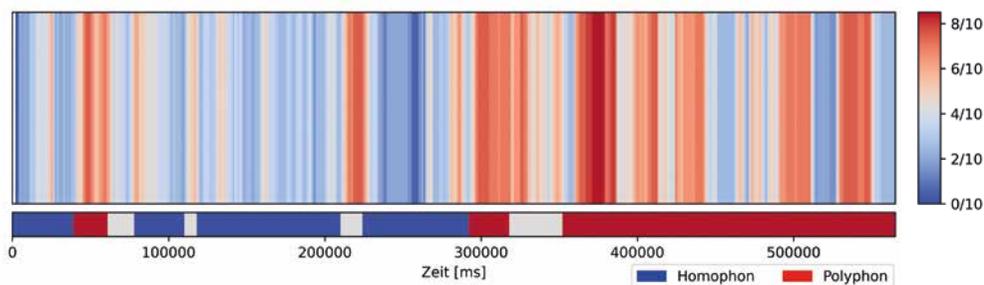


Abbildung 3: Übereinstimmung der ersten 10 Versuchspersonen bzgl. der Kategorisierung von Werkpassagen als homophon oder polyphon. Die Farblöcke im unteren Panel bezeichnen die entsprechende Zuordnung im Sinne musikwissenschaftlicher Kriterien. Das obere Panel zeigt, wie viele der Probanden jeweils mit ihrer Kategorisierung übereinstimmen.

CODA & ZUGABE

Stand September 2024 liegen die endgültigen Ergebnisse der Testreihen von 20 Probanden noch nicht vor. Sie werden für Ende 2024 erwartet. Sodann kann die hermeneutische Auswertung beginnen und 2025 in einem über die jeweiligen Fachgrenzen hinaus wirkenden, gemeinsamen wissenschaftlichen Artikel zu den Projektergebnissen in einer gut sichtbaren, internationalen Fachzeitschrift publiziert werden. Ebenso werden wir uns an der im Februar 2025 stattfindenden 3. Biennale für Neue Musik 2025 des KlangForum Heidelberg – gefördert von der *Ernst von Siemens Musikstiftung* – beteiligen, die unter dem Motto Hören mit Helmholtz steht. In vier Konzerten werden dort Bei- und Vorträge zu Werk und Aktualität des in Heidelberg tätig gewesenen Wissenschaftlers diskutiert. Seine grundlegenden Erkenntnisse werden in Auftragswerken zeitgenössischer Komponist:innen thematisiert, so dass moderne musikalische Praxis und vermittelte Wissenschaft in einen Austausch geraten.

Wir danken Antonia Schürg und Martin Andermann für die zahlreichen Diskussionen und die tatkräftige Unterstützung bei der Umsetzung dieses Projekts.

