

KAPITEL 8

Die Entwicklung der Messapparatur IRMA

Die Messapparatur IRMA (Interactive Real-time Measurement of Attention) wurde entwickelt, um in den Laborkonzerten des GAPPP-Projekts kontinuierliche Selbstauskünfte des Publikums zu erheben.¹ Ihrer Konstruktion gingen Erfahrungen mit den praktischen experimentellen Tätigkeiten der Forschungsgruppe und den dabei erlebten Möglichkeiten und Beschränkungen bei der Untersuchung des Musikerlebens in Laborkonzerten voraus. Da ich erst zu einem späteren Zeitpunkt zum laufenden Projekt stieß, war die vorangegangene methodische Konzeptionsphase abgeschlossen. In den Arbeitsphasen der Forschungsgruppe kam ich daher mit bereits bestehenden Einrichtungen und etablierten Praktiken in Kontakt. Die dabei gemachten Erfahrungen und erlebten Forschungspraktiken förderten die Herausbildung spezifischer Merkmale der Messapparatur M_i . Im weiteren Verlauf des Projekts sollte sich zeigen, wie diese Merkmale ihrerseits auf die Durchführung der Experimente, auf den Erkenntnisprozess sowie auf den weiteren Fortgang des Forschungsprozesses rückwirkten. Im Folgenden wird die Entwicklung der Messapparatur im Einzelnen beschrieben.

Ausgangspunkte im künstlerisch angeleiteten Forschungsprozess

Im Rahmen der Ausrichtung von GAPPP als Projekt der künstlerischen Forschung lag ein Forschungsinteresse darin, Rückmeldungen des musikerlebenden Publikums E_i als Informationsquelle für komponierende und aufführende Perso-

- 1 Teile dieses Kapitels wurden zuvor bereits veröffentlicht, vgl. Andreas Pirchner, »Investigating Audience Experience«, in: *Ludified, Volume 2: Game Elements in Marko Ciciliani's Audiovisual Works*, herausgegeben von Marko Ciciliani, Barbara Lüneburg und Andreas Pirchner (Berlin: The Green Box, 2021). Die für die vorliegende Studie vorgenommenen Erweiterungen und Überarbeitungen sind in den erkenntnistheoretischen Schlussfolgerungen der vorausgehenden Kapitel begründet.

nen zu erheben. Die Laborkonzerte waren daher unter anderem dafür eingerichtet, während der audiovisuellen Aufführungen Auskünfte über das Musikerleben zu erfassen. Diese nach wissenschaftlichen Kriterien vom Publikum erhobenen Rückmeldungen sollten eine Grundlage bilden, um zu analysieren, wie das Zusammenspiel von visuellen Elementen, klanglichen Bestandteilen und den Beiträgen der Aufführenden erlebt wurde. Ein tieferes Verständnis dieser Vorgänge sollte den künstlerisch tätigen Personen im iterativen Versuchsdesign des GAPPP-Projekts Anhaltspunkte dafür geben, wie sich verschiedene Elemente der Aufführung ausbalancieren oder betonen lassen und wie Kontrapunkte im Verhältnis der unterschiedlichen Materialkategorien zu setzen wären.

Die hier beschriebene Forschung nahm ihren Ausgang daher bei der Frage, welchen Elementen die Aufmerksamkeit des Publikums im Verlauf der musikalischen Aufführung galt. Die mit den Laborkonzerten beforschte Aufführungssituation bot dem Publikum eine komplexe Erlebnissituation, die Eindrücke wie Videoprojektionen, die Aufführenden auf der Bühne, technologische Einrichtungen, neuartige Klangerzeuger sowie die Klanglichkeit der Musik selbst umfasste. Anfangs stand der musikalische Realisierungsprozess P_t als Bezugspunkt für Musikerleben im Zentrum der Untersuchungen, wobei die Erweiterung des Kenntnisstands bezüglich des Fokus der Aufmerksamkeit und seines zeitlichen Verlaufs zunächst primär aus künstlerischer Sicht von Interesse war. Mit meiner Beteiligung als wissenschaftlich forschende Person gewann das Thema jedoch auch aus wissenschaftlicher Perspektive an Bedeutung. Diese Verschiebung führte zu der im Folgenden beschriebenen Entwicklung der Messapparatur, zu Untersuchungen über die Aufforderungscharakteristika der situativen Präsenzen im Laborkonzert sowie letztlich zu dem in den vorangegangenen Kapiteln dokumentierten wissenschaftstheoretischen Denken über die Experimentalsituation der Laborkonzerte.

Fehlender Zeitbezug der Daten als Aufforderung zur Entwicklung der Messapparatur

Um bei den Laborkonzerten des GAPPP-Projekts Auskünfte des Publikums zu erheben, wurden im ursprünglichen Versuchsdesign Fragebögen eingesetzt. Da jedoch die Erhebung kontinuierlicher Selbstauskünfte mittels Fragebögen während der Aufführungen nicht praktikabel ist, konnten Aspekte des Musikerlebens lediglich nachträglich erfasst werden. Dem lag die Annahme zugrunde, dass sich das Musikerleben im Anschluss an eine Aufführung aus der Erinnerung heraus erheben ließe. Wie sich bald zeigte, konnte diese Vorgehensweise allerdings kaum den in den vorigen Kapiteln diskutierten Kriterien eines zeitbezogenen Musikalisierungsprozesses gerecht werden, mit dem die teilnehmenden Personen E_t im Sinne eines tätigen, transformativen Musikerlebens fortwährend in Relation treten.

Die im Anschluss an die Aufführungen von den Teilnehmenden ausgefüllten Fragebögen enthielten mehrere Abschnitte, die sich auf unterschiedliche Forschungsinteressen bezogen. Zur Erfassung der Aufmerksamkeit wurde eine Pen-and-Paper-Methode eingesetzt, die auf der Verwendung sogenannter Aufmerksamkeitsdreiecke basierte. Die drei Ecken dieses von Marko Ciciliani und Susanne Sackl-Sharif² eingebrachten Werkzeugs repräsentieren Aufmerksamkeitsdimensionen, die dem Forschungsinteresse entsprechend mit »Music/Sound«, »Visual« und »Performer« bezeichnet wurden. Das Publikum wurde gebeten, in den Dreiecken einen Punkt zu markieren und so anzugeben, wo der Fokus der Aufmerksamkeit während der Aufführung nach eigenem Dafürhalten lag.

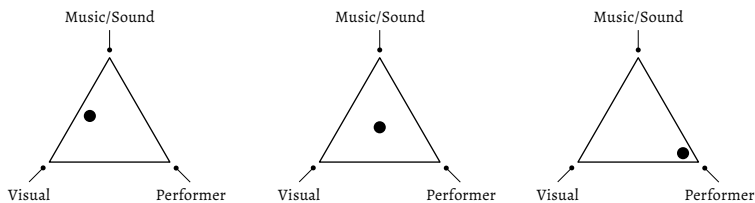


Abbildung 8.1 Aufmerksamkeitsdreiecke mit den drei Dimensionen »Music/Sound«, »Visual« und »Performer«. Die Markierung im linken Dreieck entspricht einer Aufmerksamkeit, die zwischen klanglichen und visuellen Elementen liegt. Im mittleren Dreieck verteilt sie sich gleichmäßig auf visuelle Elemente, Klang und Aufführende. Im rechten Dreieck liegt die Aufmerksamkeit auf der aufführenden Person.

In Abbildung 8.1 ist dargestellt, wie durch die Positionierung der Markierungen die Verteilung der Aufmerksamkeit auf die unterschiedlichen Dimensionen angegeben werden konnte. Um anzugeben, dass die Aufmerksamkeit zwischen zwei Dimensionen, zum Beispiel Visual und Performer, lag, konnten Markierungen in der Fläche zwischen den Polen angebracht werden. Wurde die Markierung in der Mitte des Dreiecks platziert, so waren alle drei Dimensionen als gleichgewichtet markiert. Lag die Aufmerksamkeit vorwiegend auf der aufführenden Person, so wurde die Markierung in der rechten unteren Ecke platziert. Durch die Positionierung konnte somit die Gewichtung der drei Dimensionen angegeben werden. Zusätzlich wurden die teilnehmenden Personen gebeten, in neben den Dreiecken platzierten Textfeldern ergänzende Angaben darüber zu machen, auf welche Ereignisse des Konzerts sie sich mit ihren Markierungen bezogen und wann sich diese zugetragen hatten. Als Anhaltspunkt für Zeitangaben wurde eine

2 Susanne Sackl-Sharif war meine Vorgängerin im GAPPP-Projekt. Sie war bis zu meinem Eintritt für den musikwissenschaftlichen Teil der Forschung zuständig.

große digitale Stoppuhr im Konzertraum aufgestellt. Mit ihrer Hilfe konnten sich die Teilnehmenden während der Aufführung besondere Zeitpunkte notieren.

Die Dreiecksdiagramme sollten es den Teilnehmenden ermöglichen, Auskünfte über die Aufmerksamkeit intuitiv und spontan abzugeben und Ablenkungen zu reduzieren, wie sie etwa bei der Formulierung qualitativer, sprachgebundener Auskünfte während der Konzertperformance auftreten würden. Es wurde dem Publikum jedoch überlassen, ob es die Eintragungen in den Diagrammen bereits während der Aufführung oder erst nach ihrem Ende vornehmen wollte. Die Dreiecksdiagramme erwiesen sich als ökonomisch und funktional, da sie es ermöglichten, durch Markierungen in einem einzelnen Diagramm Werte zu allen drei Dimensionen zu erheben. Wären stattdessen bipolare Skalen verwendet worden, so wären drei einzelne Skalen erforderlich gewesen, die eine vergleichbar einfache Abbildung und Abfrage der Zwischenpositionen in allen drei erhobenen Dimensionen der Aufmerksamkeit nicht erlaubt hätten.

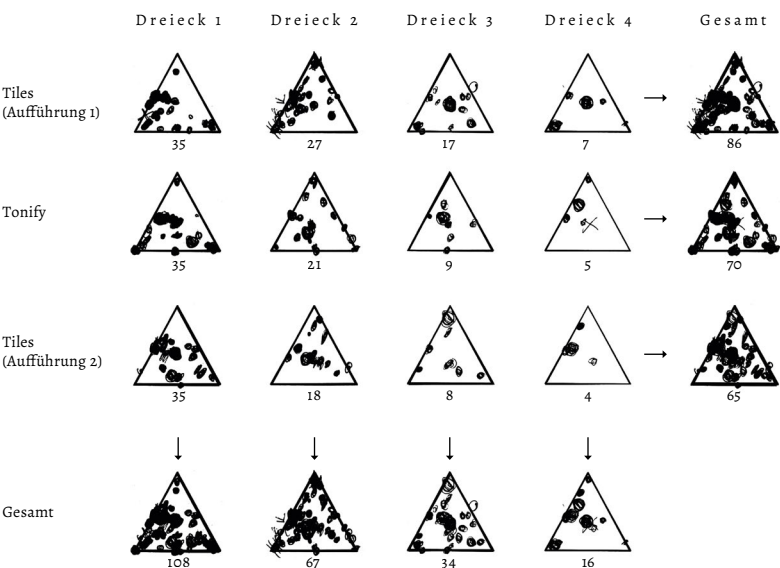


Abbildung 8.2 Darstellung der Eintragungen aller Personen (n = 35) für die drei Aufführungen von GAPPP-Konzert 4 als Überlagerungen.

Für jede der Aufführungen eines Laborkonzerts wurden jeweils vier Aufmerksamkeitsdreiecke vorgelegt. Die teilnehmenden Personen wurden instruiert, eine beliebige Anzahl der angebotenen Dreiecke zu verwenden, um verschiedene Zeitpunkte der Aufführung zu referenzieren. Nach den Laborkonzerten wurden die

abgegebenen Markierungen ausgewertet, indem alle Dreiecke gescannt und mit einem Bildbearbeitungsprogramm überlagert wurden. Überlagerungen wurden für alle vier Dreiecke und für jede Performance erstellt (vgl. Abbildung 8.2). Die in den Textfeldern neben den Dreiecken gemachten Notizen und Zeitangaben wurden in einem Textdokument zur weiteren Analyse zusammengetragen.

Aus diesen nach den ersten vier Laborkonzerten angefertigten Überlagerungen konnten erste Erkenntnisse gewonnen werden, indem beispielsweise Vergleiche angestellt wurden, wie viele Eintragungen die Teilnehmenden bei den unterschiedlichen Aufführungen insgesamt gemacht hatten. Die Daten ließen Rückschlüsse darüber zu, wie viele bemerkenswerte Momente das Publikum bei den verschiedenen Aufführungen erlebt hatte und wie stark sich die Aufführungen diesbezüglich unterschieden. Außerdem zeichneten sich durch die Überlagerungen bis zu einem gewissen Grad Schwerpunkte der Aufmerksamkeit für die jeweiligen Aufführungen ab.

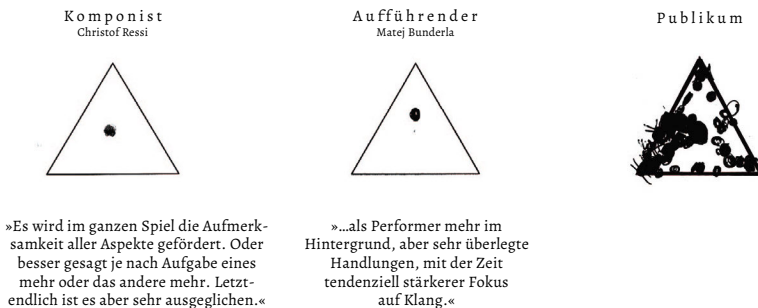


Abbildung 8.3 Aufmerksamkeitsdreiecke für die Aufführung von *Tiles*.

Da die Eintragungen aber häufig keine oder lediglich sehr grobe Zeitangaben aufwiesen, war es nur selten möglich, eindeutige Zuordnungen zu Ereignissen während der Aufführungen vorzunehmen. Die qualitativen Auskünfte in den Textfeldern neben den Dreiecken boten zwar in einigen Fällen Informationen, die sich auf bestimmte Phänomene bezogen, sie blieben jedoch hinsichtlich der konkreten zeitlichen Zuordnung sehr uneinheitlich und meist vage.³ Bei den Aufführungen des vierten Laborkonzerts wurden beispielsweise 136 Aufmerksamkeitsdreiecke ausgefüllt, von denen lediglich 19 eine Zeitangabe aufwiesen, die auf die

3 Beispiele für solch vage Rückmeldungen: »zu Beginn« [PERSON 1, AUFFÜHRUNG 1, DREIECK 1], »am Anfang« [P2, A1, D1], »in der Mitte« [P2, A3, D2], »Mein Fokus lag durchwegs auf allen drei Elementen« [P4, A3, D1], »Manchmal hatte ich nur Performer im Blick« [P10, A1, D1].

Stoppuhr Bezug nahm. Eine Zuordnung zu konkreten Momenten oder Gesten der Aufführung war mit der praktizierten Methode in größerem Umfang nicht möglich.

Neben den Erhebungen mit dem Publikum wurden auch die Kunstschaffenden gebeten, die Aufmerksamkeitsdreiecke vor den Laborkonzerten auszufüllen. Diese Vorgehensweise sollte es später ermöglichen, ihre Erwartungen mit den quantitativen Auskünften des Publikums zu vergleichen (vgl. Abbildung 8.3). Mit den Fragebögen wurden außerdem Daten zu soziodemografischen Merkmalen und musikbezogenen Vorerfahrungen der teilnehmenden Personen erhoben. Darüber hinaus wurden in mehreren Frageblöcken mittels offener Fragen und Likert-Skalen Rückmeldungen zum individuellen Erleben der Aufführung erfragt, die für andere Forschungsfragen des Projekts von Relevanz waren.⁴

Aufforderungscharaktere der ursprünglich praktizierten Methode

Das dimensionale Modell der Aufmerksamkeitsdreiecke entstammte nicht dem Pool der Konzepte, aus dem die experimentelle Musikforschung typischerweise schöpft. Indem es im Kontext künstlerischer Forschung erdacht und dann nach wissenschaftlichen Kriterien angewendet wurde, drang es quasi von außen in die Musikforschung im Laborkonzert ein. Obwohl die ursprüngliche Version der Aufmerksamkeitsdreiecke zunächst nur wenige tatsächlich signifikante Ergebnisse produzierte, brachte ihre Präsenz in der ersten Phase des Projekts bei der experimentellen Praxis Aufforderungen zu Modifikationen und technologischen Erweiterungen der Methode hervor, die wiederum den Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen darstellten. Der Aufforderungscharakter ergab sich nicht nur aus den Möglichkeiten, die durch die Präsenz der Methode im Forschungsprozess entstanden, sondern vor allem auch daraus, dass die Methode diejenigen Aspekte hervortreten ließ, die sie vom Erkenntnisprozess ausschloss. Beispielsweise machte es das bestehende Versuchsdesign den Teilnehmenden schwer, präzise zeitliche Zuordnungen zu treffen, was zu den beschriebenen Zuordnungsproblemen führte und zur Folge hatte, dass nahezu keine Informationen über den zeitlichen Verlauf des Aufmerksamkeitsfokus ermittelt werden konnten. Das wiederum schränkte die weitere Arbeit mit den erhobenen Daten bei der anschließenden Analyse ein, da auch ein zeitlicher Abgleich mit qualitativen Auskünften der Personen kaum möglich war.

Auch in physisch-materieller Hinsicht produzierte die Methode in ihrer ursprünglichen Form Spuren, die die Auswertung erschwerten, denn die von den Personen vorgenommenen Markierungen waren uneinheitlich und unterschied-

4 Weitere Details hierzu finden sich bei der Beschreibung der Methode und der Durchführung der Laborkonzerte mit IRMA in Kapitel 9.

lich groß (vgl. Abbildung 8.2). Für die angefertigten Überlagerungen bedeutete dies, dass einige Punkte gewichtiger erschienen als andere und damit Zonen mit zufälligerweise größeren Punkten dominanter wirkten.

Entwicklung der Apparatur zur Erhebung kontinuierlicher Selbstauskünfte

Bei der Entwicklung von IRMA traten einige der in Kapitel 5 beschriebenen Aufforderungen der Experimentalsituation an die Ausformung von Messapparaturen zutage. Die erklärte Absicht, Aufführungen als situierte Musikalisierungsprozesse nicht auf die klangliche Ebene zu reduzieren, sowie die Berücksichtigung zeitbezogener Merkmale transformativen Musikerlebens erforderten eine Apparatur, die es erlaubt, das Musikerleben in Konzertsituationen multimodal und situiert zu erfassen und mittels kontinuierlicher Aufzeichnungen zu untersuchen. Der Imperativ der Zeitbezogenheit hielt dazu an, Interfaces zu entwickeln, die sich während einer Konzertaufführung einfach und in kurzen Zeitintervallen bedienen lassen. Die Merkmale eingebetteten Musikerlebens wiederum verlangten nach einer Messapparatur, die Auskünfte einer größeren Zahl von Personen gleichzeitig erfassen kann. Die Aufforderung, qualitative Aussagen in die experimentellen Untersuchungen einzubeziehen, ergab sich aus der Auffassung von Musikerleben als einer Tätigkeit, die Bedeutung auch anhand individueller Ergänzungen hervorbringt. Da die Entwicklung von IRMA wiederum die späteren erkenntnistheoretischen Reflexionen beeinflusste und zunächst vor allem auf den Erfahrungen der praktischen Arbeit der lokalen Forschungsgruppe fußte, traten einige der Aufforderungen der Experimentalsituation an die Ausformung von Messapparaturen erst im Verlauf der Forschungspraxis sowie bei den einhergehenden Reflexionen hervor.

IRMA kombinierte allgemein verfügbare Consumer-Hardware (Tablets mit Touch-Display) mit einer eigens entwickelten Open-Source-Software. Die Messapparatur wurde in drei Modulen konzipiert, die in Abbildung 8.4 schematisch dargestellt sind. Um kontinuierliche Selbstauskünfte abzugeben, wurden von den Personen im Publikum während der Aufführungen Interface-Geräte bedient. Diese waren über ein lokales Wi-Fi, das mit einem eigenen Router betrieben wurde, mit einer Server-Anwendung auf einem Host-Computer verbunden. Dieser Host wurde für den Empfang und die Aufzeichnung der erhobenen Messdaten sowie für die Konfiguration und Steuerung des Experiments verwendet. Das dritte Modul bestand aus einer Software, die zur anschließenden Auswertung der erhobenen Daten entwickelt wurde.

Wie in Kapitel 5 dargelegt, wurden bei Laboruntersuchungen der experimentellen Musikforschung verschiedene Typen von Interfaces eingesetzt, um Selbstauskünfte der teilnehmenden Personen kontinuierlich und zeitbezogen zu erfassen. Dabei handelte es sich um Drucksensoren wie Nielsens Tension Tongs,

eindimensionale physikalische Schieberegler wie jene des Reactoscopes, Kombinationen von Dreh- und Schieberegler wie die späteren Versionen des Continuous Response Digital Interface (CRDI) sowie um Eingabegeräte wie Maus oder EMuJoy-Joystick. Die seit Beginn des 21. Jahrhunderts in Konzertsituationen durchgeführten Untersuchungen, bei denen kontinuierliche Selbstauskünfte des Publikums erhoben wurden, setzten einfache Schieberegler, PDA-Touch-Interfaces mit ein- oder zweidimensionalen Eingabefeldern (pARF), iPod-Touch-Geräte oder von den Teilnehmenden mitgebrachte Mobiltelefone ein, die mit entsprechender Software ausgestattet wurden.⁵

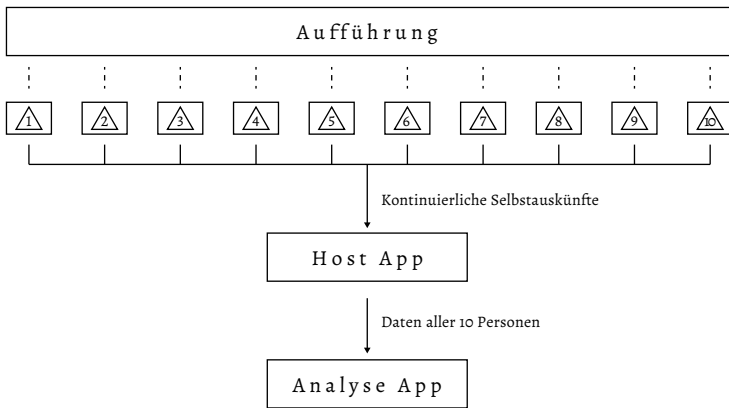


Abbildung 8.4 Schematische Darstellung des modularen Aufbaus von IRMA.

Die Verbindung von Parametern zu einem mehrdimensionalen Modell, wie es sich bei den Aufmerksamkeitsdreiecken findet, wurde zur Erfassung kontinuierlicher Selbstauskünfte im Labor beispielsweise in Form des zweidimensionalen Emotionsraums (2DES) verwendet. Die entsprechenden Interfaces erwiesen sich als sinnvoller Kompromiss zwischen der für die Erhebung kontinuierlicher Selbstauskünfte notwendigen einfachen Bedienbarkeit und einer hinreichenden Komplexität der Rückmeldungen.⁶ Für Selbstauskünfte im zweidimensionalen Emotionsraum wurden im Labor außerdem der EMuJoy-

5 Für eine Besprechung der in diesem Absatz genannten Interfaces vgl. Kapitel 5, wo auch die entsprechenden Verweise und Quellen angegeben sind.

6 Vgl. Schubert, »Measurement and Time Series Analysis of Emotion in Music«, 98. Siehe auch Emery Schubert, »Measuring Emotion Continuously: Validity and Reliability of the Two-Dimensional Emotion-Space«, *Australian Journal of Psychology* 51, Nr. 3 (1999).

Joystick,⁷ bei Internet-Experimenten die Computer-Maus⁸ und im Laborkonzert mit spezieller Software ausgestattete iPod-Touch-Geräte verwendet.⁹ In der Publikation »Measuring Audience Response On-Line: An Evaluation of the Portable Audience Response Facility (pARF)« findet sich eine Evaluierung der Bedienbarkeit der für kontinuierliche Selbstauskünfte des Publikums verwendeten PDA-Touch-Displays. Die Rückmeldungen zeigen, dass die Versuchspersonen (n = 37) die Bedienung der Touch-Displays über die grafischen Bedienelemente (eine eindimensionale Skala und ein zweidimensionales Eingabefeld) als wenig ablenkend und einfach handhabbar beurteilten.¹⁰ Für die Entwicklung von IRMA wurden mehrdimensionale Eingabefelder und die Verwendung von Touch-Interfaces daher als im Forschungsfeld erprobt und funktional angesehen. Von dem Aufmerksamkeitsdreieck als dimensionalem Modell wurde entsprechend angenommen, dass es grundsätzlich als für kontinuierliche Messungen in Laborkonzerten geeignet sei.

Der zeitliche Verlauf des Aufmerksamkeitsfokus wurde bisher von einer kleinen Gruppe von Laborstudien unter Verwendung des CRDI anhand von kontinuierlichen Selbstauskünften der teilnehmenden Personen untersucht. Diese Studien orientierten sich nicht an einem dimensional, sondern an einem kategorialen Modell der Aufmerksamkeit. Die Versuchspersonen bewegten den Schieberegler der Messapparatur zwischen den Kategorien »Rhythmic«, »Dynamic«, »Timbral«, »Melodic« und »Everything« und gaben so an, auf welchem Merkmal der Musik ihr Aufmerksamkeitsfokus lag, während sie über Kopfhörer Ausschnitte von Musikstücken hörten.¹¹ In einer anderen Studie gaben Versuchspersonen anhand des CRDI kontinuierliche Selbstauskünfte darüber ab, wie intensiv ihre Aufmerksamkeit im zeitlichen Verlauf auf den einzelnen Kategorien lag.¹² Bei einem weiteren mit dem CRDI durchgeführten Experiment wurden kontinuierliche Selbstauskünfte darüber erhoben, ob die Aufmerksamkeit eher auf melo-

- 7 Vgl. Frederik Nagel, Reinhard Kopiez, Oliver Grewe und Eckart Altenmüller, »EMuJoy: Software for Continuous Measurement of Perceived Emotions in Music«, *Behavior Research Methods* 39, Nr. 2 (2007).
- 8 Vgl. Hauke Egermann, Frederik Nagel, Eckart Altenmüller und Reinhard Kopiez, »Continuous Measurement of Musically-Induced Emotion: A Web Experiment«, *International Journal of Internet Science* 4, Nr. 1 (2009).
- 9 Vgl. Egermann, Pearce, Wiggins und McAdams, »Probabilistic Models of Expectation Violation«.
- 10 Vgl. Catherine J. Stevens, Kim Vincs und Emery Schubert, »Measuring Audience Response On-Line: An Evaluation of the Portable Audience Response Facility (pARF)«, *Proceedings of the 2nd International Conference on Music Communication Science* (Sydney: HCSNet, 2009), 102.
- 11 Vgl. Madsen und Geringer, »Differential Patterns of Music Listening«, 49-50.
- 12 Vgl. Madsen, »Focus of Attention and Aesthetic Response«.

dischen oder harmonischen Aspekten der erlebten Musik lag.¹³ Dabei konnte mit dem anhand des kategorialen Konzepts von Aufmerksamkeit entwickelten Interface allerdings nicht erfasst werden, ob der individuelle Aufmerksamkeitsfokus zu einem bestimmten Zeitpunkt auf mehreren Merkmalen gleichzeitig oder etwa zwischen diesen lag.¹⁴ Die angeführten Laborstudien orientierten sich an rein musikalischen Parametern der Musik, andere situative Bedingungen des Musikerlebens wurden nicht berücksichtigt.

Bei den für die Verwendung in Konzertsituationen entwickelten Interfaces lässt sich die Tendenz beobachten, Consumer-Geräte mit Wireless-Technologien zu verwenden. Dies entspricht der in Kapitel 5 diskutierten Einsicht, dass die kabellose Datenübermittlung eine technische Notwendigkeit für den praktischen Einsatz einer größeren Zahl von Interfaces in der Konzertsituation darstellt. Auch für die Entwicklung der IRMA-Interfaces wurden mit den Touch-Tablets Consumer-Geräte gewählt. Das Tablet-Interface stellte somit eine Weiterentwicklung der Pen-and-Paper-Methode der GAPPP-Fragebögen dar. Statt mit einem Stift einen Punkt in einem Aufmerksamkeitsdreieck auf Papier zu markieren, gaben die Versuchspersonen während der Aufführung kontinuierliche Selbstauskünfte ab, indem sie einen Finger innerhalb eines dreieckigen Eingabefelds auf dem Touch-Display bewegten. Es handelte sich um eine einfache Tätigkeit, die den Teilnehmenden nur gering komplexe Koordinationsaufgaben abverlangte und im Unterschied zu früheren mobilen Interfaces wie dem pARF keinen Stylus zur Eingabe benötigte. Die Koordinaten der Fingerposition im dreieckigen Interface-Element wurden kontinuierlich über das Open-Sound-Control-Protokoll per Wi-Fi-Netzwerkverbindung an die Host-Anwendung gesendet. Das Interface wurde konfigurierbar gestaltet und ließ sich an verschiedene Bildschirmgrößen und -auflösungen anpassen. Diese Konfigurierbarkeit erwies sich als hilfreich, da aufgrund eines beschränkten Budgets bei der Einrichtung eines Experiments auf unterschiedliche Typen von Tablets zurückgegriffen werden musste.

Die für die Interfaces von IRMA verwendete Hardware bestand aus Touch-Tablets, die in speziell angefertigte Gehäuse eingebaut wurden (vgl. Abbildung 8.5). Die Gehäuse wurden zunächst entwickelt, um die unterschiedlichen physischen Gegebenheiten verschiedener Gerätetypen zu kompensieren und für die Versuchspersonen äußerlich identische Nutzungsbedingungen herzustellen. Das

13 Vgl. Lindsey R. Williams, William E. Fredrickson und Sean Atkinson, »Focus of Attention to Melody or Harmony and Perception of Music Tension: An Exploratory Study«, *International Journal of Music Education* 29, Nr. 1 (2010).

14 In der ersten der genannten CRDI-Studien wurde eine Kategorie »Everything« eingeführt, die Versuchspersonen einstellen sollten, wenn ihr Fokus der Aufmerksamkeit zugleich auf mehr als zwei Kategorien lag. Vgl. Madsen und Geringer, »Differential Patterns of Music Listening«, 50.

wurde notwendig, da bei der ersten Anwendung der Messapparatur dem Projekt lediglich fünf eigene Tablets zur Verfügung standen. Weitere fünf Tablets, die jedoch neueren Typs und daher dünner und größer waren, wurden von einer anderen Hochschule ausgeliehen. Die unterschiedliche Form der Geräte hätte zu uneinheitlichen Bedienungsbedingungen führen und infolgedessen eine Quelle für Störungen im Versuchsdesign sein können. Die Gehäuse vereinheitlichten Größe, Haptik und Anmutung der Interfaces und gewährleisteten eine einheitliche Nutzung.

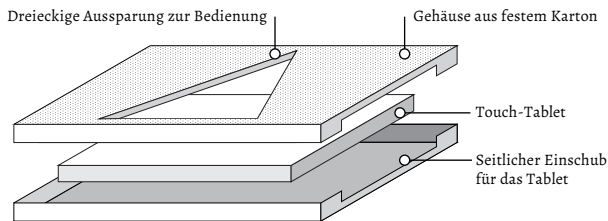


Abbildung 8.5 Interface-Gerät im Gehäuse mit dreieckiger Aussparung zur Bedienung.

Ein zweiter Vorteil der Gehäuse lag darin, dass die Aussparung des Aufmerksamkeitsdreiecks den Versuchspersonen während der Bedienung haptisches Feedback bot. So konnten die teilnehmenden Personen mit dem Finger die Grenzen des Eingabefelds spüren, ohne ihren Blick auf das Interface lenken zu müssen. Die Größe der Aussparung ergab sich aus der Höhe des nutzbaren Display-Bereichs der kleineren Tablets. Die Gehäuse wurden für die Herstellung aus festem Karton entworfen, der im Lasercut-Verfahren zugeschnitten wurde. Dies gewährleistete eine günstige und wiederholgenaue Produktion. Für den Einsatz in den GAPPP-Laborkonzerten wurden zehn Interface-Geräte hergestellt.¹⁵ Die Tablets wurden für die Verwendung als Interface der Messapparatur mit einer eigens entwickelten Android-App ausgestattet.¹⁶

Bei dem geometrischen Modell zur Übersetzung der auf den Touch-Displays registrierten Fingerpositionen handelt es sich dem Konzept der Aufmerksamkeitsdreiecke entsprechend um ein gleichseitiges Dreieck, dessen Seitenlänge auf den Wert 1 normiert wurde. Anhand dieses Dreiecks lässt sich ein zweidimensionaler Vektorraum definieren, dessen Nullvektor $\vec{M}(0,0)$ sich im Mittelpunkt des

15 Das Design und die Vorlagen-Dateien für das Lasercut-Verfahren sind online einsehbar unter <https://github.com/asa-nerd/IRMA>.

16 Die IRMA-App ist auf GitHub unter <https://github.com/asa-nerd/IRMA> dokumentiert.

Dreiecks befindet. Die Ecken des Dreiecks sind aufgrund der Seitenlänge von 1 durch die Ortsvektoren $\vec{G}(-0.5, -0.29)$, $\vec{B}(0, 0.58)$ und $\vec{R}(0.5, -0.29)$ beschrieben (vgl. Abbildung 8.6). Die Fingerposition auf dem Touch-Interface kann nun in Relation zu diesem Koordinatensystem als Ortsvektor im definierten Raum interpretiert werden. Entsprechend dem Zeitintervall, das bei der Einrichtung des Experiments mit der Host-Anwendung festgelegt wird, werden die Koordinaten dieses Ortsvektors als Messdaten an die Host-Anwendung übermittelt. Fehlpositionierungen des Fingers außerhalb des Dreiecks werden durch das Gehäuse verhindert. Die während eines Messintervalls erhobenen Daten werden von der Software als OSC-Messages¹⁷ per Wi-Fi an die Host-Anwendung übermittelt.¹⁸

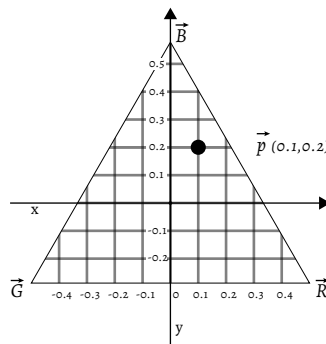


Abbildung 8.6 Gleichseitiges Dreieck mit der Kantenlänge 1 zur Übersetzung von Fingerpositionen in Ortsvektoren. Die Position liegt in diesem Beispiel bei $\vec{P}(0.1, 0.2)$.

Die Host-Anwendung wird auf einem als Server agierenden Computer ausgeführt. Sie ermöglicht die Aufzeichnung der von den Interfaces empfangenen Daten und erlaubt es Forschenden, das Experiment einzurichten sowie seine Durchführung zu steuern und zu überwachen. Die Host-Anwendung wurde in der Programmiersprache Java entwickelt, wobei die im Kunstkontext verbreitete Processing-Bibliothek als Entwicklungsumgebung verwendet wurde.¹⁹

- 17 Für eine Beschreibung von Open Sound Control vgl. Wright und Freed, »Open Sound Control«.
- 18 Weitere Informationen zur Entwicklung und Funktionalität sowie zur grafischen Bedienoberfläche finden sich unter <https://github.com/asa-nerd/IRMA>.
- 19 Für eine Beschreibung von Processing vgl. Casey Reas und Benjamin Fry, »Processing. org: Programming for Artists and Designers«, *SIGGRAPH '04: ACM SIGGRAPH 2004 Web graphics*, Los Angeles California August 8-12, 2004.

Das dritte Modul des IRMA-Systems wurde dafür konzipiert, die im Laborkonzert erhobenen Datensätze für Auswertungen zu laden und mit ihnen Berechnungen und Visualisierungen durchzuführen. Diese Auswertungssoftware unterstützt Forschende bei der Analyse der experimentell erzeugten Spuren, ihrer Aufbereitung zu Daten sowie bei dem Abgleich mit anderen in den Laborkonzerten erhobenen Datenebenen. Ziel war es, durch die Zusammenführung qualitativer, quantitativer und deskriptiver Datenebenen die zeitbezogenen Daten mit den Vorgängen, Ereignissen und Phänomenen der Aufführungen in Beziehung zu setzen.²⁰ Die grafische Bedienoberfläche der Software ermöglicht das Laden von Videos, Berechnungen mit den erhobenen Daten, die Verarbeitung der Resultate zu geeigneten Darstellungen sowie den Export der Visualisierungen. Als Werkzeug war sie bei der Zusammenführung der aufgezeichneten Selbstauskünfte mit qualitativen Daten und der Videoaufzeichnung behilflich.²¹

Ausmaß der Verlagerung des Aufmerksamkeitsfokus

Mit der Analyse-Software wurden zunächst Berechnungen zum Ausmaß der Verlagerung des Aufmerksamkeitsfokus durchgeführt. Der jeweilige Grad der Verlagerung, der auch als momentane Aktivität bezeichnet werden kann, wird als hilfreich erachtet, um im Abgleich mit dem zeitlichen Verlauf der Aufführung Stellen zu identifizieren, an denen sich Veränderungen im Erleben des Publikums ereignen. Die Durchführung dieser Aktivitätsanalyse ermöglicht die Identifikation von Punkten in der Zeitreihe, an denen sich die größten Verschiebungen des Aufmerksamkeitsfokus ereignen. Durch die Betrachtung dieser Momente lassen sich Umbrüche im Musikerleben und ihre Verbindung zu Phänomenen der Aufführung untersuchen.²² Die Synchronisierung der Berechnungen mit der Videoaufzeichnung ermöglicht es außerdem, die Werte der aktuellen Aktivität dem zeitlichen Ablauf der Aufführung zuzuordnen.

Die aktuelle individuelle Aktivität AcP_E stellt das Ausmaß der Verschiebung des Aufmerksamkeitsfokus einer musikerlebenden Person E zu einem Messzeitpunkt t während der Aufführung dar. Sie wird ermittelt, indem der Abstand für einen Messzeitpunkt P_t im Vergleich zum vorangegangenen Messzeitpunkt P_{t-1} als Betrag der Differenz der korrespondierenden Ortsvektoren $\vec{P}_t$ und $\vec{P}_{t-1}$ berechnet

20 Die Zusammenführung der in den Laborkonzerten des GAPPP-Projekts erhobenen Datenebenen wird in Kapitel 9 im Rahmen der Auswertung des ersten IRMA-Laborkonzerts beschrieben.

21 Eine Dokumentation der Auswertungssoftware des IRMA-Systems ist online unter <https://github.com/asa-nerd/IRMA> verfügbar.

22 Zu dieser Fokussierung auf besondere Momente vgl. Finn Upham und Stephen McAdams, »Activity Analysis and Coordination in Continuous Responses to Music«, *Music Perception* 35, Nr. 3 (2018): 254.

wird. T bezeichnet die Gesamtzahl der Messzeitpunkte der Aufführung, wobei $1 \leq t \leq T$ und $AcP_E(0) = 0$ gilt. N bezeichnet die Anzahl E der Versuchspersonen mit $1 \leq E \leq N$.

$$(1) AcP_E(t) = |\vec{p}_t - \vec{p}_{t-1}|$$

Wenn diese Berechnung für sämtliche Messpunkte T einer Zeitreihe durchgeführt wird und die Resultate summiert werden, ergibt sich die Summe der individuellen Aktivität $AcSP_E$ einer musikerlebenden Person E für eine Aufführung:

$$(2) AcSP_E = \sum_{t=1}^T AcP_E(t)$$

Die durchschnittliche Aktivität $AcD(t)$ oder das durchschnittliche Ausmaß der Verlagerung des Aufmerksamkeitsfokus des Publikums zu einem Zeitpunkt ergibt sich, wenn die aktuelle individuelle Aktivität $AcP_E(t)$ aller N Versuchspersonen zu einem Zeitpunkt t der Aufführung addiert und das Resultat durch N dividiert wird:

$$(3) AcD(t) = \frac{1}{N} \sum_{E=1}^N AcP_E(t)$$

Die durchschnittliche Aktivität $AcDT$ des Publikums für die ganze Aufführung ergibt sich, indem die durchschnittliche Aktivität $AcD(t)$ aller Messpunkte addiert und anschließend durch die gesamte Anzahl der Messpunkte T dividiert wird:

$$(4) AcDT = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T AcD(t)$$

Auf gleiche Weise lässt sich die durchschnittliche Aktivität (das durchschnittliche Ausmaß der Verlagerung des Aufmerksamkeitsfokus) für einen Abschnitt der Zeitreihe berechnen, der zu einem Messzeitpunkt b beginnt und zu einem Messzeitpunkt e endet und daher $S = e - b + 1$ Messpunkte umfasst:

$$(5) AcDS = \frac{1}{S} \sum_{t=b}^e AcD_t \text{ mit } 1 \leq b < e \leq T$$

Durchschnittlicher Fokus der Aufmerksamkeit und Streuung der Aufmerksamkeit

Der Grad der Streuung der Aufmerksamkeit der teilnehmenden Personen wird als hilfreiches Maß angesehen, um Momente zu identifizieren, in denen sich während der Aufführungen der Fokus der Aufmerksamkeit des Publikums kollektiv auf bestimmte Aspekte der Aufführung verlagert oder in denen die Aufmerksamkeit stärker verteilt ist – in denen die Synchronität der Aufmerksamkeit also stärker oder weniger stark ausgeprägt ist.

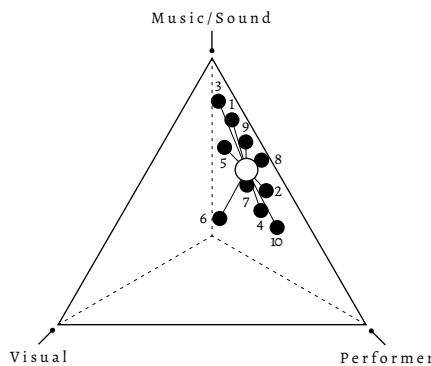


Abbildung 8.7 Der durchschnittliche Fokus der Aufmerksamkeit (weißer Kreis) als Mittelwert der gemessenen Fingerpositionen (schwarze Kreise).

Die von einer teilnehmenden Person E im Aufmerksamkeitsdreieck markierte Position F_E zum Messzeitpunkt t wird durch den Ortsvektor $\vec{f}_E(t)$ repräsentiert. Der durchschnittliche Fokus der Aufmerksamkeit $\overrightarrow{AFoAt}(t)$ zu einem Zeitpunkt t wird als Mittelwert der Ortsvektoren aller N Personen zu diesem Zeitpunkt berechnet:

$$(6) \overrightarrow{AFoAt}(t) = \frac{1}{N} \sum_{E=1}^N \vec{f}_E(t)$$

Die individuelle Abweichung $DA_{tE}(t)$ des Messpunkts $F_E(t)$ einer Person vom durchschnittlichen Fokus der Aufmerksamkeit $\overrightarrow{AFoAt}(t)$ zu einem Zeitpunkt t wird ermittelt, indem der Abstand der Punkte mithilfe der zugehörigen Ortsvektoren berechnet wird:

$$(7) \text{ } \overrightarrow{DA t_E(t)} = \left| \overrightarrow{AFoAt(t)} - \overrightarrow{f_E(t)} \right|$$

Der Mittelwert der individuellen Abweichungen vom durchschnittlichen Fokus der Aufmerksamkeit sämtlicher N Versuchspersonen zu einem Zeitpunkt t kann als Streuung der Aufmerksamkeit (Deviation of Attention) $DoAt(t)$ verstanden werden. Zur Berechnung wird die individuelle Abweichung $\overrightarrow{DA t_E(t)}$ aller Versuchspersonen summiert und durch die Anzahl N der Versuchspersonen dividiert:

$$(8) \text{ } DoAt(t) = \frac{1}{N} \sum_{E=1}^N \overrightarrow{DA t_E(t)}$$

Für Aufführungen mit der Anzahl an Messzeitpunkten T kann der zeitlich gemittelte durchschnittliche Fokus der Aufmerksamkeit ermittelt werden:

$$(9) \text{ } \overrightarrow{AFoAt_T} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \overrightarrow{AFoAt(t)}$$

Wie auch bei der Berechnung der Aktivität kann nun der durchschnittliche Fokus der Aufmerksamkeit für einen Ausschnitt der Zeitreihe zwischen den Messpunkten b und e mit der Dauer $D = e - b + 1$ berechnet werden:

$$(10) \text{ } \overrightarrow{AFoAt_D} = \frac{1}{D} \sum_{t=b}^e \overrightarrow{AFoAt(t)} \text{ mit } 0 \leq b < e \leq T$$

Auf gleiche Weise lässt sich die gemittelte Streuung der Aufmerksamkeit eines Abschnitts der Zeitreihe berechnen, der zu einem Messzeitpunkt b beginnt und zu einem Messzeitpunkt e endet und $D = e - b + 1$ Messpunkte umfasst:

$$(11) \text{ } DoAtD = \frac{1}{D} \sum_{t=b}^e DoAt(t) \text{ mit } 0 \leq b < e \leq T$$

Visualisierungen und Einführung der Farbcodierung

Die im Verlauf der Aufführung als Ortsvektoren aufgezeichneten Fingerpositionen der Versuchspersonen werden in der Auswertungssoftware des IRMA-Systems als Punkte im gleichseitigen Dreieck dargestellt (vgl. Abbildung 8.7). Dabei werden sämtliche zu einem Zeitpunkt t aufgezeichneten Ortsvektoren abgebildet. Über einen Zeitleisten-Slider kann durch die Daten- und Videoaufzeichnung der Aufführung »gescrubbt« werden, wodurch die Veränderungen der Positionen in Relation zur Aufführung visuell begutachtet werden können.

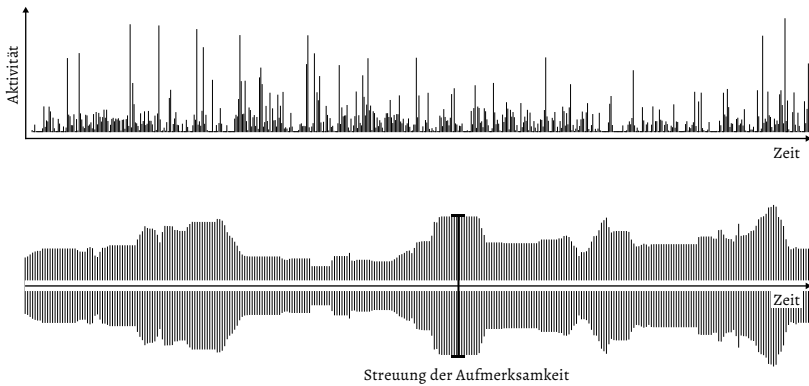


Abbildung 8.8 Oben: Darstellung der durchschnittlichen Aktivität im Verlauf einer Aufführung. Unten: Streuung der Aufmerksamkeit.

In Abbildung 8.8 ist in der oberen Zeitreihe dargestellt, wie sich die Werte der durchschnittlichen Aktivität $AcD(t)$ für die Zeitpunkte t im Verlauf der Aufführung als vertikale Balken auf einer Zeitachse auftragen lassen. Die entstehende Struktur, die das Ausmaß der Aktivität der Teilnehmenden zeigt, kann dabei behilflich sein, Momente der Aufführung zu identifizieren, in denen sich der Fokus der Aufmerksamkeit des Publikums verlagert. Auch der zeitliche Verlauf der Streuung der Aufmerksamkeit lässt sich leicht darstellen, indem die entsprechenden Werte als vertikale Linien auf eine Zeitleiste aufgetragen werden. Um zu verdeutlichen, dass es sich bei den Streuungswerten um Abweichungen von einem berechneten Mittelwert handelt, kann jeweils die Hälfte des Werts der berechneten Streuung ausgehend von der Zeitachse nach oben und die andere Hälfte nach unten aufgetragen werden. Die Zeitachse bildet damit den Mittelwert zum jeweiligen Zeitpunkt t . Bei der in Abbildung 8.8 unten wiedergegebenen Zeitreihenvisualisierung indiziert eine geringe vertikale Ausdehnung, dass der Fokus

der Aufmerksamkeit der untersuchten Personen zu diesem Zeitpunkt der Aufführung verhältnismäßig einheitlich war (die Streuung der Aufmerksamkeit war also gering). Eine große vertikale Ausdehnung zeigt dagegen für einen Zeitpunkt einen hohen Grad an Streuung der Aufmerksamkeit an.

Eine Herausforderung bei der Entwicklung der Messapparatur bestand darin, die zweidimensionalen Ortsvektoren der Fingerpositionen in eine lineare Visualisierung zu übersetzen, die sich an einer Zeitachse ausrichten lässt, um so schließlich die Synchronisierung mit dem zeitlichen Verlauf der Aufführung und den Videoaufzeichnungen zu ermöglichen. Das einfache Hinzufügen einer weiteren Darstellungsdimension zur Visualisierung hätte zu dreidimensionalen räumlichen Strukturen entlang von Zeitachsen geführt, was die Lesbarkeit und Interpretierbarkeit deutlich erschwert hätte. Als Lösung dieses Darstellungsproblems erwies sich der Ansatz, die Ortsvektoren gemäß ihrer Position im Dreieck farblich zu codieren. Zu diesem Zweck wurden den Ecken des Dreiecks mit den Farben Rot, Grün und Blau die Grundfarben des RGB-Farbsystems zugewiesen. Der Raum zwischen den Ecken kann dann als ein RGB-Farbraum betrachtet werden, in dem sich je nach Position bestimmte Mischfarben ergeben. Jedem Punkt innerhalb des Dreiecks fällt abhängig von seiner Position ein eindeutiger Farbwert zu. Je eindeutiger die Aufmerksamkeit auf einer der untersuchten Dimensionen »Music/Sound«, »Visual« oder »Performer« liegt, desto gesättigter ist die entsprechende Farbe. Wenn der Fokus der Aufmerksamkeit zwischen zwei Dimensionen liegt, ergeben sich Abstufungen der Mischfarben Violett, Türkis und Gelb. Liegt der Fokus zwischen allen drei Dimensionen, weist die Visualisierung weniger gesättigte Farbwerte auf. Der Mittelpunkt des Dreiecks erhält nach dem additiven RGB-Farbsystem die Farbe Weiß.

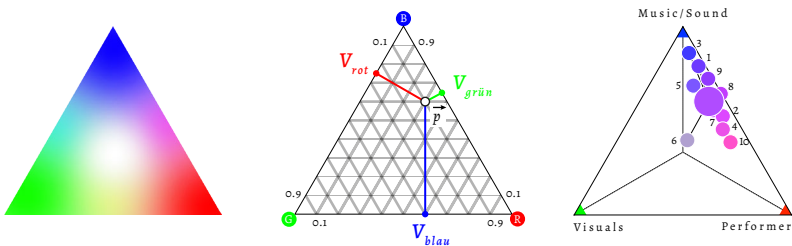
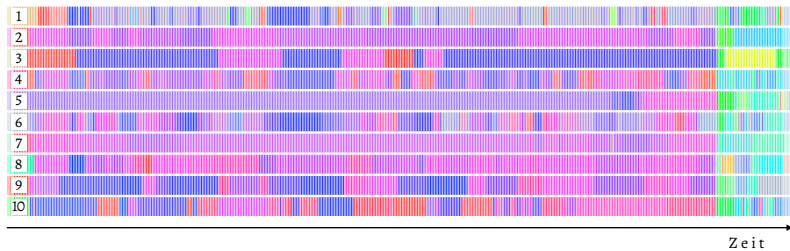


Abbildung 8.9 Links: RGB-Farbraum mit den Grundfarben in den Ecken des Dreiecks. Mitte: Die Berechnung der Distanz zwischen dem Ortsvektor $\vec{P}$ des Messpunkts und den Kanten des Dreiecks ermöglicht es, jedem Messpunkt eine entsprechende Farbe im RGB-Farbraum zuzuordnen. Rechts: Im Dreieck verzeichnete Messpunkte und durchschnittlicher Aufmerksamkeitsfokus mit den zugeordneten Farbwerten.

In Abbildung 8.9 sind im rechten Dreieck die zu einem Zeitpunkt t gemessenen Fingerpositionen der zehn Versuchspersonen als Ortsvektoren verzeichnet (kleine Kreise). Der größere Kreis markiert den berechneten durchschnittlichen Aufmerksamkeitsfokus $\overrightarrow{AFoAt}(t)$. Die Linien zwischen den Messpunkten und diesem größeren Kreis markieren die individuelle Abweichung der Aufmerksamkeit $DAt(t)$ der einzelnen Personen vom durchschnittlichen Fokus der Aufmerksamkeit der Gruppe.

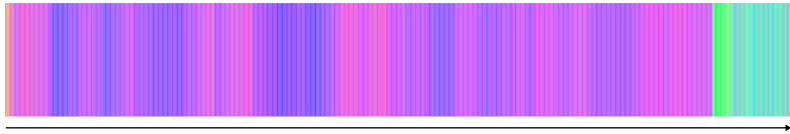
Zeitreihe 1

Tympanic Touch: INDIVIDUELLER FOKUS DER AUFMERKSAMKEIT



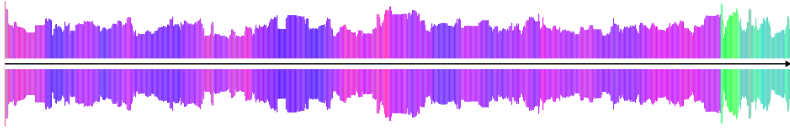
Zeitreihe 2

Tympanic Touch: DURCHSCHNITTLICHER FOKUS DER AUFMERKSAMKEIT



Zeitreihe 3

Tympanic Touch: DURCHSCHNITTLICHER FOKUS DER AUFMERKSAMKEIT UND STREUUNG DER AUFMERKSAMKEIT



Zeitreihe 4

Kilgore: DURCHSCHNITTLICHER FOKUS DER AUFMERKSAMKEIT UND STREUUNG DER AUFMERKSAMKEIT

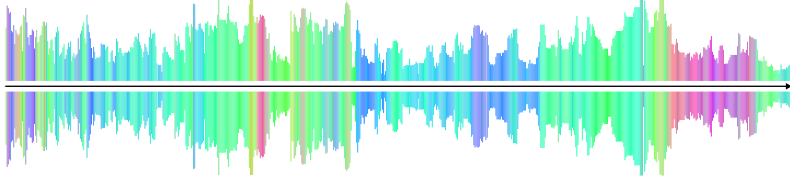


Abbildung 8.10 Zeitreihe 1: Farbcodierter Fokus der Aufmerksamkeit der zehn teilnehmenden Personen während der Aufführung von *Tympanic Touch*. Zeitreihe 2: Farbcodierung des durchschnittlichen Fokus der Aufmerksamkeit $\overrightarrow{AFoAt}(t)$. Zeitreihen 3 und 4: Zeitreihenvisualisierungen der bei den Aufführungen von *Tympanic Touch* und *Kilgore* erhobenen Aufzeichnungen.

Die Zuweisung der Farbwerte an die Ortsvektoren erfolgte anhand der folgenden Berechnungen: Für den Ortsvektor $\vec{P}$, der die gemessene Position des Fingers in der zweidimensionalen Fläche des Aufmerksamkeitsdreiecks beschreibt, gilt der Mittelpunkt $\vec{M}(0,0)$ des Dreiecks als Bezugspunkt. $\vec{M}$ ist gleichzeitig Ursprung des den Berechnungen zugrunde gelegten Koordinatensystems. Die Ecken des Dreiecks mit einer Seitenlänge von 1 sind durch die Ortsvektoren $\vec{G}(-0,5,-0,29)$, $\vec{B}(0,0,58)$ und $\vec{R}(0,5,-0,29)$ beschrieben. $V_{\text{grün}}$ entspricht der kürzesten Distanz (dem Abstand) zwischen $\vec{P}$ und der Geraden, die sich durch $\vec{B}$ und $\vec{R}$ erstreckt. V_{blau} entspricht der kürzesten Distanz zwischen $\vec{P}$ und der Geraden, die sich durch $\vec{G}$ und $\vec{R}$ erstreckt, und V_{rot} entspricht der kürzesten Distanz zwischen $\vec{P}$ und der Geraden, die sich durch $\vec{G}$ und $\vec{B}$ erstreckt. Die Werte von $V_{\text{grün}}$, V_{blau} und V_{rot} lassen sich anschließend in den für den RGB-Farbraum gängigen Wertebereich zwischen 0 und 255 skalieren und bilden so die Farbanteile der Grundfarben für den dem Ortsvektor zugewiesenen Farbton. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 8.9 (Mitte) visualisiert.²³

Mit der Einführung der Farbcodierung ergab sich nicht nur die Möglichkeit, den Ortsvektoren jeder einzelnen Messung einen eindeutigen Farbton zuzuweisen, sondern auch den durchschnittlichen Fokus der Aufmerksamkeit $\overrightarrow{AFoAt(t)}$ für jeden Zeitpunkt t während der Aufführung farblich zu codieren. Die Methode ermöglicht es, sowohl individuelle als auch gemittelte Daten des Aufmerksamkeitsfokus linear auf einer Zeitachse zu visualisieren. In Abbildung 8.10 ist oben als Zeitreihe 1 der farbcodierte Verlauf des individuellen Fokus der Aufmerksamkeit der zehn Personen dargestellt, die IRMA während der Aufführung bedienten. Darunter ist als Zeitreihe 2 die Farbcodierung des durchschnittlichen Fokus der Aufmerksamkeit $\overrightarrow{AFoAt(t)}$ für die Aufführung von *Tympanic Touch* im zeitlichen Verlauf der Aufführung dargestellt.

Die lineare Darstellung der farblich codierten Ortsvektoren ermöglichte es außerdem, den durchschnittlichen Aufmerksamkeitsfokus $\overrightarrow{AFoAt(t)}$ und die vertikal codierte Streuung der Aufmerksamkeit $\overrightarrow{DoAt(t)}$ als die beiden für die Synchronität der Aufmerksamkeit relevanten Berechnungen in einer einzelnen Zeitreihenvisualisierung darzustellen. In den Zeitreihen 3 und 4 von Abbildung 8.10 sind die entsprechenden Visualisierungen für die Aufführungen von *Tympanic Touch* und *Kilgore* dargestellt. Die Farbgebung zeigt die Lage des Aufmerksamkeitsfokus im horizontalen Verlauf der Aufführung an, während die Höhe der Balken die Streuung der Aufmerksamkeit zum jeweiligen Zeitpunkt angibt.

23 Die Implementierung in Java ist im GitHub-Repository der Auswertungssoftware IRMAanalysis unter <https://github.com/asa-nerd/IRMA> einsehbar.